ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ»
(ФГБУ «ЦНИГРИ»)

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

XII Международная научно-практическая конференция
(11–14 апреля 2023 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»)

Москва
ЦНИГРИ
2023

УДК [553.3/4+553.5/7].043+558

Научно-техническое издание

Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции (11–14 апреля 2023 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2023. 590 с.

В сборник включены 195 докладов, представленных на XII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». В тезисах докладов представлены материалы по следующим темам: минерагения АБЦМ; приоритетные направления прогнозных и поисковых работ на АБЦМ; перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий; опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ объектов распределенного и нераспределенного фондов недр; научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений АБЦМ; использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ; разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРР на АБЦМ.

ISBN 978-5-85657-043-3

Сдано в набор 28.03.2023. Подписано в печать 05.04.2023. Печать цифровая. Тираж 300 экз.
Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»
117545, Москва, Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1

© ФГБУ «ЦНИГРИ», 2023

Аббасов Н. А.[1], Рустамова Р. Е.[1], Гулиев И. Ф.[1], Гусейнова А. Н.[2]
[1] БГУ, г. Баку, Азербайджан; [2] Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ СИСТЕМ ДАМИРЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МАЛОГО КАВКАЗА

В данных исследованиях рассматриваются основные характеристики гидротермально-метасоматической зональности медно-порфировой системы, которые являются базовой основой проведения поисковых работ на территории юго-восточной части Малого Кавказа. Рассматриваются основные типы генераций различных прожилков на Дамирлинском месторождении.

Ключевые слова: гидротермально-метасоматические системы, юго-восточная часть Малого Кавказа, Агдамский антиклинорий, Агдаринский район, Гарабахский экономический регион Азербайджана.

Медно-порфировые месторождения являются центральной частью крупных гидротермально-метасоматических систем площадью от 10 до 100 км^2, которым присущи черты вертикальной и горизонтальной зональности в виде метасоматических изменений или особенностей локализации полиформационной рудной минерализации. В пределах гидротермально-метасоматической системы может существовать кластер нескольких порфировых центров с медной минерализацией. Центральным рудоносным элементом порфировой системы является многофазный порфировый шток интрузивных пород обычно известково-щелочного ряда (диориты, гранодиориты, тоналиты, монцодиориты, монцониты), на глубине связанный с материнским батолитом [3]. Аналогичные гидротермально-метасоматические системы выявлены в южной и юго-восточной частях Малого Кавказа. В пределах этих систем обычно формируется широкий спектр медных, свинцовых, цинковых, благороднометалльных проявлений и месторождений различной формационной принадлежности, разведка и изучение которых нередко приводила к открытию медно-порфировых месторождений [2]. При наличии карбонатных пород, обладающих высокой реакционной способностью, в порфировой системе могут образовываться контактовые магнетитовые и удаленные редуцированные скарны с золотомедной, золотополиметаллической и собственно золотой минерализацией, которые также могут вовлекаться в добычу совместно с порфировыми рудами.

В области юго-восточной части Малого Кавказа, структурно входящей в Агдамский антиклинорий Лок-Агдамской зоны, выявлен ряд медно-порфировых месторождений и рудопроявлений – Дамирлинское, Маниклинское, Агдаринское, Бойахмедлинское, Джанятагское, Галайчыларское и др. – генетически и пространственно тесно связанных с позднеюрскими гранитоидными интрузивами. Месторождения эти характеризуются преимущественно медным составом при подчиненном значении молибдена, в виде примесей содержат золото и серебро [2]. Интерес к данному региону возрастает еще и в связи с тем, что здесь, кроме известных Мехманинского полиметаллического и Гызылбулагского медно-золоторудного месторождений, выявленные медно-порфировые рудопроявления сочетаются с оруденением колчеданного типа (Хатынбейлинское, Чулинское, Дромбонская группа, Кочаготское, Погосогомерское и др.), характеризующимися существенной золотоносностью.

Дамирлинское месторождение расположено у одноименного села Агдаринского района Гарабахского экономического региона Азербайджана. Оно, совместно с Мехманинским полиметаллическим и Гызылбулагским золото-медно-порфировым месторождениями, а также рядом медно-порфировых рудопроявлений (Агдаринское, Бойахмедлинское и др.) входит в состав крупного Мехманинского рудного района, охватывающего значительную часть Агдамского антиклинория. В геологическом строении месторождения принимают участие батские андезитовые и андезитобазальтовые порфириты и их различные пирокластолиты, подстилающие мощный комплекс кислых вулканогенных образований (риодациты и их туфы келловейского возраста). Эти породы интенсивно прорваны гранитоидами, слагающими Мехмана-Джанятагский

массив. Интрузивы представлены гранодиоритами, кварц-диоритами, сиенит-диоритами и другими породами, подвергнутыми интенсивному изменению – серицитизации, окварцеванию, каолинизации и т. д. В них, а также во вмещающих их вулканогенных образованиях, размещены различные дайки верхнеюрского возраста, образующие на отдельных участках системы даек, представленных диоритовыми порфиритами, кварц-диоритовыми и сиенит-диоритовыми порфиритами при подчиненном значении андезит-дацитовых порфиритов, ориентированных в основном в северо-западном направлении. Отмечаются также субвулканические тела риодацитов, образующих штокообразные тела в северной части месторождения. На месторождении интенсивному изменению с образованием пород типа вторичных кварцитов (кварцевой и кварц-серицитовой фаций) подвергнуты кислые вулканогенные образования верхнеюрского, предположительно келловейского возраста. Этому процессу, как считают геологи [2], на отдельных участках подвержены также батские вулканогенные образования (вторичные кварциты района Гюльятаг и Джанятаг в западной части месторождения).

Месторождение, расположенное в лежачем боку Гюльятагского разлома, осложнено сериями сближенных разрывов, ориентированных в основном в северо-восточном- близмеридиональном (320–350º) направлении, имеет северо-восточное падение (55–65º). Вдоль разрывов образовались субпараллельные нарушения северо-западного простирания, сопровождающиеся интенсивной трещиноватостью и дроблением пород и нередко содержащие дайковые тела гранодиорит-порфирового состава, а также золотосодержащие кварцевые жилы и жильные зоны [2]. Из этих разрывов наиболее крупным является Дамирлинский (сравнительно глубокого залегания), отчетливо прослеживающийся в северо-западном направлении в центральной части месторождения с крутым падением на запад. Заметим, что широко представленные северо-западные разрывы, пересекаясь на отдельных участках с северо-восточными, в центральной и северо-западной частях месторождения образовали узлы сопряжения, которые создали благоприятные условия для локализации медно- и молибден-порфирового оруденения штокверкового типа.

В пределах месторождения рудоносные вторичные кварциты, преимущественно представленные монокварцитами, в зонах разломов сменяются серицитовыми и хлоритовыми фациальными разновидностями. Занимающие значительную часть общей площади месторождения (более 50 %) вторичные кварциты (почти повсюду минерализованные) содержат медь, молибден, а также золото и серебро. При этом вторичные кварциты, образовавшиеся за счет риодацитов и их туфов (северо-западная часть месторождения), относительно больше обогащены медью, тогда как кварциты эндоконтактовой зоны Мехмана-Джанятагского сложного интрузивного массива в основном специализированы на молибден и золото. В различных частях Мехмана-Джанятагского сложного интрузивного массива вторичных кварцитов в надрудной части порфировых интрузий образуются кварцево-жильные высоко- и умеренно сульфидные проявления золото-серебряного типа. Но наибольший интерес на сегодняшний день представляют месторождения эпитермальной высокосульфидной золото-серебряной формации, которые, несмотря на низкие содержания золота и серебра, обладают запасами от первых сотен до полутора тысяч тонн золота. Изучение глубоких горизонтов этих месторождений показало наличие под ними центров медно-порфировой минерализации.

В пределах восточной части месторождения на площади около 2 км^2, структурно охватывающей полосу Дамирлинского разлома северо-западного простирания (сопровождающегося множеством разнонаправленных мелких разрывов), на фоне почти повсеместной слабой минерализации поисково-разведочными работами выделено большое количество (более 20) оруденелых зон, отвечающих рудным телам линзо-жилообразной, штокообразной формы с весьма различными параметрами, а также относительно обогащенных рудоносных интервалов с содержаниями 0,1–3,0 % меди и 0,002 % молибдена. Средневзвешенное значение меди 0,2–1,9 % на мощности от 5 до 30–40 м и более; спорадически появляется золото (0,2 г/т, иногда 1–5 г/т) и серебро (0,2 г/т). Кроме медно-порфирового типа оруденения выявлено несколько сульфидно-кварцевых жил и жильных зон протяженностью от 30–50 до 100–150 м при мощности 1–10 м с содержанием золота 0,2–5,2 г/т, серебра 1,8–64 г/т. Руды месторождения характеризуются прожилково-вкрапленным, вкрапленным, массивным, полосчатым и брекчиевидным текстурными типами; преобладают первые два типа, широко развитые в рудных телах центральной части месторождения.

Первичные рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, молибденитом, борнитом и др. Из нерудных присутствует кварц, серицит, каолинит, хлорит, гипс, ангидрит, цеолит и др.

Халькопирит составляет существенный объем (около 30 %) первичных рудных минералов. Встречается он в виде зерен неправильной формы размером 0,1–1,0 мм. Ассоциирует с пиритом и молибденитом. Приурочиваясь обычно к окварцованным участкам, в кварцевых прожилках он образует более крупные выделения. Содержит включения молибденита и пирита. Замещается борнитом и ковеллином [6]. Молибденит встречается в виде прожилочек, тонких вкраплений мелкочешуйчатых агрегатов, примазок, по плоскостям трещин, а также в тонкодисперсном состоянии в кварце. Борнит, ковеллин и халькозин распространены ограниченно, встречаются в виде мелких неправильных зерен с извилистыми очертаниями, а также прожилок. Иногда образуют тонкие пластины, маскируя пирит и халькопирит.

Определена примерно следующая стадийность минералообразования: серицит-кварц-пиритовая; пирит-халькопиритовая; пирит-халькопирит-молибденитовая и пирит-молибденитовая рудные минеральные ассоциации. Оруденение генетически связывается с Мехмана-Джанятагским гранитоидным массивом. Зона окисления охватывает глубину 25–100 м от поверхности, составляя в среднем около 60 м. Сложена она лимонитом, гетитом, гидрогетитом, пиролюзитом, псиломеланом, малахитом, азуритом, халькозином, купритом, ковеллином, молибдитом и др. Дамирлинское месторождение, относящееся к медно-порфировому типу (с некоторой молибденоносностью и примесью золота и серебра в качестве попутных компонентов), несомненно является перспективным объектом, заслуживающим завершения поисково-оценочных работ с охватом флангов (особенно юго-западного) и геологически не расшифрованных геохимических и геофизических аномалий и т. д. Район месторождения (да и площадь самого месторождения, что составляет порядка 8–10 км^2) представляет интерес в отношении поисков участков скрытой и перекрытой рудоносности в глубоких горизонтах рудного района.

В заключение надо отметить, что на Дамирлинском месторождении рудные штокверки медно-порфировых систем формировались в зонах региональных сдвигов. Штокверки образуются в благоприятных структурах растяжения и в узлах пересечения разломов. Это важно учитывать при прогнозировании и поисках. Штокверки являются полихронными тектоническими структурами, сформировавшимися в несколько этапов и стадий деформации в прерывистом режиме под влиянием региональных и локальных сил сжатия и растяжения, а также давления гидротерм, что характерно выявляется в зоне коллизии.

Список литературы:

1. Аббасов Н. А. Структурные факторы формирования коллизионных месторождений медно-порфировых руд в северо-восточной части Малого Кавказа // Материалы Всероссийской конференции «Граниты и процессы рудообразования», посвященной памяти академика В. И. Коваленко. – М. : ИГЕМ РАН, 2011. – С. 8–9.
2. Бабазаде В. М., Махмудов А. И., Рамазанов В. Г. Медно- и молибден порфировые месторождения. – Баку : Азернашир, 1990. – 376 с.
3. Буханова Д. С., Ханин Д. А., Зайцева М. В., Карпова С. В. Стабильные изотопы меди в халькопирите порфировых месторождений, на примере Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения (Хабаровский край) // Материалы конференции «Новое в познании процессов рудообразования». – М. : ИГЕМ РАН, 2018. – С. 83–85.
4. Бекжанов Г. Р., Любецкий В. Н., Цареградский В. А. [и др.]. Изучение глубинного строения и глубинных критериев локализации оруденения Балхашского сегмента земной коры м-ба 1 : 500 000. – Алма-Ата : КазИМС, 1986. – 450 с.
5. Кривцов А. И. Типы районов медно-порфирового оруденения и геологические основы их прогнозирования // Труды ЦНИГРИ, 1978. – Вып. 134. – С. 3–21.
6. Sillitoe R. H. Gold-rich porphyry copper deposits: Geological model and exploration implications // Geological Association of Canada. – 1993. – Special Paper 40. – P. 465–478.

Авдонин Г. И.
ФГБУ г. Москва

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД СПОСОБОМ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Приводятся результаты лабораторных работ по выщелачиванию меди и молибдена из комплексных медно-молибденовых руд. Приведено обоснование оптимальных растворителей для руд различного минерального состава. Предложена схема переработки продуктивных растворов.

Ключевые слова: медно-молибденовые руды, кучное выщелачивание, сернокислотное выщелачивание, гипохлорит.

Из числа образцов и дубликатов проб, отобранных из отвалов бедных и окисленных руд Сорского месторождения и хранящихся на рудном складе ФГБУ «ВИМС», были сформированы следующие пробы:

- Медно-молибденовая сульфидная (рядовая и бедная из рудного материала Сорского месторождения), молибденовая минерализация представлена молибденитом и иордезитом, медная – халькопиритом, халькозином и борнитом;
- Медно-молибденовая сульфидная (из рудного материала Сорского месторождения), молибденовая минерализация представлена молибденитом и иордезитом, медная – халькопиритом, халькозином и борнитом;
- Медно-молибденовая окисленная (из рудного материала Агаскырского и Сорского месторождений), молибденовая минерализация представлена ферримолибдитом $Fe_2^{3+}(MoO_4)_3 \cdot 7H_2O$) и повелитом ($CaMoO_4$), медная – малахитом и брошантитом. в меньшей степени халькозином, ковеллином и борнитом.

Рудный материал был измельчен до -20 мм и -5 мм. Часть материала крупностью -5 мм была истерта до –200 меш, на этом материале проводились агитационные опыты по подбору растворителя.

Для выбора растворителя была проведена серия агитационных опытов. Опыты проводились на навесках рудного материала массой 50 г, Ж / Т = 10, при нормальных условиях (t = 20 °С, давление атмосферное) и перемешивании в стеклянных стаканах на магнитных мешалках. В качестве растворителя использовались:

- растворы серной кислоты с концентрацией 12 и 100 г/л;
- растворы серной кислоты с концентрацией 12 г/л и добавкой солей Fe^{3+} в качестве окислителя, с концентрацией 1, 3 и 5 г/л;
- растворы серной кислоты с концентрацией 100 г/л и добавкой H_2O_2 1 г/л в качестве окислителя;
- растворы гипохлорита натрия (NaClO) различной концентрации.

После перемешивания пульпа отфильтровывалась, в фильтрате определялись: $Cu_{общ}$; $Mo_{общ}$; Fe^{3+}; Fe^{2+} и остаточная кислотность.

Как видно из табл. 1, окисленные медно-молибденовые руды при нормальных условиях легко вскрываются растворами серной кислоты, которые могут использоваться при кучном выщелачивании для совместного извлечения Cu и Mo.

Однако сульфидные медно-молибденовые руды при нормальных условиях вскрываются только растворами гипохлорита. Гипохлоритные растворы могут быть использованы при кучном выщелачивании (КВ) на первом этапе для извлечения Mo, а Cu будет извлекаться аммиачным методом после отмывки руды от активного хлора. Метод предназначен для КВ металлов, образующих аммиачные комплексы в водных растворах.

Суть метода [3] заключается в предварительной обработке руд окислителями или комплексообразующими агентами в водном растворе с последующим выщелачиванием целевого металла из руды растворами карбоната аммония, содержащими свободный аммиак, в щелочной среде. Технология может быть применена для КВ меди, молибдена, цинка, никеля, урана и т. д. из руд, причем добавка модифицирующего агента к исходной руде осуществляется на стадии агломера-

Табл. 1. Результаты агитационных опытов

Тип рудного материала	Исходная концентрация кислоты, г/л	Окислитель	Концентрация, г/л				
			Cu	Mo	Кислоты	Fe^{3+}	Fe^{2+}
Медно-молибденовый сульфидный	12	Нет	0	0	10,78	0,16	0,1
	100	H_2O_2 1 г/л	0	0	10,74	1,2	0,098
	12	Fe^{3+} 1 г/л	0	0	10,74	1,2	0,098
	12	Fe^{3+} 3 г/л	0	0	10,68	3,2	0,22
		NaClO 20 г/л	0	0,286			
		NaClO 10 г/л		0,249			
		NaClO 5 г/л		0,212			
Медно-молибденовый окисленный	12	Нет	1,95	0,032	6,86	0,44	0,1
	12	Fe^{3+} 1 г/л	2,4	0,018	7,33	0,56	1,06
	12	Fe^{3+} 3 г/л	2,3	0,019	7,94	3,06	1,81

ции перед отсыпкой в рудный штабель. Гипохлорит натрия является дешевым окислительным реагентом, который может быть произведен на месте.

Для оценки качества руд (извлекаемости полезных компонентов в раствор) была проведена серия агитационных опытов. Опыты проводились на истертом до -0,074 мм исходном рудном материале в стеклянных стаканах на магнитных мешалках Ж / Т = 5; 10. В качестве растворителя использовались:

- растворы серной кислоты с концентрацией 20 и 10 г/л;
- раствор гипохлорита натрия (NaClO) с концентрацией 2,5 г/л.

Результаты опытов приведены в табл. 2.

По результатам агитационных опытов установлено:

- что наиболее рациональным реагентом для селективного выщелачивания Mo из сульфидных руд является гипохлорит натрия;
- лучшие показатели по извлечению в раствор получены при сернокислотном выщелачивании Cu и Mo из окисленных руд Сорского и Агаскырского месторождений.

Табл. 2. Результаты агитационных опытов

Проба	Опыт	Концентрация, мг/л		Содержание в кеке, %		Исходное содержание, %		Извлечение в раствор, %	
		Cu	Mo	Cu	Mo	Cu	Mo	Cu	Mo
Окисленная -0,074 мм	H_2SO_4 20 г/л Ж / Т – 10, 2 ч	13	34,0	0,038	0,019	0,051	0,053	25,0	64,0
Окисленная -0,074 мм	H_2SO_4 20 г/л Ж / Т – 10, 4 ч	13	21,0	0,034	0,030	0,047	0,051	27,0	41,0
Окисленная -5 мм	H_2SO_4 20 г/л Ж / Т – 5, 2 ч	60	21,0	0,05	0,05	0,08	0,061	37,5	17,0
Окисленная -5 мм	H_2SO_4 10 г/л Ж / Т – 5, 2 ч	11	42,3	0,03	0,11	0,048	0,153	23,0	16,0
Бедная -0,074 мм	H_2SO_4 20 г/л Ж / Т – 10, 2 ч	64	0,0	0,10	0,16	0,164	0,16	39,0	0,0
Бедная -0,074 мм	H_2SO_4 20 г/л Ж / Т – 10, 4 ч	48	0,0	0,066	0,098	0,114	0,098	42,0	0,0
Бедная -5 мм	H_2SO_4 20 г/л Ж / Т – 5, 4 ч	207	26,0	0,04	0,08	0,233	0,153	44,0	8,9
Бедная -5 мм	H_2SO_4 10г/л Ж / Т – 5, 2 ч	83	18,0	0,129	0,134	0,171	0,143	24,3	6,3
Бедная -0,074 мм	NaClO 2,5 г/л Ж / Т – 10, 2ч	5	110,0	0,06	0,02	0,065	0,12	7,7	91,7
Окисленная -0,074 мм	NaClO 2,5 г/л Ж / Т – 10, 2 ч	5	27,0	0,06	0,04	0,065	0,067	7,7	40,3

Для оценки фактора времени на навесках, отобранных из технологических проб, поставлено шесть статических опытов продолжительностью 30 суток. В качестве выщелачивающих реагентов в первом – четвертом опытах использовался раствор серной кислоты с концентрацией 20,82 г/л, а в пятом и шестом опытах – раствор гипохлорита натрия с концентрацией активного хлора 5,7 г/л. Результаты опытов приведены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, окисленные руды менее кислотоемки и более выщелачиваемы. Извлечение меди из них превышает 40 %, а молибдена – 50 %. Извлечение из рудного материала крупностью -5мм, гораздо выше, чем из рудного материала +5 мм, то есть при выщелачивании степень извлечения зависит от крупности руды.

Табл. 3. Результаты статических опытов

№ п/п	Проба	Ж / Т	Извлечение								
			1-е сутки			7-е сутки			30-е сутки		
			Расход реаг., кг/т	Cu, %	Mo, %	Расход реаг., кг/т	Cu, %	Mo, %	Расход реаг., кг/т	Cu, %	Mo, %
1	Бедная -20 + 5 мм	5	1,2	0	0	19,6	14,2	18,6	25,7	14,2	21,9
2	Бедная -5мм	5	20,9	0	0	13,23	59,1	38,3	79,6	40,7	37,5
3	Окисленная -20 + 5мм	5	1,2	0	0	16,17	15,7	11,2	25,7	46,1	20,6
4	Окисленная -5 мм	5	6,1	0	0	18,62	36,6	37,6	42,85	51,4	50,2
5	Бедная -20+5 мм	5	1,4	0	17,4	14,1	0	21,8	27,9	0	22,7
6	Бедная -5 мм	5	2,8	0	41,7	24,3	0	72,1	28,2	0	74,7

По данным статических и агитационных опытов, наиболее перспективным реагентом для выщелачивания молибдена является гипохлорит натрия. Медь из руд после гипохлоритного выщелачивания может быть извлечена аммиачным методом.

В целях определения оптимального режима окомкования и подбора реагента для выщелачивания проведено 14 фильтрационных опытов, их результаты приведены в табл. 4.

Табл. 4. Результаты выщелачивания фильтрационных колонок

№ колонки	Крупность руды, мм	Содержание в пробе Cu / Mo, %	Реагент выщелачивания	Ж / Т	Извлечение, %		Среднее содержание в растворе		Расход реагента, кг/т
					Mo	Cu	Mo, г/л	Cu, г/л	
1	+5	2,0 / 1,18	H_2SO_4 20 г/л	5,18	5,73	45,83	0,174	6,27	35,5
2	-5	2,0 / 1,18	H_2SO_4 20 г/л	5,58	36,4	78,3	0,130	3,86	69,9
3	Агломерат	2,0 / 1,18	H_2SO_4 20 г/л	5,62	55,59	91,09	0,188	3,45	29,3 + 20,0
4	Агломерат	0,174 / 0,153	NaClO $Cl_{акт}$ 5,5 г/л	15,37	71,86	0	0,214	0	

Окончание таблицы

№ колонки	Крупность руды, мм	Содержание в пробе Cu / Mo, %	Реагент выщелачивания	Ж / Т	Извлечение, %		Среднее содержание в растворе		Расход реагента, кг/т
					Mo	Cu	Mo, г/л	Cu, г/л	
5	Агломерат	0,174 / 0,153	NH_4Cl + NaOH	4,3	5,58	0	0,089	0	
6	Агломерат	0,174 / 0,153	NaClO $Cl_{акт}$ 2,1 г/л	19,67	67,92	0	0,128	0	
7	+5	0,162 / 0,131	H_2SO_4 20 г/л	2,37	10,5	5,68	0,06	0,041	12,0
8	+5	0,319 / 0,283	H_2SO_4 20 г/л	2,50	1,68	3,60	0,008	0,024	19,1
9	-5	0,419 / 0,264	H_2SO_4 20 г/л	13,99	14,53	22,16	0,033	0,088	88,8
10	-5	0,208 / 0,127	H_2SO_4 20 г/л	6,68	13,67	28,68	0,030	0,101	89,6
11	-5	0,07 / 0,130	H_2SO_4 20 г/л	3,80	72,67	63,37	0,261	0,115	56,4
12	-5	0,06 / 0,121	H_2SO_4 20 г/л	2,85	71,27	51,23	0,381	0,155	3 + 50
13	-5	0,21 / 0,12	H_2SO_4 20 г/л	4,41	≈ 20	≈ 26	0,050	0,173	68
14	-5	0,07 / 0,11	H_2SO_4 20 г/л	6,48	≈ 30	≈ 40	0,200	0,172	65

Выводы:

В результате проведенных работ установлено:

• окисленные медно-молибденовые руды при нормальных условиях легко вскрываются растворами серной кислоты, которые могут использоваться при кучном выщелачивании для совместного извлечения Cu и Mo по сорбционной или экстракционной SX-EW технологии;

• наиболее предпочтительными для выщелачивания являются руды с преобладанием малахита, халькозина и борнита над халькопиритом. Доля халькопирита среди рудных минералов не должна превышать уровень 5 %;

• для отработки окисленных медно-молибденовых руд рекомендуется сернокислотная схема выщелачивания окомкованной (с серной кислотой) руды, дробленой до крупности -5мм;

• сульфидные медно-молибденовые руды при нормальных условиях вскрываются только растворами гипохлорита;

• извлечение молибдена гораздо более чувствительно к предварительному гипохлоритному выщелачиванию, чем извлечение меди;

• при способе извлечения меди методом аммиачного выщелачивания суть метода заключается в предварительной обработке руд окислителями или комплексообразующими агентами в водном растворе с последующим выщелачиванием целевого металла из руды растворами карбоната аммония, содержащими свободный аммиак, в щелочной среде (технология может быть применена для КВ меди, молибдена, цинка, никеля, урана и т. д. из руд, причем добавка

модифицирующего агента к исходной руде осуществляется на стадии агломерации перед отсыпкой в рудный штабель);

• применение пероксида водорода (H_2O_2) в качестве окислителя при сернокислотном выщелачивании меди и молибдена из сульфидных минералов не дало положительных результатов.

Авилова О. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧУКОТКИ

Для медно-порфирового оруденения Центральной Чукотки в пределах Удско-Мургальского и Охотско-Чукотского вулкано-плутонических поясов (ВПП) (Моренный и Ольховский рудные узлы) установлен характер проявления комплекса прогнозно-поисковых критериев и признаков и адаптированы типовые геолого-поисковые модели для различных обстановок формирования, которые могут быть использованы при прогнозировании и предварительной оценке перспективных площадей в пределах рассмотренных ВПП и определять направления геолого-поисковых работ.

Ключевые слова: медно-порфировое оруденение, Центральная Чукотка, геолого-поисковая модель, Удско-Мургальский ВПП, Охотско-Чукотский ВПП, удско-мургальский комплекс, кавральянский комплекс.

Медно-порфировые рудопроявления Центральной Чукотки, известные в пределах Моренного (Базовое и Моренное) и Ольховского (Ольховка) рудных узлов (РУ), связаны со становлением полифазных интрузивных массивов двух различных по составу и возрасту формирования комплексов, принадлежащих, соответственно, к Удско-Мургальскому островодужному (J_2–K_1) и Охотско-Чукотскому окраинно-континентальному (K_{1-2}) [1] вулкано-плутоническим поясам (ВПП).

Составлены типовые геолого-поисковые модели рассматриваемых объектов, представленные комплексом их прогнозно-поисковых критериев и признаков (табл.).

Рудопроявления приурочены к поздним порфировым фазам рудоносных интрузивных комплексов, развитым в краевых частях полифазных массивов. Морфология рудных тел обусловлена морфологией рудоносных порфировых интрузивов. На проявлениях Моренного РУ крутопадающие линейные пластинообразные штокверковые минерализованные зоны контролируются сериями сближенных даек тоналит-порфиров или кварцевых диорит-порфиритов, подчиненных разрывным нарушениям северо-западного простирания и сопровождаемых телами эруптивных брекчий. На проявлении Ольховка рудоносный лакколитоподобный интрузив монцогранодиорит-порфиров имеет в разрезе грибообразную форму. Пологие пластообразные штокверковые минерализованные зоны локализованы над рудоносным интрузивом в понижениях его кровли, повторяя своими очертаниями рельеф его поверхности.

Рудно-метасоматическая зональность типовая для медно-порфировых месторождений: от внутренних частей, фиксируемых рудоносными интрузивами, к периферии последовательно сменяются зоны: кремнещелочная, филлизитовая, внутренняя пропилитовая и внешняя пропилитовая. Наиболее богатая прожилково-вкрапленная пирит-халькопиритовая меднорудная минерализация приурочена к области совмещения (телескопирования) изменений различного состава: кремнещелочных (калишпат-биотитовых), пропилитовых (кварц-альбит-эпидот-хлоритовых) и филлизитовых (карбонат-кварц-серицитовых).

На рудопроявлениях Моренного РУ проявлена в основном латеральная линейно-концентрическая зональность гидротермально-метасоматических преобразований относительно сближенных рудоносных порфировых даек. Рудовмещающие породы наиболее интенсивно преобразованы изменениями филлизитового типа, в результате телескопирования они имеют карбонат-кварц-серицитовый или карбонат-кварц-хлорит-серицитовый состав. К ним приурочена

Табл. Геолого-поисковые модели медно-порфировых объектов Моренного и Ольховского рудных узлов

Элементы модели	Моренный РУ	Ольховский РУ
Геотектоническая позиция	Удско-Мургальский островодужный ВПП (J_2–K_1)	Охотско-Чукотский окраинно-континентального ВПП (K_{1-2})
Формационные	Низкощелочная натриевая габбро-диорит-кварц-диорит-тоналитовая интрузивная формация K_1 (мургальский комплекс)	Габбро-диорит-монцодиорит-кварцево-монцодиорит-монцогранодиоритовая формация K_2 (кавральянский комплекс). Увеличение щелочности и соотношения K_2O / Na_2O от ранних фаз (нормальнощелочные) к поздним (умереннощелочные)
Рудоносные фазы	Кварцевые диорит-порфириты и тоналит-порфиры (119 млн лет (U-Pb)); SiO_2 > 64 %, Na_2O / K_2O = 5,9–8,4	Монцогранодиорит-порфиры (79 млн лет (U-Pb)); SiO_2 > 65 %, Na_2O / K_2O = 0,8–1,15
Рудовмещающие породы	Кварцевые диориты, тоналиты, тоналит-порфиры, кварцевые диорит-порфириты, эксплозивные и эруптивные брекчии	Кварцевые диориты, диориты, габбро, монцогранодиориты брекчированные вулканогенные породы
Структурные	Краевые части крупных полифазных массивов. Крутопадающие линейные пластинообразные штокверковые минерализованные зоны контролируются сериями сближенных даек тоналит-порфиров или кварцевых диорит-порфиритов, подчиненных разрывным нарушениям СЗ простирания и сопровождаемые телами эруптивных брекчий	Краевые части крупных полифазных массивов. Пологие пластообразные штокверковые минерализованные зоны локализованы над рудоносным порфировым интрузивом в понижениях его кровли, повторяя своими очертаниями рельеф его поверхности. Разрывные нарушения СВ простирания, оперяющие региональные разломы и контролирующие внедрение рудоносных гранодиорит-порфиров
Метасоматические	Метасоматическая зональность – от внутренних частей, фиксируемых рудоносными интрузивами, к периферии последовательно сменяются зоны: кремнещелочная (калишпат-биотитовая), филлизитовая (карбонат-кварц-серицитовая), внутренняя пропилитовая (кварц-альбит-серицит-хлоритовая) и внешняя пропилитовая (кварц-альбит-эпидот-хлоритовая). Меднорудная минерализация приурочена к области их совмещения (телескопирования), где метасоматические преобразования имеют карбонат-кварц-серицитовый или карбонат-кварц-хлорит-серицитовый состав	Метасоматическая зональность – от рудоносного интрузива к периферии последовательно сменяются зоны: филлизитовая (карбонат-хлорит-серицит-кварцевая с турмалином), внутренняя пропилитовая (эпидот-альбит-хлорит-кварцевая с кальцитом, серицитом) и внешняя пропилитовая (биотитового и/или амфиболового состава с альбитом, кварцем, хлоритом). Меднорудная минерализация приурочена к области их совмещения (телескопирования). В кварцевых диоритах такие изменения имеют кальцит-серицит-эпидот-альбит-хлорит-кварцевый состав, иногда с преобладанием серицита; для вулканитов характерен кварц-хлорит-альбит-серицит-биотитовый (существенно биотитовый) состав

Окончание таблицы

Элементы модели	Моренный РУ	Ольховский РУ
Минералогические	Наиболее проявлена латеральная зональность рудной минерализации (от центра к периферии): халькопиритовая с борнитом, молибденитом, теннантитом, энаргитом, люцонитом, халькозином, дигенитом – пирит-халькопиритовая – халькопирит-пиритовая – пиритовая – магнетитовая	Наиболее проявлена вертикальная зональность (снизу вверх): молибденит-халькопирит-пиритовая (в порфировом интрузиве); (молибденит-магнетит)-пирит-халькопиритовая продуктивная (надынтрузивная); внешняя (халькопирит)-магнетитовая или магнетитовая
Геохимические	Контрастные комплексные аномалии вторичных ореолов Cu, Mo, Ag, обрамляющиеся по периферии аномалиями Zn и Pb	Контрастные комплексные аномалии вторичных ореолов Cu, Mo, Ag, обрамляющиеся по периферии аномалиями Zn и Pb
Геофизические	Аномалии ВП и пониженные значения магнитного поля	Аномалии ВП и пониженные значения магнитного поля
Геохимические особенности первичных руд	Cu до 1 %; Au < 0,01 г/т, редко до 0,1 г/т; Mo 0,001–0,016 %; Cu /Au (60 000 : 1)–(1 300 000 : 1); Cu / Mo (60 : 1)–(1000 : 1)	Cu до 1 %; Au 0,1–0,49 г/т; Mo 0,001–0,016 %; Cu / Au (10 000 : 1)–(50 000 : 1); Cu / Mo (100 : 1)–(1800 : 1)
Тип руд	Медно-порфировый	Золото-медно-порфировый

(молибденит)-пирит-халькопиритовая минерализация с локально проявленными борнит-халькопиритовой, энаргит-блеклорудной и полиметаллической.

На рудопроявлении Ольховка проявлена сложная рудно-метасоматическая зональность, во многом обусловленная зависимостью состава изменений от состава протолита. В целом она выражена сменой от центра к периферии и снизу вверх относительно рудоносного интрузива следующих метасоматических зон: филлизитовой ((карбонат-хлорит)-серицит-кварцевой с турмалином), внутренней пропилитовой (эпидот-альбит-хлорит-кварцевой с кальцитом, серицитом) и внешней пропилитовой (биотитового и/или амфиболового состава с альбитом, кварцем, хлоритом). В той же последовательности следует смена типов рудной минерализации: (халькопирит)-молибденит-пиритовая, пирит-халькопиритовая, магнетит-халькопиритовая, магнетитовая. Прожилково-вкрапленная меднорудная минерализация приурочена к области совмещения биотитовых, пропилитовых и филлизитовых изменений. В кварцевых диоритах такие изменения имеют кальцит-серицит-эпидот-альбит-хлорит-кварцевый состав, иногда с преобладанием серицита; для вулканитов характерен кварц-хлорит-альбит-серицит-биотитовый (существенно биотитовый) характер изменений.

Геолого-поисковые модели, разработанные для медно-порфировых объектов Моренного и Ольховского РУ Центральной Чукотки, позволяют прогнозировать такие объекты в различных геоструктурных обстановках.

Список литературы:

1. Андреев А. В., Авилова О. В., Васюков В. Е., Звездов В. С., Минина О. В., Столяренко В. В., Чернов Е. Е. Медно-порфировые проявления Юго-Западной Чукотки и перспективы обнаружения промышленных объектов // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 32–47.

Агибалов О. А., Зубова Т. П., Позднякова Н. Н.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКОМ ОПРОБОВАНИИ ЗОЛОТОНОСНОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЕРАВНЕНСКОЙ ПЛОЩАДИ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Выполнено сопоставление эффективности традиционных методов анализов литохимических проб (атомно-абсорбционный на Au, золото-химико-спектральный, приближённо-количественный спектральный на 45 элементов, ICP AES на 33 элемента) с методом «Подвижные ионы металлов» (MMI-M) для их использования при поисках золотоносных и комплексных золотосодержащих минерализованных зон с развитыми по ним корами выветривания. В качестве контрольного для определения содержаний Au применялся пробирно-атомно-абсорбционный анализ.

Ключевые слова: золотоносные коры выветривания, золотосодержащие рудопроявления, методы анализа литохимических проб.

Ераненская площадь расположена в одноимённом административном районе Республики Бурятия, в южной части Сосновского рудно-россыпного узла (РРУ), в пределах которого известны многочисленные месторождения и проявления железа, колчеданных и полиметаллических руд, меди, редких и радиоактивных элементов, бора, флюорита, золота.

На территории (по материалам работ предшественников) широко развиты вулканогенно-осадочные породы олдындинской свиты нижнего кембрия, прорванные интрузивными гранитоидами Витимкамского раннепалеозойского комплекса. В её пределах установлены: золотое проявление Белюты (Агибалов О. А. и др., 2015ф), золотосодержащее железорудное Укыр (Миронов А. А. и др., 2008ф), золотосодержащие полиметаллическое Сосновское (Агибалов О. А. и др., 2015ф) и Юбилейное (Нефедьев М. А. и др., 1968ф, Агибалов О. А. и др., 2015ф). По породам разного состава развиты коры выветривания мел-палеогенового возраста, которые становятся золотоносными при их формировании по минерализованным зонам.

На проявлении Укыр золотая минерализация, предположительно золото-кварц-сульфидного типа, наложена на железорудные, преимущественно магнетитовые тела, приуроченные к скарнам. По золотосодержащим железорудным залежам развита зона окисления мощностью от 2 до 11 м, представленная чёрными, тёмно-коричневыми глинами с обломками бурого железняка, магнетита. По результатам шлихового опробования установлено наличие свободного мелкого и тонкого золота.

На проявлениях Белюты и Юбилейное широко развиты линейно-площадные, контактово-карстовые коры выветривания мощностью от первых метров до 60 м. Увеличение мощности кор выветривания происходит вдоль тектонических зон северо-западного направления. К этим участкам часто приурочены серицитовые, кварц-серицитовые метасоматиты с прожилково-вкрапленной золотоносной арсенопирит-пиритовой минерализацией. Рудная минерализация в зоне гипергенеза интенсивно окисляется, а на поверхности фиксируется свалами сливных, шлаковидных, натёчных бурых железняков и гравелитов с железистым цементом. Золото в коре выветривания преимущественно тонкодисперсное, сорбирующееся гидроксидами железа колломорфного строения, либо находящееся в виде включений в остаточном окисленном пирите. Также отмечается видимое мелкое (-0,25+0,1 мм), реже тонкое (-0,1+0,05 мм) золото гравитационных классов крупности.

Ландшафтные условия проведения геохимических поисков на Ераненской площади нельзя отнести к благоприятным. Современное эрозионное расчленение практически отсутствует.

В целом рельеф представлен залесённой и задернованной равниной с пятнистым рисунком озёровидных, часто заболоченных понижений, невысоких (1,0–1,5 м) грив и сухих русел.

В таких условиях рассеяние элементов практически не происходит, геохимические ореолы имеют первично-остаточный характер, небольшую ширину, отвечающую узким минерализованным зонам, которые могут быть пропущены при шаге опробования 40–50 м.

Присутствующие остаточные коры выветривания не экранируют геохимические «сигналы» на поверхность, то есть в них сохраняется концентрация основных рудогенных элементов, в частности золота.

На участках выполнена проходка опорных профилей с отбором шлиховых и литохимических проб. По шлиховым пробам проведен сокращённый минералогический анализ с попутным выделением золота. По литохимическим пробам, для оценки эффективности результатов анализов, выполненных различными методами, проведён комплекс исследований: атомно-абсорбционный на Au, золото-химико-спектральный, ICP AES на 33 элемента, приближённо-количественный спектральный на 45 элементов, MMI-M (подвижные ионы металлов). В качестве контрольного использован пробирно-атомно-абсорбционный анализ на Au.

При интерпретации полученных данных установлено:

• результаты определения содержаний Au на участках показали, что наибольшей чувствительностью обладает золото-химико-спектральный анализ. В случае относительно высоких содержаний (от 0,1 г/т и выше), полученные этим методом значения существенно (иногда более чем в 2 раза) превышают результаты атомно-абсорбционного и пробирно-атомно-абсорбционного анализов и, возможно, несколько завышают реальные содержания;

• эффективность применения метода MMI-M оказалась ниже традиционных методов анализов. При этом отмечается небольшая пространственная разобщённость повышенных содержаний Au и его элементов-спутников, определённых методом MMI-M с результатами других видов анализов. К особенностям метода MMI-M можно отнести слабую выраженность золотосодержащей железорудной зоны по содержаниям Fe, а также несовпадение повышенных значений Au и Fe (в отличие от метода ICP AES), что возможно, объясняется особенностями миграции и накопления ионов Au и Fe. К недостаткам рассматриваемого анализа относится также слабая выраженность ореолов подвижных форм по As и ряду других элементов-спутников, существенно уступающая в этом отношении методу ICP AES (применительно к условиям площади);

• при определении содержаний элементов-спутников (As, Cu, Ni и др.) золота наилучшую чувствительность показал метод ICP AES по сравнению с приближённо-количественным спектральным анализом. Следует отметить, что кривые распределения элементов-спутников, полученные по результатам этих анализов, практически совпадают;

• содержания золота и рудогенных элементов из серого шлиха шлихогеохимических проб, являются более контрастными, чем результаты анализов традиционных литохимических проб. Сравнение эффективности аналитических методов при геохимическом опробовании золотоносной коры выветривания отдельных участков Еравненской площади показало:

• пробирно-атомно-абсорбционный анализ и атомно-абсорбционный на Au, ICP AES, MMI-M в рассматриваемых условиях не имеют ярко выраженных преимуществ при оконтуривании вторичных аномалий золота и элементов-спутников по сравнению с золото-химико-спектральным и приближённо-количественным спектральным анализами;

• геохимические ореолы рудных элементов, полученные различными методами, пространственно практически совпадают.

Алексеев Я. В., Корчагина Д. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И РЕСУРСОВ В ОЦЕНКЕ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ МСБ МЕДИ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗАДАЧ ПО ЕЕ ВОСПРОИЗВОДСТВУ

Проведён анализ движения запасов отечественной сырьевой базы меди и их погашения по типам месторождений. Определены риски и ограничения, влияющие на устойчивость сырьевой базы, обоснована необходимость усиления геологоразведочных работ ранних стадий за счёт средств федерального бюджета для подготовки прогнозных ресурсов и создания «поискового задела» для меди.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, медь, запасы, прогноз, ресурсный потенциал.

При формальном «благополучии» сырьевая база (МСБ) меди России обладает рядом особенностей. Для оценки устойчивости проанализирована динамика балансовых запасов категорий $A+B+C_1+C_2$ в 1993–2021 гг. с позиции результативности геологоразведочных работ (ГРР), а в качестве критерия принято количество поставленных на государственный учет «новых» месторождений меди с балансовыми запасами категорий $B+C_1+C_2$. Соответственно месторождения, поставленные на государственный учет в советский период, были отнесены к «старым». Это позволило выделить два этапа. В первом, 1993–2004 гг., развитие МСБ меди характеризовалось низкой результативностью, во втором, 2005–2021 гг., – высокой.

В 1993–2004 гг. балансовые запасы меди категорий ABC_1+C_2 снизились с 88 902,2 до 82 740,9 тыс. т, что, главным образом, было обусловлено эксплуатацией месторождений. В результате ГРР на государственный учет было поставлено 8 «новых» месторождений меди (четыре существенно медных и четыре медьсодержащих) с суммарными балансовыми запасами C_1+C_2, 633,6 тыс. т. Часть из них, 17,3 тыс. т, была отработана. Во многом низкая результативность ГРР первого этапа обусловлена трансформацией отечественной экономики – переходом от плановой системы управления к рыночной, процессами фрагментации единого добывающего и горно-металлургического комплекса и относительно неблагоприятной рыночной конъюнктурой на медь.

В 2005–2021 гг. МСБ меди, несмотря на общее снижение запасов «старых» месторождений за счет отработки и переоценки, вследствие высокой результативности ГРР и постановке на учет «новых» месторождений, перешла от сокращения к росту, суммарные балансовые запасы увеличились с 82 740,9 до 102 668,5 тыс. т.

Основной эффект интенсификации ГРР проявился в увеличении количества «новых» месторождений меди с балансовыми запасами. Их количество на начало 2022 г. достигло 50, а полученный прирост балансовых запасов составил 32 810,2 тыс. т. Часть их указанного прироста (1619,7 тыс. т меди) была погашена при эксплуатации. В результате общее увеличение балансовых запасов в 2005–2021 гг. на «новых» месторождениям составило с 616,3 до 31 806,8 тыс. т. Из 50 месторождений 25 относятся к существенно медным с суммарными балансовыми запасами меди 30 053,6 тыс. т.

Восстановление интереса и сосредоточение работ недропользователей на перспективных рудопроявлениях «нетрадиционного» для МСБ СССР медно-порфирового и скарнового типов, которые не были «доведены» до запасов в силу различных причин, и их успешное завершение обеспечили постановку на баланс крупных [2] месторождений этих руд. Положительными экономическими факторами этих объектов являются: открытый способ разработки, комплексный характер руд (кроме меди содержат золото и серебро, а также в зависимости от типа и конкретного месторождения – железо, молибден, рений), низкие удельные производственные издержки из-за высокой годовой производительности и длительного срока эксплуатации. В результате среди «новых» месторождений основной вклад в наращивание МСБ обеспечили месторождения трех промышленных типов руд: медно-порфирового, скарнового и сульфидного медно-никелевого. В сумме на 17 месторождениях этих трех промышленных типов на начало 2022 г. учитывалась основная часть балансовых запасов «новых» объектов, 29 862 тыс. т или 93,9 %.

В целом на начало 2022 г. МСБ меди образована 178 месторождениями (как «старыми», так и «новыми») с общими запасами 102 668,5 тыс. т, в том числе учтено 15 объектов только с забалансовыми запасами. Основной вклад в структуру балансовых запасов вносят 90 существенно медных месторождений, содержащих 98 352,4 тыс. т или 95,8 % их количества по категориям $A+B+C_1+C_2$. По числу объектов различных промышленных типов и их доле в балансовых запасах от общероссийских они характеризуются следующим образом: сульфидные медно-никелевые – 22 и 34,4 %, медно-порфировые – 6 и 23,9 %, медистые песчаники и сланцы – 1 и 19,6 %, медноколчеданные – 55 и 14,5 %, скарновые – 3 и 2,7 %, ванадиево-железо-медные – 1 и 0,8 %, медистые глины – 1 и 0,04 %, медно-кобальтовые – 1 и 0,003 %.

Добыча меди в Российской Федерации из руд, несмотря на снижение в отдельные годы, в целом имеет положительную динамику, увеличившись к 2021 г. по сравнению с 2005 г. почти

в 1,5 раза (до 1146,8 тыс. т). В ее структуре наблюдается постепенное снижение доли «старых» месторождений и увеличение «новых», вклад которых вырос с 0,1 % в 2005 г. до 35,1 % в 2021 г.

Прогноз развития. При прогнозируемом объеме добычи балансовые запасы меди, учтенные на «старых» месторождениях на начало 2022 г., снизятся с 70 861,7 до 46 900,3 тыс. т на конец 2040 г., на «новых» с 31 806,8 до 9991,2 тыс. т. Для их компенсации, согласно определенному Стратегией развития МСБ РФ до 2035 года уровню воспроизводства сырьевой базы меди в 50 %, за 2022–2040 гг. требуется восполнить не менее 22 889 тыс. т. Исходя из анализа ретроспективы уже числящиеся на Госбалансе месторождения как «старые», так и «новые», только отчасти могут решить поставленную задачу при их дальнейшей разведке, включая фланги и глубокие горизонты, и возможной переоценке ранее подсчитанных блоков. Основным фактором воспроизводства МСБ меди являются ГРР, направленные на выявление «новых» месторождений, при этом их интенсивность должна в целом соответствовать высокорезультативному периоду 2005–2021 гг.

Заделом воспроизводства запасов меди является выявленный ресурсный потенциал, однако он характеризуется рядом особенностей как по количеству учтенных объектов, на которых апробированы прогнозные ресурсы наиболее достоверных категорий P_1 и P_2, так и по геолого-промышленным типам. Поскольку воспроизводство МСБ меди, как показала оценка динамики запасов определяется, главным образом, постановкой в результате ГРР на государственный учет крупных и средних месторождений, то среди 138 объектов таким потенциалом формально обладают 50, на которых из 16 687,9 тыс. т условных запасов категории C_2 [1, 3] меди сосредоточено 13 339,7 тыс. т: в том числе один, «Баимский рудный узел (с Находкинским рудным полем», является крупным (1293,6 тыс. т), 49 средних (100–693 тыс. т), остальные 88 мелкие (0,8–92 тыс. т). Для эффективного наращивания МСБ меди необходимо усиление работ ранних стадий за счет средств федерального бюджета (прогнозно-минерагенических), направленных на выделение перспективных площадей для проведения поисковых работ и выявления перспективных объектов с прогнозными ресурсами высоких категорий.

Список литературы:

1. Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18–28.
2. Постановление Правительства РФ от 11.02.2005 года № 69 «О государственной экспертизе запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, размере и порядке взимания платы за ее проведение (с изменениями на 12 ноября 2020 года)».
3. Черные, цветные, редкие металлы и уран. Вып. 1. // Прогнозные ресурсы твердых и твердых горючих (уголь) полезных ископаемых российской федерации на 1 января 2022 года. – М. : ФГБУ «Росгеолфонд, 2022. – 280 с.

Андреев А. В., Двуреченская С. С., Лейбгам П. Н.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТО-МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ РУД СЕВЕРО-МАМБЕТОВСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

Исследования выполнены в рамках субподрядного договора с АО «Северо-Кавказское ПГО» в составе ГРР, выполняемых за счет федерального бюджета РФ (ГК № 224 от 09.06.2020).

В результате поисковых работ на медноколчеданные руды в пределах Мамбетовско-Карагайской площади, проведенных АО «Северо-Кавказское ПГО» при участии специалистов ФГБУ «ЦНИГРИ», установлено, что рудные интервалы зачастую имеют выраженный литологиче-

ский контроль, что позволяет выделить четыре уровня рудолокализации, занимающих определенную позицию в разрезе рудовмещающей баймак-бурибаевской свиты. Минералого-петрографические исследования позволили выявить две продуктивные ассоциации рудных минералов, пространственное совмещение которых может увеличивать содержания полезных компонентов (меди, цинка, золота) в рудах.

Ключевые слова: Южный Урал, Северо-Мамбетовское рудопроявление, баймак-бурибаевская свита, медноколчеданные руды, золото, уровни рудолокализации, минеральные ассоциации.

Для большинства разрабатываемых в настоящее время на Южном Урале крупных месторождений медноколчеданных руд обеспеченность запасами резко снижается, возрастают глубины залегания руд, понижается их качество. Дальнейшие перспективы наращивания МСБ меди региона преимущественно связывают с относительно небольшими по запасам объектами (250–500 тыс. т). В последние несколько лет специалистами ФГБУ «ЦНИГРИ» был рекомендован для доизучения целый ряд подобных рудопроявлений: Новопетровское [1], Южно-Подольское [2] и другие, на которых в настоящее время уже проводятся оценочные работы. В 2020–2022 гг. проведено доизучение Мамбетовско-Карагайской площади, включающей недооцененные в свое время (ГРР 1978–1980 гг.; исследования И. Б. Серавкина, 1977 г., [3] и др.) рудопроявления Северо-Мамбетовское I и Северо-Мамбетовское III, по итогам переоценки объединенные в одно Северо-Мамбетовское рудопроявление.

В геологическом строении Северо-Мамбетовского рудопроявления участвует комплекс пород среднего девона (сверху вниз): вулканомиктовые флишоиды улутауской свиты; лавы и туфы андезито-базальтового состава ирендыкской свиты; лавы и туфы дацитового, андезито-дацитового и андезитового состава рудовмещающей баймак-бурибаевской свиты. Между породами ирендыкской и баймак-бурибаевской свит локализовано субвулканическое тело крупнопорфировых кварц-плагиоклазовых риодацитов, перекрывающее восточную часть рудопроявления (рис. 1). Все слагающие рудопроявление породы погружаются на юго-восток; в западной части рудопроявления перекрывающие толщи эродированы.

В составе рудовмещающей баймак-бурибаевской свиты традиционно выделяют сверху вниз: дацитовую толщу – лавы кварц-плагиоклазовых и плагиоклазовых дацитов и их туфы; андезито-дацитовую – лавы и туфы андезито-дацитов; андезитовую – лавы и туфы андезитов. Породы свиты практически повсеместно затронуты интенсивными кварц-(хлорит)-серицитовыми метасоматическими изменениями и сопровождающей их прожилково-вкрапленной сульфидной (пирит, сфалерит, халькопирит) минерализацией. Размеры ореола минерализованных метасоматитов в плане составляет ~ 2 × 3 км.

Анализ материалов предшественников, данных опробования АО «Северо-Кавказское ПГО» и собственных геологических наблюдений позволил выполнить корреляцию выявленных на рудопроявлении минерализованных зон и рудных интервалов. В результате авторами было выделено четыре уровня рудолокализации.

Самым богатым является *верхний уровень рудолокализации* (I), который приурочен к дацитовой толще баймак-бурибаевской свиты. Все руды этого уровня обладают комплексным золото-цинково-медным составом и потенциально промышленными содержаниями полезных компонентов. В составе уровня уверенно выделяются два подуровня. Верхний (I-1) приурочен к горизонту мелкообломочных осадков, залегающих в кровле свиты. Он вмещает сплошные (массивные, полосчатые, комковатые) руды, предположительно гидротермально-осадочного происхождения. Эти руды формируют крупную в плане (до 300 × 1200 м) субпластовую залежь мощностью от 1 до 8 м. В большинстве случаев подстилающие породы не несут существенных метасоматических преобразований. В пределах второго подуровня (I-2), проявленного зачастую на периферии залежи подуровня I-1, локализованы прожилково-вкрапленные руды. Этот подуровень приурочен к интенсивно метасоматически измененным (кварц, серицит), брекчированным лавам кварц-плагиоклазовых и плагиоклазовых дацитов и разделяющим их горизонтам разнообломочных туфов. Потенциально промышленное оруденение установлено на 2–4 сближенных интервалах мощностью до 15 м. Количество рудных интервалов в целом соответствует

количеству горизонтов брекчированных дацитов, в которых концентрируется основной объем минерализации.

Второй уровень (II) стратиграфически приурочен к средней части андезито-дацитовой толщи, представлен 1–2 интервалами прожилково-вкрапленных руд. Установленная площадь распространения минерализации в его пределах ограничена и редко характеризуется потенциально промышленными содержаниями полезных компонентов.

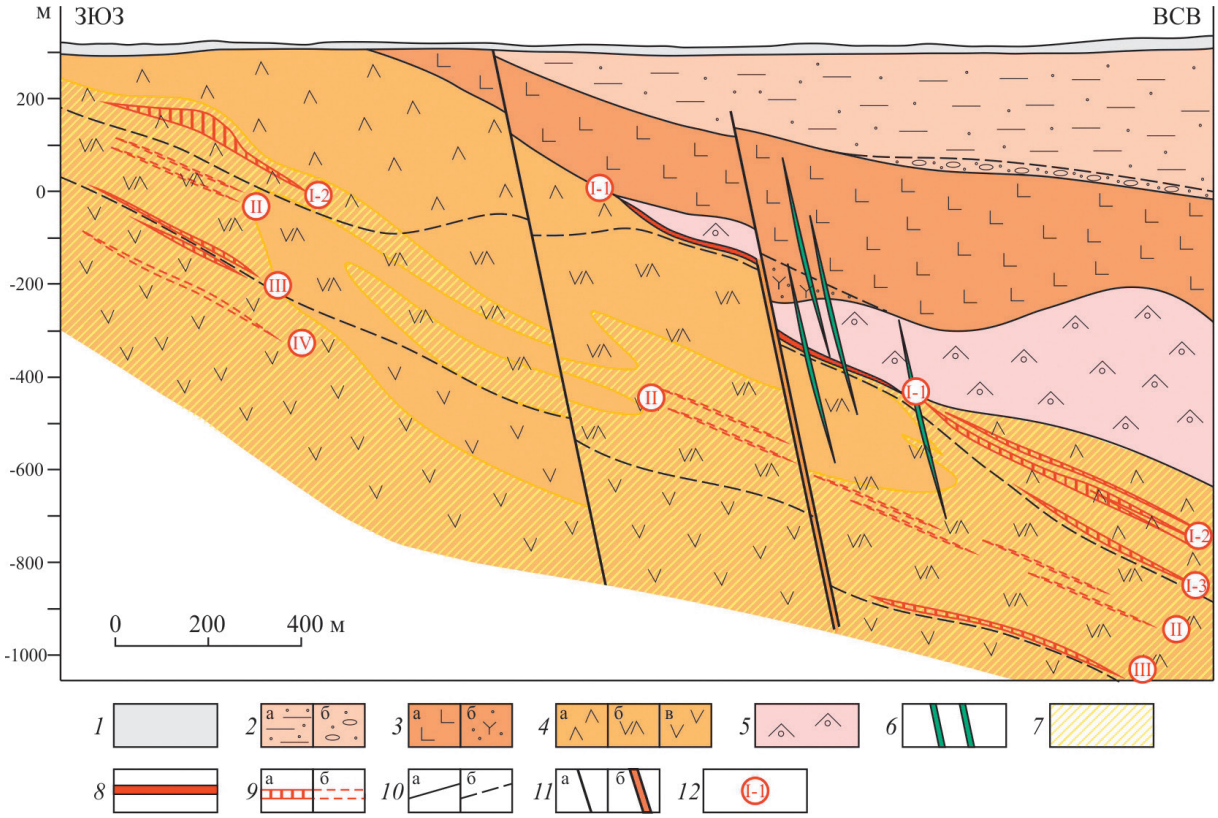


Рис. 1. Сводный поперечный разрез через Северо-Мамбетовское рудопроявление (интерпретация авторов):
1 – рыхлые отложения; 2 – улутауская свита: вулканомиктовые флишоиды (а), конгломераты с прослоями яшм (б); 3 – ирендыкская свита: андезито-базальты и их туфы (а), туфы смешанного состава (б); 4 – баймак-бурибаевская свита: дациты и их туфы (а), андезито-дациты и их туфы (б), андезиты и их туфы (в); 5 – риолито-дациты субвулканические; 6 – дайки диабазов; 7 – метасоматиты кварц-(хлорит)-серицитовые; 8 – сплошные богатые колчеданные руды; 9 – прожилково-вкрапленные колчеданные руды: богатые (а), бедные (б); 10 – геологические границы: между свитами и комплексами (а), между толщами внутри свит (б); 11 – разломы (а), минерализованный разлом, предположительно рудоподводящий (б); 12 – номера уровней и подуровней рудолокализации

Третий уровень (III) приурочен к приконтактовой области андезито-дацитовой и подстилающей ее андезитовой толщ. Он представлен несколькими (от 1 до 4–5) сближенными интервалами прожилково-вкрапленных руд. Глубокое залегание данного уровня позволило выявить его только в западной (наиболее приподнятой) части рудопроявления, тем самым его продуктивность и масштабы развития оруденения изучены пока недостаточно. Вместе с тем, редкие подсечения данного уровня указывают на наличие достаточно богатых медно-цинковых золотосодержащих руд, что позволяет высоко оценивать его перспективы.

Единичные маломощные рудные подсечения в пределах средней части андезитовой толщи отнесены к *уровню рудолокализации IV*. По имеющимся данным, его продуктивность невысокая, масштабы распространения к настоящему времени не установлены.

Результаты минералого-петрографических исследований показали, что рудовмещающие метасоматиты имеют существенно кварц-серицитовый состав. Наибольшей степени преобразований подвержены кислые вулканиты, по которым образуются полнопроявленные метасоматиты с ведущей долей кварца. В преобразованиях пирокластических и вулканогенно-осадочных пород ведущую роль играет серицит, содержится хлорит, кварц имеет подчиненное значение. Надрудные, подрудные и фланговые метасоматиты имеют состав пропилитов, характерно наличие эпидота/цоизита, тонкодисперсного гематита.

Рудообразующие минералы представлены двумя ассоциациями (генерациями). *Ранняя генерация* состоит из относительно крупных агрегатов пирита, сфалерита и халькопирита, образующих как самостоятельные зерна, гнезда и прожилки, так и сростки друг с другом в последовательности пирит – сфалерит – халькопирит (рис. 2, А). К этой же генерации отнесен метаколлоидный пирит (почковидной, глобулевой форм), реликты которого выявлены в гидротермально-осадочных рудах подуровня I-1 (см. рис. 2, Б). В состав *поздней генерации* входят мелкие выделения тех же основных сульфидов (пирита, халькопирита и сфалерита), а также галенита, блеклой руды (теннантита), борнита, самородного золота (см. рис. 2, В, Г) и более редких – сульфидов серебра, теллуридов. Минералы поздней генерации тесно ассоциируют с ранними сульфидами, образуют в них вкрапленность, выполняют интерстиции, трещины, обрамляют края зерен. Наблюдаемая последовательность формирования основных минералов поздней генерации: пирит – сфалерит – халькопирит – блеклая руда – галенит – золото.

Отмечено, что степень интенсивности общей минерализации влияет и на разнообразие рудных минералов (при доминировании пирита во всех случаях). Так, при рассеянной вкрапленности рудные минералы представлены пиритом с резко подчиненным количеством сфалерита

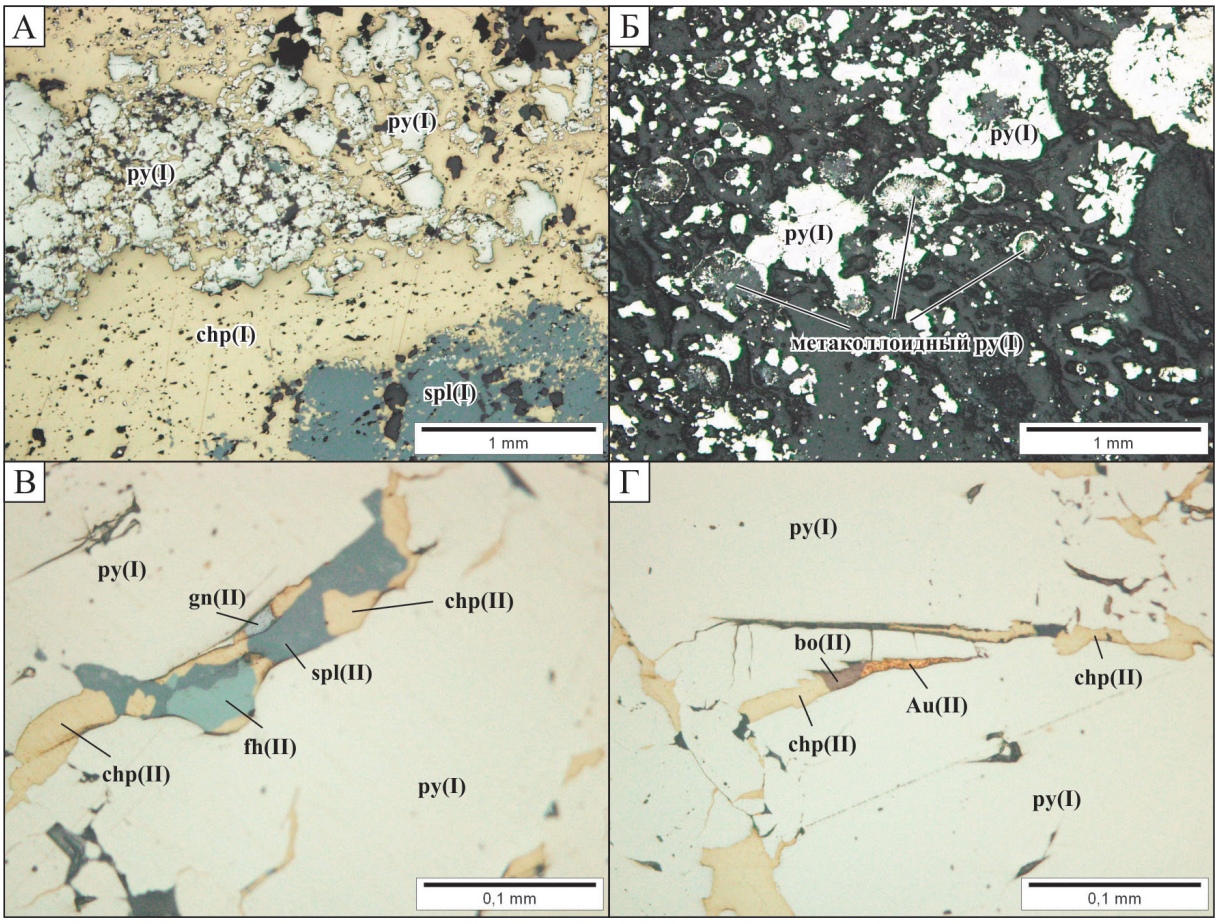


Рис. 2. Рудные минералы ранней генерации (А); метаколлоидный пирит ранней генерации (Б); рудные минералы поздней генерации (В, Г); самородное золото (Г)

ранней генерации, реже с локализованным по трещинам в пирите и сфалерите халькопиритом поздней генерации. При интенсивной прожилково-вкрапленной минерализации, а также в гидротермально-осадочных рудах подуровня I-1, всегда присутствует практически весь спектр рудных минералов как ранней, так и поздней генераций.

Учитывая достигнутые по результатам поисковых работ показатели прогнозных ресурсов (Cu – 361,2 тыс. т, Zn – 226,2 тыс. т, Au – 20,47 т), специалистами ФГБУ «ЦНИГРИ» рекомендована постановка на площади рудопроявления оценочных работ. Кроме того, перспективы объекта могут быть расширены за счет изучения глубоких горизонтов, а именно прослеживания оруденения перспективного уровня рудолокализации III.

Список литературы:

- Никешин Ю. В. Палеовулканизм и колчеданное оруденение Новопетровской перспективной площади (Республика Башкортостан) // Сборник тезисов докладов VII научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2017. – С. 85.
- Никешин Ю. В., Татарко Н. И. Двуреченская С. С. и др. Вулканическая структура Южно-Подольского рудопроявления на Южном Урале // Сборник тезисов докладов IX научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2019. – С. 192–193.
- Серавкин И. Б. Палеовулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала // Литосфера. – 2002. – № 1. – С. 37–60.

Арипова М. К.
НУУз, г. Ташкент

УСЛОВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ В ЭОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ

Дана характеристика условий распространения некоторых органических остатков в эоценовых отложениях Ферганской впадины.

Ключевые слова: палеоген, остракода, моллюски, фораминифера, конодонта, гастропода, агглютинированные, сузак, горизонт, биофация.

Палеогеновые отложения в Ферганской депрессии хорошо обнажены и известны в предгорных частях региона. На севере и северо-западе они простираются от пос. Чаркессар до пос. Сузак на северо-востоке, на юге, юго-западе от пос. Шураб до Соха, Исфайрам-Соха, басс. р. Кува.

Ракообразные в разрезе палеогена Ферганы разделяются на низшие (остракоды и усоногие) и высшие (десятиногие). Остракоды встречены в большом количестве в различных районах, только из одного, исфаринского, разреза М. И. Мандельштамом выделены 15 родов и 50 видов из алайского, туркестанского и риштанского горизонтов. Различными исследователями в районах Ферганы, Южного Узбекистана, Приаралья, Устюрта были собраны остракоды. Они изучались в стратиграфических целях наряду с другими группами фауны достаточно активно, однако их образ жизни (расселение сообщества, биоценозы и другие вопросы экологии) оставался незатронутым. Большую работу по изучению остракод провел М. И. Мандельштам. Результаты он опубликовал в книге «Остракоды из отложений палеогена Средней Азии» в 1959 г. Однако, как сказано выше, экологический анализ этих животных оказался вне поля его исследований.

Учитывая сказанное выше, считаем необходимым рассмотреть здесь некоторые сведения об образе жизни современных остракод в целом. Эта группа микроскопических животных населяет в основном континентальные бассейны, лагунные озера. Морскими являются только отряды Myodocopila и Podocopida, они заселяют придонные прибрежные участки. Треть из них селятся на водорослях, остальные на глубинах до 200 м. Среди остракод в основном ползающие или зарывающиеся и лишь немногие – плавающие. На водорослях селятся остракоды с гладкой

раковиной, с нечетко выраженной скульптурой. Хорошо скульптурированные формы селятся на ракушняках, на песчаном дне. На песке живут приостренные веретеновидные, небольших размеров. На иле – более широкие, крупные. К плавающим относятся Myodocopida. Эти планктонные формы имеют гладкую раковину, часто выпуклые. В континентальных водоемах подокопиды могут жить как в пресноводных, так и соленых озерах. Надо иметь в виду, что остракоды могут находиться в анабиотическом состоянии и долго сохраняться. Среди морских выделяются эври- и стеногалинные, более глубоководные – эвритопные *Cavellina, Carbonita, Jonesina,* а стеногалинные селятся на определенных глубинах. Важное значение имеет пища: мелкие растения, животные, органогенный детрит, трупы животных, соки водорослей. Глинисто-известковые формы могут являться породообразующими. Можно сделать вывод, что условия жизни остракод не противоречат экологии фораминифер.

Десятиногие ракообразные в палеогене Ферганы встречаются во всех горизонтах, кроме бухарского, в виде окаменелостей, покровов. Я. А. Бирштейн, изучавший их, указывает на хорошую сохранность. Встречаются конечности и головогрудный щит из известкового материала. Этот исследователь видел семь видов десятиногих ракообразных, из них краба и пять различных среднехвостых раков *Anomura*. Среди последних преобладает род *Callianassidae*. Они встречаются в виде остатков клешней в сузакском, риштанском и сумсарском горизонтах. Обычно остатки не находятся в глинистых и известняковых песчаниках с детритусовым материалом. В слабоизвестковистых породах (красных глинах сумсара) эти животные встречаются редко: условия фоссилизации здесь для них неблагоприятны. Эти ракообразные являются хорошими норояющими животными. Норы встречаются во всех горизонтах палеогена, за исключением бухарского. Обычно они встречаются в прибрежных осадках, в малоактивных участках, в затишных водах. Норы заполняются песчано-алевритовым материалом, длина их достигает 25–30 м, с диаметром до 3 см. Норы бывают разветвленными, различной формы. В книге Р. Ф. Геккера и др. (1962) приводятся детальные описания нор *Callianassidae*, заимствованные из работ Я. А. Бирштейна (1956). Разнообразный животный мир палеогена Ферганы представлен еще и радиоляриями, губками, кораллами, мшанками, многощетинковыми червями, иглокожими и рыбами.

Кораллы обнаружены только у села Риштан в сумсарском горизонте в количестве пяти экземпляров. Исследователи полагают, что это связано с неподходящими условиями, не соответствовавшими нормально морским. Кораллы мелкие – в поперечнике 6 мм. Они одиночные. В Таджикской депрессии (Истымтау) кораллы роговидные, слабоизогнутые, шестилучевые, встречаются в большом количестве вместе с двустворчатыми и брюхоногими моллюсками, морскими лилиями, морскими ежами. Формы крупнее ферганских – длина достигает 24 мм. Они свидетельствуют о нормально морских условиях, какие никогда не существовали в Фергане.

Нанопланктон. В ферганском разрезе (разрез Исфара) аналогичный комплекс нанопланктона установлен в образованиях алайского горизонта, сложенного в нижней половине глинами с прослоями алевролитов, с большим количеством остатков фауны (двустворки, гастроподы, фораминиферы) и известкового нанопланктона: *Coccolithus eopelagicus Bramlette et Sullivan., Brarudosphoera bigelow Grain et Braarud., Neococcolithus dubius Deflandree., Cruciplocithus olelus Bramlette et Sullivan., Discoaster lodoensis Bramlette et Riedel* [10].

В разрезе Исфара в образованиях туркестанского горизонта наряду с многочисленными остатками фораминифер, моллюсков выделен комплекс известкового нанопланктона: *Coccolithus eopelagicus Bram. et Riedel., Brarudosphaera bigelovia Deflandre., Neococcolithus dubius Black., Transversopontis pulher Deflandre, Micrantolithu sinaequalis Martini., Coccolithus formosa Kamptner., Rhabdosphaera tenius Bram. et Sullivan,* близкий выделенному из ильялинского горизонта западных районов Узбекистана.

Риштанский горизонт сложен известняками, мергелями, глинами (около 20 м) с большим количеством органических остатков (фораминиферы, моллюски). Встречены единичные экземпляры нанопланктона: *Coccolithus eopelagicus (Braml. Et Riedel.), Cribrocentrum reticulatum (Gartner.), Reticulofenes traumbilica (Levin), Neococcolithus dubius Defl., Transversopontis pulcher Defl., Tr. oblicuipons (Defl.), Zighrablithus bijugatus (Defl.)*. К сожалению, в этом комплексе нет зональных видов. Присутствие *Cr. reticulatum* определяет возраст вмещающих отложений

не древнее второй половины среднего эоцена, но это, собственно, не уточняет существующие представления о стратиграфическом положении риштанского горизонта, но и не противоречит им.

В разрезе Исфара, нанопланктонный комплекс, соответствующий зоне NP 19-20, установлен в породах сумсарского горизонта, сложенного глинами с большим комплексом органических остатков (15 м). Определены остатки нанопланктона: *Coccolithus eopelagicus (Bramlette et Riedel.), Braarudosphaera bigelowi (Deflandre.), Transversopontis pulcher (Deflandre.), Cribro centrum (Gartner.), Reticulofenes traumbilica (Levin.), Transversopontis oblicuipons (Defl.), Zigrablithus bijugatus (Defl.), Istmolithus recurvus Defl., Rhabdospaera spinulus Levin, Rh. crebra (Defl.), Discoaster barbadiensis Tan Sin Hok* [9].

К. К. Калицкий предполагал возможное произрастание морской травы – зостеры, которая, однако, не была обнаружена. Известно, что раки *Callianassa* питаются детритом, а он в палеогене имел массовое развитие. Из наземных растений в виде обрывков в глинистых породах найдены хвойные, покрытосеменные в исфаринском горизонте, указывающие на увеличение влажности, что совпадает с моментами трансгрессии моря.

Выводы. Эти же исследователи выделяют следующие особенности фауны Ферганского палеогена: качественную бедность, количественное богатство и преобладание эндемичных форм. Первое обстоятельство объясняется частой сменой солености залива, отклонением ее от нормальной солености – осолонение или опреснение, что привело к отсутствию чисто морских групп и, таким образом, обеднению фауны. Второе связано с частым опреснением за счет смешения с речными водами, что может указывать на вынос с суши большого количества минеральных солей. Это способствовало интенсивному развитию фитопланктона, являвшегося пищей для бентосных форм. С другой стороны, отсутствие морских хищников, в частности морских звезд, способствовало развитию эндемичных устриц в большом количестве за счет активного формообразования. Определяющее влияние абиоты (грунт дна, соленость и т.д.) на биоту, а также тектонические движения (частые воздымания) приводили к отшнуровыванию бассейна от нормального моря, к обособлению отдельных участков залива, что определяло неоднородность условий в различных зонах бассейна.

Список литературы:

1. Биостратиграфические и палеобиофациальные исследования и их практическое значение : Труды X и XI сессий Всесоюз. палеонтол. о-ва. – М. : Недра, 1970. – 264 с.
2. Геккер Р. Ф. Наставления для исследователей по палеоэкологии. – М. : Палеон. ин-т ГАН СССР, 1955. – 39 с.
3. Геккер Р. Ф. и др. Ферганский залив палеогенового моря Средней Азии : [в 2 томах]. – М. : Изд-во АН СССР, 1962.
4. Давидзон Р. М. и др. Стратиграфия палеогеновых отложений Таджикской депрессии и сопредельных территорий. – Душанбе : Изд-во «Дониш», 1982. – 152 с.
5. Значение биосферы в геологических процессах: Вопросы взаимосвязи палеонтологии и тектоники: Труды V и VI сессий Всесоюз. палеонтол. о-ва / Всесоюз. палеонтол. о-во; [Ред. А. М. Обут]. – Москва : Госгеолтехиздат, 1962. – 248 с
6. Макарова Р. К. и др. Палеогеновая система // Геология СССР. – Т. XXIII Узбекская ССР. – М. : Недра, 1972. – 476 с.
7. Марковский Б. И. Методы биофациального анализа. – М. : Недра, 1966. – 271 с.
8. Миркамалова С. Х. и др. Палеоген Восточного Узбекистана. – Ташкент : ФАН, 1971. – 104 с.
9. Музылев Н. Г., Расулов У. М., Хохлова И. В., Кушаков А. Р. Верхний эоцен ферганской депрессии и смежных регионов // Стратиграфия, геологическая корреляция. – 1996. –Т. 4, № 2. – С. 38–45.
10. Кушаков А. Р., Расулов У. М., Музылев Н. Г. Первые находки наннопланктона в палеогене Ферганской депрессии // Эволюция геологических процессов и полезные ископаемые. – Ташкент : Университет, 1995. – С. 31–34.

Афанасьев В. П.[1], **Ковалевский В. В.**[2]
[1] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; [2] ИГ Кар НЦ РАН, г. Петрозаводск

О ПРОИСХОЖДЕНИИ КАРБОНАДО

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГМ СО РАН, ИГ Кар НЦ РАН.

Карбонадо – это поликристаллический алмаз, присутствующий в россыпях Центральной Африки и Бразилии. Представлен микрокристаллическими агрегатами алмаза с вкраплениями минерального вещества. Имеет форму обломков, в разной степени окатанных. Известен давно, но коренные источники не найдены и не ясен генезис этой разновидности алмаза. Нами обоснована гипотеза, что наиболее вероятным прекурсором карбонадо является шунгит.

Ключевые слова: карбонадо, алмаз, шунгит, субдукция, эксгумация.

Карбонадо – одна из микрокристаллических разновидностей алмаза. Имеет форму обломков неправильной формы, обломки часто сильно окатаны, вплоть до яйцеобразной формы. Цвет черный, коричневый, темно-серый. Размер от одного миллиметра до нескольких сантиметров; самый большой из найденных карбонадо весил 3167 каратов. Часто пористый, поры заняты разнообразными минералами. Изотопный состав углерода карбонадо легкий, от -20 до -30 $\delta^{13}C$. Размер кристаллитов алмаза, слагающих карбонадо, по данным просвечивающей электронной микроскопии, различный в пределах образца – от первых микрон до субмикроскопических; на стенках пор в наших образцах после удаления минералов видны вершины октаэдрических кристаллов алмаза размером в первые микроны. Возраст карбонадо архейский, имеющиеся изотопные датировки показывают возраст более 3 млрд лет. Встречается только в россыпях экваториальной Африки и в Бразилии. Коренные источники карбонадо и его происхождение в целом, до сих пор неизвестны. Выдвигаются гипотезы как о земном, так и космическом происхождении карбонадо, но все они недостаточно обоснованы.

Нами впервые высказано предположение, что материалом для формирования карбонадо был шунгит, погруженный процессом субдукции на большую глубину в поле стабильности алмаза, а затем эксгумированный на поверхность земли.

Шунгит – специфичная форма углерода, представляющая собой некристаллический, неграфитируемый, фуллереноподобный углерод, отличающийся от графитового на уровне надмолекулярной, атомной и зонной (электронной) структуры. Характерной особенностью шунгитов – это наличие плавно изогнутых углеродных (графеновых) слоев, охватывающих наноразмерные поры. Шунгитовые породы являются природными микродисперсными композиционными материалами, содержащими шунгит – углеродистое вещество и минеральные компоненты с составом от кремнистого, алюмосиликатного и карбонатного до смешанного, в частности, такие как кварц, мусковит, хлорит, альбит, кальцит, доломит и сульфиды металлов. Содержание углеродистого вещества в шунгитовых породах от <10 до 98 %. Изотопный состав углерода шунгита легкий, $\delta^{13}C$ от -25 до -40 ‰. Возраст шунгита более 2 млрд лет. В настоящее время шунгитовые породы с запасами более 4 млрд т известны в Карелии. Небольшие проявления шунгитов имеются в золоторудных месторождениях Советское на Енисейском кряже (Россия) и Eriksson (Канада). Но ранее эта порода была распространена, вероятно, значительно шире.

Характеристики шунгита говорят о том, что данное вещество наиболее подходит в качестве исходного материала для карбонадо. Возможно, это был не полный аналог известного нам шунгита, а шунгитоподобная порода. Наши предположения в первую очередь подтверждаются формой карбонадо, представляющей собой обломки крупного геологического тела. Близок возраст – глубокий докембрий. Близок изотопный состав углерода: он соответствует органическому, а в архее и раннем протерозое уже существовала жизнь, представленная массой одноклеточных организмов, за счет отпада которых могли формироваться слои органики на дне водоемов, послужившие прекурсором шунгита или шунгитоподобной породы. Сформировавшиеся массивы такой породы могли быть субдуцированы в мантию, где произошла трансформация углерода шунгита в алмаз и образовалась поликристаллическая алмазная порода с переменным

количеством примеси минерального вещества. Затем эта порода была эксгумирована на поверхность земли, аналогично массивам Кумды-Коль в Казахстане или Бени-Бушера в Марокко, подверглась разрушению и послужила источником россыпей карбонадо. Проведенные нами экспериментальные исследования показали, что алмаз кристаллизуется из шунгита при высоких давлении (15 ГПа) и температуре (1600 °С) в течение двух часов. Однако нужно учитывать фактор времени, который способствует трансформации шунгита в алмаз при более низких *PT*-параметрах. Поэтому описанный сценарий достаточно реалистичен.

Карбонадо является эндемичным минералом. Он распространен только в пределах экваториальной Африки и Бразилии, сейчас разделенных Атлантическим океаном, а в рамках Гондваны это была единая территория. К сожалению, часто иные агрегаты микроалмазов без должного обоснования относят к карбонадо, но это неправильно, карбонадо обладает специфическим набором минералогических признаков, который не повторяется у других алмазных агрегатов. Эндемичность карбонадо также указывает на его субдукционный генезис. Данная гипотеза наиболее адекватно и полно характеризует генезис карбонадо.

Ахмедов М. Ш.
ГУ «ИМР» РУЗ, Г. Ташкент

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ УРАНОВОРУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В КАРКАТИНСКОЙ ВПАДИНЕ

Уран является для Узбекистана одним из важных, стратегических видов минерального сырья. Каркатинская впадина, одна из перспективных территорий на обнаружение залежей урановых руд, расположена на территории Центрально-Кызылкумской урановорудной провинции и находится в юго-восточной части гор Аристантау, юго-западнее гор Сангруntау и северо-западнее Северо-Нуратинского хребта. С юга ограничена поднятием гор Актау. В настоящее время в Каркатинской впадине разрабатываются такие месторождения, как Кухнур (Аленды) Аульбек, Бешкак, Лойликен (Лявлякан) и Аксай.

Ключевые слова: Центрально-Кызылкумская урановорудная провинция, Каркатинская впадина, зона пластового окисления, Нуратинский горст, Сангруntауский горст, Аристантауский горст, зона пластового окисления, урановорудное оруденение.

Современный структурный план Каракатинской впадины ограничивается крупными тектоническими элементами района, главными из которых являются: Нуратинский, Сангруntауский, и Аристантауские горсты. Эти структуры первого порядка входят в Кызылкумскую систему молодых орогенных образований и относятся к краевой части Тянь-Шаньского орогена. Тектонику чехла рассматриваемого района характеризуют два различающихся по скорости и амплитудности тектонических движения этапа развития территории Кызылкумов: платформенный в позднем мелу и палеогене и орогенный в неоген-четвертичное время [4]. Созданные малоамплитудными движениями по разломам герцинского заложения крупные тектонические блоки унаследованно развивались в течение всего платформенного этапа, контролируя мощности и фациальный состав накапливавщихся отложений. В орогенный этап блоки были существенно усложнены более контрастными новейшими орогенными движениями, что отразилось на мозаичности и фациальной пестроте неогеновых и четвертичных отложений, их несогласном залегании на различных по возрасту породах [4].

Нуратинский горст характеризуется как сложно построенная положительная структура северо-западного простирания. На площади располагаются только его расщепляющиеся ветви, представленные Северо-Нуратинской, Актауской и Каратауской горст-антиклиналями и двумя разделяющими их грабен-синклиналями: Нуратинской (рисунок) и Арасайской. Ядерные части горст-антиклиналей сложены рифейскими и палеозойскими метаморфическими и интрузивными образованиями, которые четко выражаются в современном рельефе горных возвышенностей. Отрицательные пологие формы рельефа присущи грабен-синклиналям, геологические образования которых представлены осадочными породами мезозоя и кайнозоя, залегающими с не-

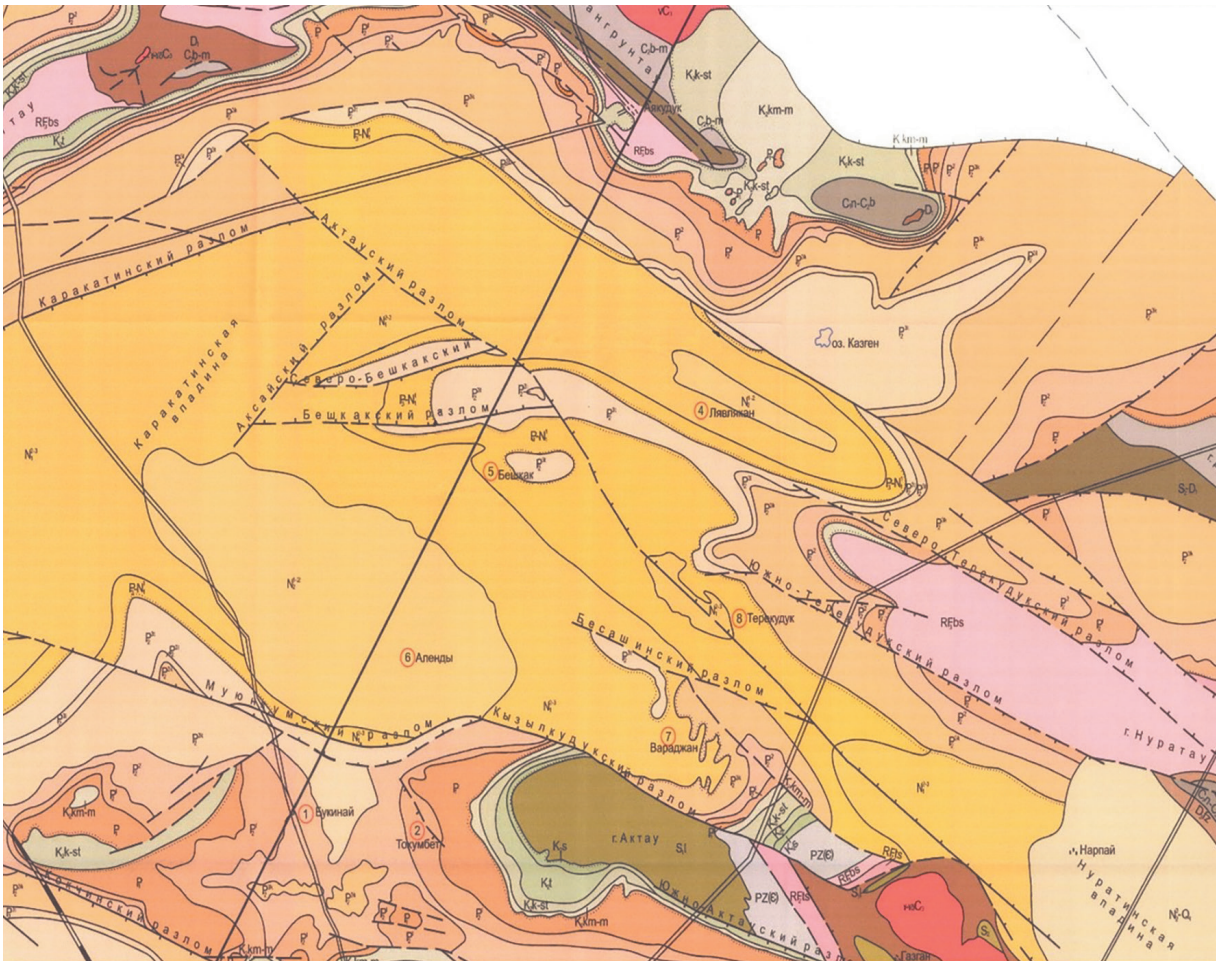
значительными наклонами слоев (до 1–3°). Мощность осадочного чехла в центральных частях грабен-синклиналей достигает 400–500 м. Среди осадочных пород Нуратинской грабен-синклинали локализована концентрация урана месторождения Нуркон (Вараджан) (см. рисунок). Для перечисленных структурных элементов, входящих в Нуратинский горст, характерным является их асимметричное строение, выразившееся в круто приподнятых северо-восточных крыльях горст-антиклиналей, где проявляются максимальные амплитуды перемещения блоков по разломам северо-западного простирания. Соответственно, юго-западные крылья горст-антиклиналей полого погружаются и переходят через менее выраженные разломы в грабен-синклинальные структуры впадин [1]. Периклинальное замыкание как Нуратинского горста в целом, так и его отдельных структурных элементов в частности, характеризуются пологим погружением под осадочный чехол и плавным сочленением со структурами Каракатинской и Канимехской впадин. Эти основные особенности тектонического строения Нуратинского горста обусловили наиболее благоприятные в районе условия для инфильтрации кислородных вод и для интенсивного развития в проницаемых породах осадочного чехла рудоформирующих зон пластового окисления [1].

Сангрунтауский горст расположен в северо-восточном сегменте района, представляя осевую часть Кызылкумской антеклизы. Характеризуется северо-западным простиранием и имеет общую протяженность около 40 км при максимальной ширине до 10 км. Осевая поверхность горста погружается к юго-восточному, а его ядерная, северо-западная, часть характеризуется резким крутопадающим замыканием. Также резкая граница присуща северо-восточному крылу, и в то же время юго-западное крыло полого переходит в моноклинальный склон, ограниченный от ложа Каракатинской впадины Лявляканским разломом с амплитудой смещения 10–50 м. В юго-восточном направлении Сангрунгтауский горст по малоамплитудному разлому сочленяется с Кулимбетской грабен-синклиналью, выполненной породами осадочного чехла. Эта грабен-синклиналь является поперечной, антитяньшаньской структурой, расположенной в осевой части Кызылкумской антеклизы. Ось синклинали имеет северо-восточное простирание, и шарнир складки полого погружается к юго-западу. В этом направлении синклиналь характеризуется торцевым сочленением по разломам с Каракатинской и Восточно-Кызылкумской впадинами. Юго-восточное крыло Кулимбетской синклинали по тектоническому нарушению сочленяется с Дарбазатауской антиклинальной структурой, которая характеризуется как симметричная куполовидная складка. Ядерное основание антиклинали представлено палеозойскими метаморфическими породами, а на пологих крыльях развиты палеогеновые глины.

Аристантауский горст ограничивает с северо-запада Каркатинскую тектоническую впадину и в рамках рассматриваемой площади представлен юго-восточной ветвью и ядерным основанием. Эти части горста характеризуются общим антитяньшаньским простиранием антиклинали и являются наиболее приподнятым её северо-восточным окончанием. Общая протяженность структуры около 60 км, в т.ч. порядка 25 км ее размещаются в описываемом районе. Ширина горста по палеозойскому основанию от 2–3 км до 10 км. Крылья полого погружаются в Каракатинскую и Ташкуринскую впадины, образуя моноклинальные склоны, перекрытые осадочным чехлом. По Каракатинскому разлому северо-восточного простирания юго-восточный склон со смещением до 200–300 м сочленяется с Центральным ложем одноименной впадины. Переклинальное замыкание горста также относительно пологое. Северо-восточное замыкание через незначительную по амплитуде седловину, выполненную осадочными породами, сочленяется с Сангрунтауской горст-антиклиналью, образуя дугообразную изогнутую Аристантау-Сангрунтаускую антиклинальную структуру. Юго-западное крыло, постепенно погружаясь, образует в осадочном чехле узкое куполовидное поднятие, разделяющее Каракатинскую и Окузакскую тектонические впадины (см. рисунок).

Каракатинская впадина является крупнейшей отрицательной структурой в Центральных Кызылкумах. Выполнена осадками чехла мощностью до 650 м. Осадочный чехол характеризуется общим погружением к западу и дислоцирован в пологие (1–3º) пликативные складки с подчиненным развитием разрывных нарушений. В пределах впадины среди проницаемых пород верхнего мела и палеогена размещаются промышленные залежи урановых месторождений Кухнур (Аленды) Аульбек, Бешкак, Лойликен (Лявлякан) [2] и Аксай. Впадина имеет изометричную, овальную в плане форму, размером около 70 × 50 км.

В общем плане в пределах Каракатинской впадины выделяются структуры второго порядка: центральное ложе и борта впадины (см. рисунок). Центральное тектоническое ложе с трех сторон ограничивается крупными и протяженными разломами: Муюнкумским, Каракатинским и Лявляканским. Амплитуды смещения по ним составляют от десятков до сотен метров. Восточный контур ложа проявляется нечетко и плавно сочленяется с переклинальным погружением Нуратинского горста, слагающим сложно построенный восточный борт Каракатинской впадины (3). Для восточного борта впадины характерно развитие линейно-вытянутых в северо-западном направлении пликативных складок в осадочном чехле, осложненных разломами этого же простирания. Наиболее крупными пликативными элементами здесь являются изометричная в общем плане Кызылкудук-Акбутинская антиклинальная структура и линейно-вытянутые Бешкакская антиклинальная и Машикудукская синклинальная складки. Две последних четко прослеживаются вглубь впадины и представляют северный сегмент центрального ложа. На площади структур восточного борта впадины размещаются рудные залежи Лойликенского (Лявлякан), Нурконского (Вараджан) и Терекудукского месторождений [2], а также Восточно-Терекудукское рудопроявление. Северный и западный борта имеют более простое строение – это Сангрунтауский и Аристантауский моноклинальные склоны, совместно образующие дугообразную поверхность. Южный борт впадины представлен структурными элементами переклинальных погружений Актауской и Каратауской горст-антиклиналей в осадочном чехле которых размещаются основные рудные залежи месторождения Букинай. Характерной чертой в структурном строении южного борта впадины является развитие малоамплитудных поперечных складок северо-восточного простирания, отражающих ундуляцию осевой поверхности переклинального замыкания горст-антиклиналей. Структурный план центрального ложа Каракатинской впади-



Схематическая геологическая карта Каракатинской впадины и прилегающих территорий

ны характеризуется в первую очередь развитием крупных изометричных синклинальных складок типа мульд – Муюнкумской и Западно-Каракатинской. Эти складки, разделенные малоамплитудными седловидными изгибами, являются наиболее опущенными блоками впадины, имеют широкие, плитообразные шарниры, амплитуда размаха их крыльев достигает 100–200 м. Падение слоев спокойное и пологое (до 1–2º). Для северной части ложа впадины более характерны линейно вытянутые пликативные формы складок, представленные северо-западным замыканием Бешкакской антиклинали. Здесь же проявлены и разрывные структуры, ведущими из которых являются Актауский, Бешкакский и Аксайский разломы. Амплитуды смешения по ним составляют от 10 до 80 м.

Выводы.

Наличие суборогенного тектонического режима характерно главным образом для начальных этапов орогенизации платформ – областей постплатформенного суборогена, испытавших стадию блоково-глыбовой перестройки с определенной амплитудой новейших блоковых движений, создающих систему горст-антиклипалей и грабен-синклиналей, выполненных мезозойско-кайнозойскими осадками. Они являются структурами, локализующими инфильтрационные рудообразующие процессы в пределах локальных осадочных бассейнов. Такое структурно-тектоническое строение Каркатинской впадины предопределяет перспективы выявления локальных урановых оруденений в меловых и палеогеновых отложениях.

Список литературы:

1. Батулин С. Г., Грушевой Г. В. [и др.]. Гидрогенные месторождения урана. – М. : Атомиздат, 1980. – 128 с.
2. Кисляков Я. М., Щеточкин В. Н. Гидрогенное рудообразование. – М. : Геоинформмарк, 2000. – 228 с.
3. Рощупкин В. Д. и др. Геологическое строение и рудоносность осадочного чехла северо-западной части Каракатинской впадины и южного обрамления гор Каратау. – Ташкент : Фонды НПЦ «Геология урана и редких металлов», 2002. – 42 с.
4. Синицкий Л. А. [и др.]. Отчет о поисково-оценочных работах по Каракатинской впадины и западному обрамлению Нуратинских гор за 1975–1979 гг. – Ташкент : Фонды НПЦ «Геология урана и редких металлов», 1980. – 56 с.

Ахмедова Н. Ю.
БГУ, г. Баку

ФОРМИРОВАНИЕ СЕРНОКОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЧИРАГДАРИНСКО-ТОГАНАЛИНСКОГО ТИПА

Главной целью работы является уточнение условий формирования серноколчеданного оруденения Чирагдаринско-Тоганалинского типа с учетом нового фактического материала, представляющего собой результаты анализов отобранных автором образцов, а также результаты обработки и обобщения данных опробования месторождений.

Ключевые слова: Тоганалы, пирит, генерации, генезис, руда, рудообразование.

На территории Азербайджана известен ряд месторождений и рудопроявлений серноколчеданого, или Чирагдаринско-Тоганалинского, типа которые разведаны и подготовлены к промышленному использованию для нужд химической, целлюлозно-бумажной и других отраслей производства.

Чирагдаринско-Тоганалинский тип оруденения характеризуется целым рядом специфических особенностей. Изучение серных колчеданов Малого Кавказа имеет большое научное значение. Это объясняется тем, что серноколчеданные руды залегают в магматических комплексах пород. Поэтому изучение как самих руд, так и вмещающих их пород, установление истории их возникновения и дальнейшего развития дают возможность подойти к расшифровке и реконструкции ранних этапов развития земной коры и выяснению особенностей рудообразования в тот

период [6]. Он получил значительное распространение на Малом Кавказе, особенно на его северо-восточных склонах. Поэтому выяснение генезиса серного колчедана имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение для направления дальнейших поисково-разведочных работ. Этому вопросу уделено более серьезное внимание. Чирагдаринско-Тоганалинский тип оруденения является почти чисто серноколчеданным и характерен для Малого Кавказа. Он встречается на огромной площади и в самых различных участках, однако приурочен к кварцевому порфиру.

Серноколчеданные месторождения и проявления этого типа находятся среди окварцованных порфиров и за пределами их не встречаются. Это является одним из основных доказательств несомненной генетической связи серного колчедана с кварцевыми порфирами. Кварцевые порфиры располагаются в основном в низах среднеюрских (бат) вулканогенных образований – байосе. Как было отмечено выше, в формировании кварцевых порфиров мы устанавливаем три фазы извержения.

Первая фаза – это довольно плотные серые кварцевые порфиры, занимающие огромную площадь. Вторая фаза кварцевых порфиров представлена разностями, характеризующимися более крупными выделениями полевых шпатов и кварца. Полевые шпаты светлые и розовые, а кварц образует прекрасно развитые дипирамиды. Вторая фаза извержения сопровождалась интенсивными образованиями кварц-порфировых туфов, осаждение которых происходило в морских условиях, о чем свидетельствует фауна, найденная у сел Тоганалы, в районе сс. Кушчи, Алаверды и др. Кварц-порфировые туфы представляют собой светлые, обычно белесоватые и серые породы со слоистой текстурой и крупными выделениями кварца. В районе распространения серного колчедана эти породы в различной степени каолинизированы и окварцованы. Третья фаза – субвулканическая рудопроизводящая. Кварцевые порфиры этой фазы распространены ограниченными участками среди извержений первых двух фаз, и серноколчеданое оруденение приурочено в основном к ним.

В метаморфизованных кварцевых порфирах этой фазы из первичного состава сохраняется лишь кварц, а остальные минералы замещаются новообразованиями: вторичным кварцем, альбитом, каолином, серицитом, лимонитом, местами эпидотом и др. [1]. На участках наибольшего оруденения значительное распространение получили разности кварцевых порфиров с розовыми полевыми шпатами. Они встречаются у Тоганалинского месторождения еще до р. Камышлыдере, продолжаясь полосой 120–150 м на северо-запад по р. Тоганалысу к с. Аджиакперли, а в северо-восточном направлении – к Чирагдаринскому. Далее они встречаются у с. Азгилли и т.д.

На участках оруденения кварцевые порфиры в различной степени окварцованы и каолинизированы. Основываясь на геологических наблюдениях над проявлениями серноколчеданного оруденения в Азербайджане и учитывая приведенные выше сведения по другим месторождениям, мы считаем наиболее подходящим геохимическим условием для образования пирита (отчасти и халькопирита) наличие более кислой ветви кислой магмы [1]. В связи с этим отметим, что предыдущие исследователи, говоря о формировании колчеданов из гидротерм гранодиоритовых интрузий, не учитывали того, что эти интрузии по возрасту значительно моложе кварцевых порфиров и характеризуются средней кислотностью.

Как известно, гидротермальные растворы, генетически связанные с кислыми интрузиями, поднимаются на поверхность в позднюю стадию магматического процесса. Следовательно, эти растворы должны были бы образовать хотя бы небольшие прожилки где-либо в самих интрузивных телах или в их апикальных частях, чего также не наблюдается [4]. Серноколчеданное оруденение на Малом Кавказе не может относиться к типу контактовых и контактово-метасоматических образований, так как оно образовалось до формирования покровных вулканогенных пород. Геологические условия показывают, что оруденение находится на периферии кварцевых порфиров (где происходила наибольшая концентрация колчедана), в форме вкрапленности, количественно постепенно уменьшаясь с глубиной до отметок 50–200 м.

Основная масса оруденения встречается участками среди кварцевых порфиров, а метаморфизация и преобразование последних во вторичные кварциты охватывает огромные площади и большие глубины. Трудно представить таких огромных размеров метасоматическую переработку кварцевых порфиров и распределение в них во вкрапленном виде серного колчедана

в результате лишь воздействия гидротермальных растворов, идущих от отдельной интрузии, к тому же через разрозненные тектонические разрывы. До сего времени не установлены такие крупные разрывы, вокруг которых происходили бы весьма интенсивные метасоматоз и оруденение. Этим изменениям должны были подвергнуться и покровные породы, в которых, однако, не заметно никаких следов метасоматоза.

Постепенное понижение температуры способствовало переходу от пневматолитовой стадии к гидротермальной. При этом гидротермальное вещество содержало некоторое количество меди, малые количества цинка, свинца, золота, серебра, селена и теллура. В процессе метасоматоза кварцевых порфиров эти термы сопровождались и коллоидными растворами, образованию которых способствовал вытесненный из полевых шпатов кремнезем и другие минералы. Эти растворы обусловили появление тонких оторочек вторичного кварца вокруг первичного, а также образование зонального пирита метаколлоидной структуры.

По минеральной ассоциации и структурным соотношениям можно вывести некоторые суждения о характере рудообразующих процессов. Пирит первой генерации благодаря высокой кристаллизационной способности идиоморфен по отношению к халькопириту и сфалериту, причем последние, кроме вкрапленного, местами имеют тонкопрожилковый характер. При этом первый минерал, как и первичный кварц, сопровождается флюоритом и пиритом второй генерации. Эти факты могут служить некоторым основанием для разграничения стадий минерализации.

Более или менее равномерный и региональный характер метасоматоза кварцевых порфиров в рудных полях говорит о непосредственной близости очага терм, которые благодаря высокому давлению могли проникать в мельчайшие трещины консолидирующейся магмы. О последовательном характере оруденения можно судить и по нескольким генерациям пирита и кварца.

Генезис серноколчеданных месторождений сложный и дискуссионный. Представления о генезисе этих месторождений менялись по мере их изучения. Согласно гидротермальной теории рудообразования, колчеданные месторождения рассматривались как гидротермально-метасоматические образования, связанные с островодужными гранитоидными интрузиями и внутриколлизионными малыми интрузиями. Некоторые исследователи объясняли образование колчеданных месторождений на основании гипотезы рудных магм как следствие инъекции сульфидного расплава [6]. Исходя из этого, представления о генезисе серноколчеданных месторождений Чирагдаринско-Тоганалинского типа можно кратко сформулировать следующим образом. Выделяя три фазы извержения кварцевых порфиров, мы первую и вторую фазы, отделенные друг от друга туфогенными породами с фауной, относим к эффузивным. Они содержат равномерно рассеянный мелковкрапленный пирит [2].

Формирование туфогенных пород кварц-порфирового состава происходило в подводных условиях, о чем свидетельствует найденная в них фауна байоса. Третья субвулканическая фаза явилась основной рудопроизводящей. Верхняя часть магматической массы при этой фазе извержения застыла в условиях, близких к поверхностным, будучи внедренной в толщи, формировавшиеся в процессе предшествующих ей извержений. С ней генетически связаны гидротермы, содержащие газы (пары воды, сернистые газы, фтор, хлориды и т.п.), которые, поднимаясь по тонким трещинам, могли произвести метасоматические изменения не только магматической массы указанной субвулканической фазы извержения, но и ранее формировавшихся кварцевых порфиров. Процесс этот был весьма продолжительным. В начале шли окварцевание и хлоритизация темноцветных минералов, окварцевание и каолинизация полевых шпатов. Этот процесс продолжался также при последующей пиритизации и образовании других сульфидов, имеющих минералогический интерес.

Список литературы:

1. Алиев В. И. Околорудные гидротермально-метасоматические изменения в Чирагдаринско-Тоганалинском рудном поле. – Баку : АН Азерб. СССР, 1965. – С. 47–75.
2. Баба-заде В. М., Магриби А. А., Гавпилюк П. С., Рамазанов В. Г., Дуньямалиев Ф. А. Баритовый пояс Азербайджана. Баку : Издательство «Адилоглы», 2003. – 244 с.
3. Коржинский Д. С Зависимость метаморфизма от глубинности в вулканогенных формациях // Труды Лабор. вулканологии АН СССР. – 1961. – Вып. 19. – С. 12–14.

4. Нагиев В. Н. История формирования колчеданных месторождений Азербайджана. – Баку: Elm, 2012. – 115 с.
5. Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана. – Баку: Озан, 2005. – С. 250–252.
6. Робонен В. И., Рыбаков С. И., Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Светова А. И., Сергеева Н. Е. Серноколчеданные месторождения Карелии (геология, метаморфизм, генезис). – Ленинград : Наука, 1978. – 192 с.

Ащепков И. В.[1,2], **Зинченко В. Н.**[3], **Иванов А. С.**[4]

[1] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; ; [2] РАН, г. Иркутск; [3] ГРО КАТОКА, Ангола; [4] Санкт-Петербургский Горный университет

ОЦЕНКА АЛМАЗОНОСНОСТИ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ МОНОМИНЕРАЛЬНОЙ ОКСИ- И ТЕРМОБАРОМЕТРИИ ПЕРИДОТИТОВ И ЭКЛОГИОТОВ

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН и ИГХ СО РАН. Поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, грант РФФИ 19-05-00788.

Для оценки потенциальной алмазоносности помимо диаграмм CaO-Cr_2O_3 для гранатов предполагается использовать диаграммы P-fO_2 с построением функций вероятности попадания в алмазоносные поля отдельно для каждого из минералов-спутников алмаза (МСА) и их сумму как интегральный показатель. Оценки P-fO_2 производятся по программе TERRA55 с использованием модифицированных и оригинальных окси- и термометров для минералов МСА.

Ключевые слова: кимберлиты, перидотиты, эклогиты, минералы-спутники алмаза, алмазоносность, кластерные группы.

Состояние проблемы. В настоящее время потенциальная алмазоносность кимберлитов, лампроитов и россыпей в основном оценивается по диаграммам Н. В. Соболева [1] для пиропов, хромитов реже ильменитов. Другие силикаты, такие как орто- и клинопироксены, применяются гораздо реже, потому что они подвержены эрозионным процессам и не сохраняются в современных и палеороссыпях. Несмотря на то, что хромистость пиропов и хромитов является функцией глубинности, а субкальциевые разновидности пиропов относят к наиболее алмазоносным алмазным парагенезисам – дунитам и гарцбургитам, они далеко не единственные надежные индикаторы алмазоносности. Во многих объектах доминирующим фактором алмазоносности является наличие алмазоносных эклогитов [2–5]. Косвенно наличие эклогитов свидетельствует о присутствии в литосферной мантии обильного субдукционного материала, который являлся источником углерода для генерации алмазов.

Метод и материал исследования. Для достоверной оценки алмазоносного потенциала нужно знать долю алмазных ассоциаций среди включений в алмазы, также предполагается численно оценить соотношения перидотитовых и эклогитовых включений. Нами на диаграммах PT-fO_2 представлены оценки для включений в алмазы [6, 7] с использованием основных отечественных и зарубежных источников данных. Настоящая работа выполнена с использованием опубликованных данных более 8000 анализов состава минералов спутников алмаза (МСА) [3]. Методы мономинеральной термобарометрии, которые основаны на внутреннем обмене компонентов минералов и зависимости размеров их элементарной ячейки от давления и температуры, в последнее время широко развиваются [2, 4, 5]. Для калибровки термометров и барометров в этом случае используются минеральные равновесия изоморфного обмена и KD внутренних обменных реакций [4].

Для перидотитов создана система мономинеральных термобарометров для пиропов, Cr-диопсидов, а также для хромитов и ильменитов [2, 4, 5]. Они согласованы с наиболее достоверными определениями для ортопироксена, основанными на барометре [8], и калиброваны на 1900 опытах в перидотитовой системе. Кроме того, получены версии клинопироксенового и гранатового методов в эклогитовой системе, основанные на результатах 950 опытов, что позволило по-

лучить систему взаимодополняющих методов и более достоверно реконструировать мантийные колонны под кимберлитовыми трубками, включая породы самого разнообразного типа, в том числе перидотиты и мегакристаллические образования, связанные с кимберлитами и кумулятивными эклогитами. Разработаны универсальные методы для гранатовых и эклогитовых систем [7], которые итерационно решаются в программе TERRA55 [11]. Однако давление не является единственным фактором алмазоносности. Алмазоносность связана также с окислительными условиями, которые в мантийных породах характеризуются обычно относительно буфера $\Delta Ln(fO_2)(QMF)$ – кварц-магнетит-фаялит [6]. Необходимым условием алмазоносности является попадание проб в области выше буфера EMOD/G [6, 7] (рис. 1).

Для оценки летучести кислорода fO_2 использованы модифицированные мономинеральные опубликованные методы, основной – по гранату [7]. В мономинеральной версии Fe#Ol Fe#Opx

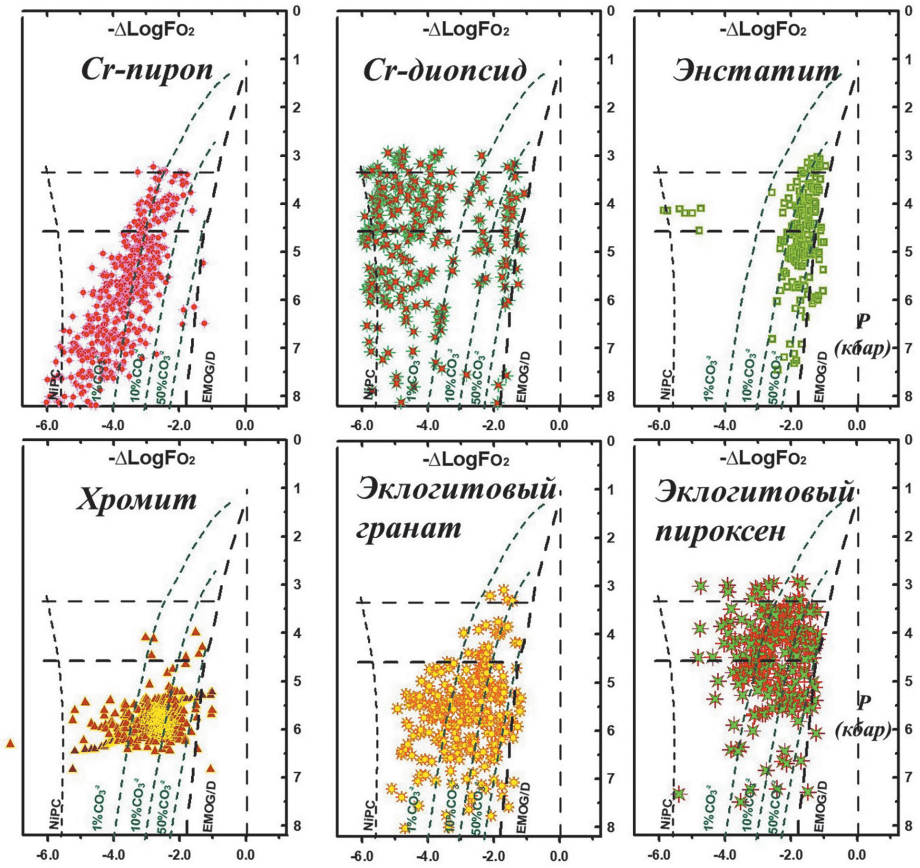


Рис. 1. Диаграммы распределения P-fO_2 для разных минералов-включений в алмазы

вычисляются по регрессивным зависимостям из парагенезисов мантийных ксенолитов. Оценки fO_2 для пироксенов основаны на регрессиях между Fe^{3+} в пироксенах и оценками fO_2 по гранатам. Также предложен и метод для эклогитовых гранатов, который согласуется с полученным [5]. Для оценок fO_2 по хромитам и ильменитам использованы уравнения из работ [4, 5], где #Fe также заменятся по регрессионным значениям.

Для численной оценки предлагается использовать диаграммы P-fO_2 построенные для каждого из минералов. Для построения используется зарегистрированная программа мантийных термобарометров TERRA55 [9], которая содержит основные методы расчета мантийных термо- и оксибарометров, в том числе все оригинальные методы. На диаграммах по вычисленным совокупным значениям P-fO_2 строятся гистограммы их распределений (рис. 2) и вероятности попадания в алмазную ассоциацию в изолиниях. Численные значения вероятности предполагается определять в программе по вычисленным функциям от P и fO_2.

Совместное решение уравнений итерационными методами позволяет находить T-P-fO_2 оценки, которые весьма близки к экспериментальным (при калибровке) и полученным полими-

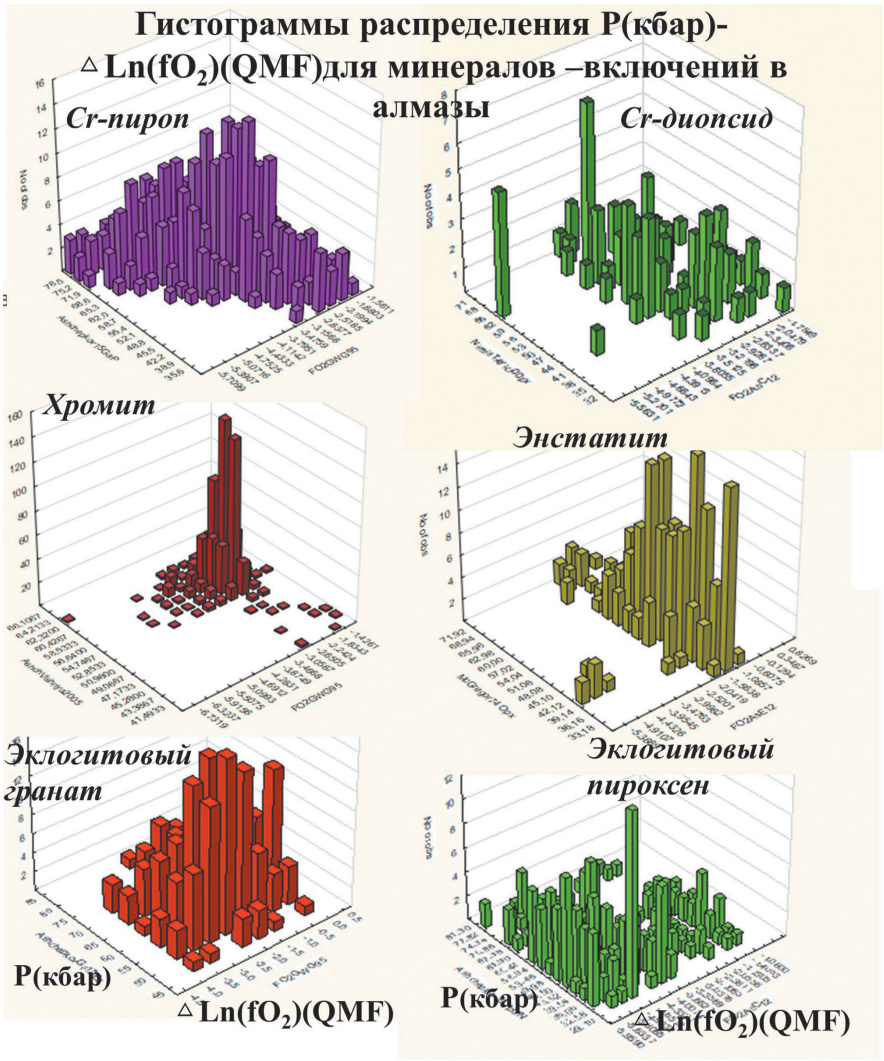


Рис. 2. Би-вариационные гистограммы P-fO_2 для разных минералов-включений в алмазы

неральными методами [9]. Мономинеральные методы термобарометрии позволяют эффективно работать с концентратами из кимберлитовых трубок и минеральными фракциями, полученными шлиховыми методами.

Результаты исследования. В трубках Накынского поля доминируют эклогитовые парагенезисы, составляя >90 % [2]. Еще более высокая доля эклогитовых гранатов обнаружена во включениях в алмазах Эбеляхских россыпей – Маят, Холомолох [2]. Также высока доля алмазоносных парагенезисов среди включений таких трубок как Интернациональная, Комсомольская, Удачная и других. Из зарубежных кимберлитовых трубок с высокой долей эклогитовых включений отмечаются трубки Премьер и Робертс Виктор [2]. В целом они характерны для подвижных поясов, таких как Урал, Хапчанский (Эбелях), Лимпопо, Магонди, и окраин кратонов и континентов с включениями лампроитов, таких как Аргайл и Элендейл кратона Кимберли в Австралии [2].

Обсуждение результатов. Оценки, полученные для каждого из зерен в анализируемой выборке минералов, складываются. В идеале надо знать еще весовую долю каждого минерала в концентрате и выход концентрата из породы. Таким образом можно прийти к достоверным численным оценкам. Однако все эти вероятности надо еще калибровать на достаточно больших выборках, где будут проведены их корреляции по объектам с алмазоносностью, установленной экспериментальным путем и в процессе эксплуатации. Надо также иметь ввиду, что можно провести еще корреляции с распределением алмазов по классам крупности и их цветовым характеристикам.

Кластеризация МСА по химическому составу, выполненная А. И. Ивановым, позволяет оценить состав и преобладающие типы мантийных пород, которые присутствуют в разрезах под кимберлитовыми трубками. Дополнительные оценки для этих групп P-fO_2 позволяют оценить потенциально алмазоносные группы и их петрографию. Статистическое соотношение кластеров предполагается связывать с определенными типами алмазов и, в частности, с гигантскими алмазами CLYPPIR-типа.

Было бы очень интересно провести статистические работы для установления также численных характеристик оценок вероятности P-fO_2 и вероятности обнаружения гигантских алмазов типа CLYPPIR [10].

Все приведенные предложения относятся в основном, к ксенокристам из кимберлитов, исходя из того положения, что все алмазы ксеногенные и происходят из пород литосферной мантии, а некоторая часть – из мегакристовой ассоциации. Однако надо иметь ввиду, что, вероятно, заметная доля алмазов может расти в ореоле протокимберлитовых магматических систем в кристаллической «каше» из обломков пород. Это объясняет наличие смешанных перидотит-эклогитовых выключений в алмазы. Кроме того, многие кимберлитовые системы могут обладать повышенными давлениями за счет гидростатических эффектов при связи с глубинными подлитосферными магматическими очагами. Это может приводить к росту мэйджорита и других глубинных высокобарических фаз в ореоле магматических камер [2].

То есть, в принципе, вероятностные оценки по P-fO_2 дают минимальные показатели, тогда как реальные могут быть выше. И наоборот, динамика подъема с остановками и агрессивная кимберлитовая среда в довольно окисленных условиях способствуют растворению алмазов, что не очень отражается на минералах МСА.

Список литературы:

1. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии // Труды ИГиГ СО АН СССР. – Новосибирск : Наука, 1974. – № 183. – 264.
2. Ashchepkov I., Logvinova A., Spetsius Z., Downes H. Thermobarometry of diamond inclusions: Mantle structure and evolution beneath Archean cratons and mobile belts worldwide // Geosystems and Geoenvironment. – 2022. – 100156.
3. Stachel T., Aulbach S., Harris J.W. Mineral Inclusions in Lithospheric Diamonds // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. – 2022. – Vol.88. – 307–391.
4. Ashchepkov I. V., Ntaflos T., Logvinova A. M., Spetsius Z. V., Vladykin N. V. Monomineral universal clinopyroxene and garnet barometers for peridotitic, eclogitic and basaltic systems // Geoscience Frontiers. – 2017. – V. 8, Is. 4. – P. 775–795.
5. Ashchepkov I. V., Pokhilenko N. P., Vladykin N. V., Logvinova A. M., Kostrovitsky S. I., Afanasiev V. P., Pokhilenko L. N., Kuligin S. S., Malygina L. V., Alymova N. V., Khmelnikova O. S., Palessky S. V., Nikolaeva I. V., Karpenko M. A., Stagnitsky Y. B. Structure and evolution of the lithospheric mantle beneath Siberian craton, thermobarometric study // Tectonophysics. –2010. – № 485. – P. 17–41.
6. Stagno V., Ojwang D. O., McCammon C. A., Frost D. J. The oxidation state of the mantle and the extraction of carbon from Earth's interior // Nature. – 2013. – № 493. – P. 84–88.
7. Gudmundsson G., Wood B. J. Experimental tests of garnet peridotite oxygen barometry // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1995. – № 119. – P. 56–67.
8. McGregor, I.D. The system MgO-SiO_2-Al_2O_3: solubility of Al_2O_3 in enstatite for spinel and garnet peridotite compositions // American Mineralogist. – 1974. – № 59. – P. 110–119.
9. Ащепков И. В. Программа мантийных термометров барометров, использование: реконструкции и калибровки PT методов // Вестник Отделения наук о Земле РАН. – 2011. – Т. 3. – NZ6008.
10. Zinchenko V. N., Ivanov A. S., Ashchepkov I. V. Composition of the Diamond Indicator Minerals on the Mitchell Chart – Criteria of CLIPPIR Diamonds in Kimberlites and Conditions of their Mantle Crystallization // Acta Geologica Sinica – English Edition. – 2021. – 95 (S1). – P. 121–124.

Бабаянц П. С., Контарович О. Р., Трусов А. А.
АО «ГНПП «Аэрогеофизика», г. Москва

АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ РАБОТ НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Выполнение прогнозно-минерагенических работ, направленных на выявление новых площадей, перспективных, в первую очередь, на остродефицитные виды сырья, является необходимым условием воспроизводства минерально-сырьевой базы страны. С учетом смещения фокуса таких исследований в отдаленные районы с неразвитой инфраструктурой и в направлении объектов со сложным геологическим строением, в т. ч. глубокозалегающих, залогом их эффективности является выполнение опережающих аэрогеофизических работ. Под эгидой Российского геологического общества («РОСГЕО») разработаны «Методические рекомендации по аэрогеофизическому сопровождению прогнозных и поисковых работ на твердые полезные ископаемые», которые были рассмотрены и одобрены для использования в качестве регламентирующего документа при проектировании и проведении прогнозных и поисковых работ секцией ресурсов и лицензирования ТПИ НТС Роснедра.

Ключевые слова: аэрогеофизические технологии, прогнозно-минерагенические работы, методические рекомендации.

В Российском геологическом обществе подготовлены «Методические рекомендации по аэрогеофизическому сопровождению прогнозных и поисковых работ на твердые полезные ископаемые». Документ определяет состав работ по аэрогеофизическому сопровождению прогнозных и поисковых работ и регламентирует проектирование, организацию и методику проведения аэрогеофизических съемок в составе геологоразведочных работ, направленных на прогноз и поиски месторождений твердых полезных ископаемых.

Рекомендации составлены на основе опыта выполнения современных комплексных аэрогеофизических съемок специализированными организациями с учетом имеющихся нормативно-методических документов и в соответствии с принятым Порядком проведения геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые по этапам и стадиям [6].

Состав, назначение и особенности работ. Под аэрогеофизическим сопровождением прогнозных и поисковых работ на твердые полезные ископаемые понимается полный цикл работ по обоснованию, проектированию, организации, выполнению аэрогеофизической съемки, камеральной обработке и геологической интерпретации полученных данных.

Главным назначением работ является оптимизация и увеличение эффективности геологоразведочного производства за счет снижения общих затрат и времени на выполнение всего цикла исследований и повышение геологической информативности.

Аэрогеофизические технологии включают набор методов изучения геологического строения Земли, основанных на измерении с борта летательного аппарата компонент физических полей естественного происхождения, либо искусственно индуцируемых. С учетом свойств объекта исследований формируется аппаратно-программный комплекс, представляющий собой совокупность технического оборудования (средств измерения и компьютерной техники) и программного обеспечения. Сформированный аппаратно-программный комплекс размещается на выбранном авианосителе для выполнения аэрогеофизических съемок с заданными параметрами.

Выводы о применимости отдельных геофизических методов и их сочетаний делаются с учетом особенностей строения территории, включая данные о степени ее закрытости, мощности и состава рыхлых отложений, расчлененности рельефа и др., и должны быть подтверждены результатами физико-геологического моделирования. При выполнении работ на региональном этапе (работы общегеологического и минерагенического назначения [6]) многоцелевой характер опережающих аэрогеофизических работ определяет целесообразность максимального расширения комплекса аэрогеофизических методов.

Характеристика объекта исследований. Под объектом исследований понимается территория (площадь), в пределах которой выполняются работы, направленные на прогноз или поиски

месторождений твердых полезных ископаемых. Характеристика и размеры объекта исследований и целевого объекта должны быть согласованы с системой соподчиненных минерагенических таксонов, принятой в настоящее время [4].

Иерархическая связь минерагенических таксонов определяет соотношение между объектом исследований и доступным для изучения целевым объектом. Характер объекта изучения и целевого объекта определяют масштаб и отвечающую ему стадию геологоразведочных работ.

Локализация целевых объектов осуществляется на основе последовательного выявления и картирования факторов контроля оруденения, которые включают как косвенные критерии, так и прямые признаки рудоносности [2, 3]. Планируемые аэрогеофизические работы должны быть нацелены на картирование указанных факторов, вплоть до прямого обнаружения рудных залежей (при благоприятных условиях). При этом необходимо учитывать, что факторы контроля оруденения могут существенно изменяться в зависимости от ранга целевого объекта (минерагенического таксона) даже для месторождений одного и того же промышленно-генетического типа, внутри одной минерагенической провинции. В связи с этим залогом успешного использования аэрогеофизических материалов является предварительное физико-геологическое моделирование целевого объекта.

Физико-геологическое моделирование. Физико-геологическое моделирование является основой при обосновании и выборе комплекса аэрогеофизических методов, элементов методики съемки, приемов и способов комплексного анализа и интерпретации полученных материалов. Формирование физико-геологической модели (ФГМ) целевого геологического объекта выполняется в следующей последовательности [5]:

- постановка геологической задачи;
- выбор объекта моделирования с учетом ранга целевого объекта и создание априорной геологической модели;
- обобщение петрофизических параметров моделируемого объекта и его вмещающей среды с построением петрофизической модели и выделением на ее основе структурно-вещественных комплексов; под термином структурно-вещественный комплекс понимают объединенную по одному или нескольким физическим свойствам совокупность геологических образований, наделенную соответствующими «эффективными» физическими характеристиками [1];
- построение моделей физических полей целевого объекта в реальных условиях залегания;
- оценка соответствия сформированной ФГМ реальному объекту на эталонах, т. е. на объектах, аналогичных исследуемому, но с известным геологическим строением.

Построение предварительной геологической модели осуществляется на основе анализа и обобщения априорной геологической информации об объекте исследований. Для определения и ранжирования факторов локализации целевого объекта возможно использование прогнозно-поисковых моделей, разработанных с учетом его рудно-формационного типа и ранга.

Модели физических полей получают, как правило, расчетным способом, путем решения прямой задачи для методов, включенных в аэрогеофизический комплекс, с учетом данных о геометрии и свойствах целевого объекта и вмещающей среды, полученных при их геологическом и петрофизическом моделировании. При создании моделей физических полей особое внимание должно быть уделено возможным влияниям на результаты измерений помех техногенного и природного происхождения, с учетом ландшафтно-географических особенностей и степени техногенной нагрузки площади. Возможно использование результатов натурного (результаты измерений геофизических полей над аналогичными объектами) и физического (имитационного) моделирования.

Геологическая интерпретация результатов аэрогеофизических работ. Геологическая интерпретация данных является важнейшей и неотъемлемой составной частью аэрогеофизического обеспечения комплексных аэрогеофизических съемок, нацеленных на прогноз и поиски месторождений твердых полезных ископаемых, и базируется на комплексном анализе данных аэрогеофизических съемок, включая результаты их специализированной математической обработки.

Выполняемая геологическая интерпретация должна быть направлена на решение следующих основных задач:

• Картирование основных разрывных нарушений площади работ с определением их взаимоотношений, иерархии и, по возможности, кинематики, рудоконтролирующей и рудогенерирующей роли.

• Картирование образований перекрывающего осадочного комплекса (включая русловые, склоновые и т. п. отложения) с оценкой их распространенности, мощности и (по возможности) вариаций состава.

• Картирование осадочных, метаморфических и магматических комплексов пород, в т. ч. под наносами, в слепом и скрытом залегании.

• Картирование зон развития наложенных процессов (гипергенных, гидротермально-метасоматических и других эпигенетических изменений) с дифференциацией по их характеру и оценкой рудоконтролирующей роли.

• Картирование полей распространения радиоактивных элементов с определением путей их миграции и оценкой радиогеохимической специализации основных комплексов пород.

• Выявление признаков и факторов локализации прогнозируемого или поискового объекта с выделением и ранжированием перспективных участков.

В зависимости от особенностей геологического строения изучаемой территории состав решаемых геологических задач может быть существенно конкретизирован и дополнен.

По итогам геологической интерпретации составляются:

1. Карта (схема) результатов геологической интерпретации с элементами прогноза, сопровождающаяся соответствующими пояснениями, которая при необходимости может состоять из нескольких слоев (например, схема тектонического строения, схема структурно-вещественных комплексов, схема результатов прогноза и т. п.).

2. Рекомендации по составу, формам и способам проверки основных геологических выводов и оценки выделенных перспективных участков.

«Методические рекомендации по аэрогеофизическому сопровождению прогнозных и поисковых работ на твердые полезные ископаемые» были рассмотрены секцией ресурсов и лицензирования твердых полезных ископаемых НТС Федерального Агентства по недропользованию (Роснедра) и рекомендованы к использованию в качестве регламентирующего документа при проектировании и проведении прогнозных и поисковых работ, выполняемых за счет средств федерального бюджета и средств недропользователей (протокол № 04-17/1-пр от 25 января 2023 г.).

Список литературы:

3. Вахромеев Г. С., Давыденко А. Ю. Моделирование в разведочной геофизике. – М. : Недра, 1987. – 192 с.
4. Геологический словарь. В 3-х томах. Издание третье, переработанное и дополненное. Т. 1. А–Й. / гл. ред. О. В. Петров. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. – 432 с.
5. Геологический словарь. В 3-х томах. Издание третье, переработанное и дополненное. Т. 2. К–П. / гл. ред. О. В. Петров. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. – 480 с.
6. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (второго издания). Версия 1.4. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 188 с.
7. Никитин А. А., Хмелевской В. К. Комплексирование геофизических методов. Учебник для ВУЗов. – М. : ГНЦ РФ ВНИИгеосистем, 2012. – 346 с.
8. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). – М. : МПР РФ, 2013. – URL: https://docs.cntd.ru/document/902349871?marker=7DC0K7 (дата обращения 15.03.2023).

Багатаев Р. М., Алхасов Б. А.
ИПГВЭ, филиал ОИВТ РАН, г. Махачкала

СОДЕРЖАНИЕ Au И Ag В КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ КУРУШ-МАЗИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (СЛАНЦЕВЫЙ ДАГЕСТАН)

Куруш-Мазинское рудное поле расположено на юго-восточной оконечности Сланцевого Дагестана. На его площади известны колчеданно-полиметаллические рудопроявления, наблюдаемые в виде различных естественных обнажений, неоднократно изученные в разные периоды проведения геологосъемочных и геологоразведочных работ на цветные металлы в Горном Дагестане [2, 4, 7, 8]. Данные этих исследований по содержанию золота и серебра в некоторых рудопроявлениях позволили обосновать изучение золотоносности черносланцевых толщ, проведение поисковых работ на рудном поле в 2007–2016 гг. [1, 5]. Эти работы на коренное оруденение золота сосредоточены в центральной, наиболее перспективной части рудного поля, где детально изучены структурно-морфологические особенности и внутреннее строение как вновь вскрытых, так и ранее известных рудопроявлений: Траншейное, Мукеркам 1 и 2, Сумрайкам, Скалистое и др. При их минералого-геохимических исследованиях большее внимание уделено содержанию золота и серебра в руде.

Ключевые слова: складчатая структура, рудное поле, колчеданно-полиметаллическое рудопроявление, обнажение, жильно-прожилково-вкрапленное оруденение, минерализованная зона, локализация руд, минеральный состав, геохимические особенности, метасоматические образования, содержание, золото, серебро.

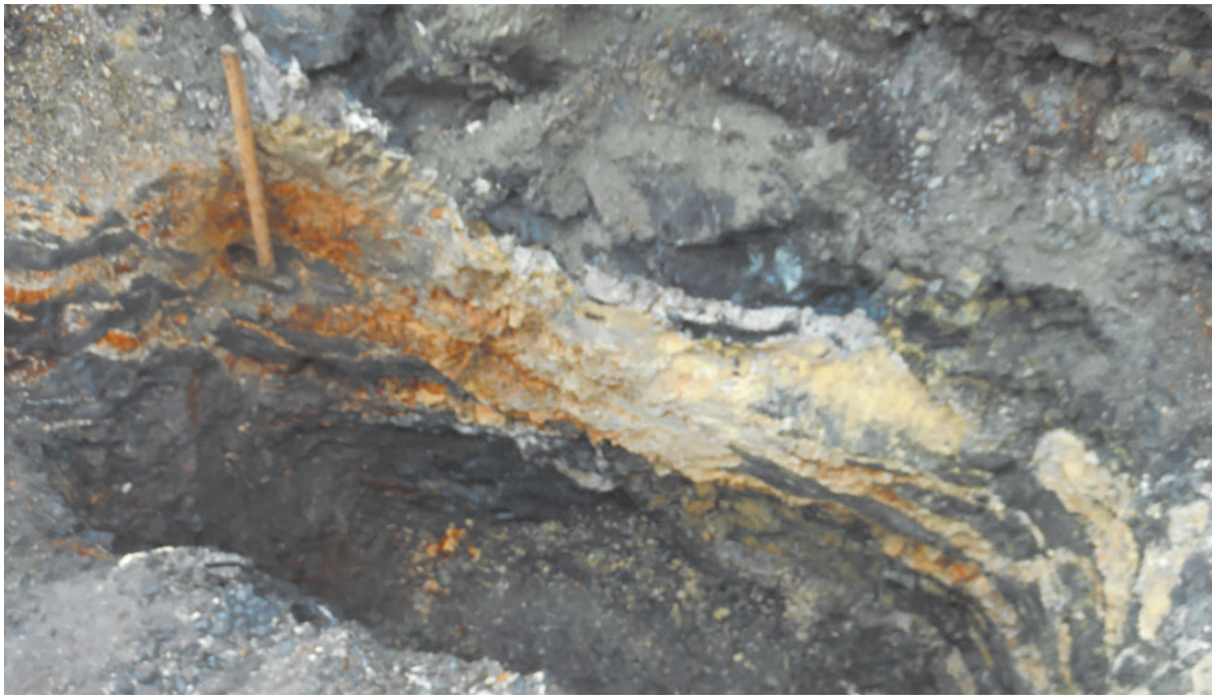
Куруш-Мазинское рудное поле сложено терригенными песчано-глинистыми отложениями (аргиллиты, алевролиты, песчаники при резком преобладании псаммитовой составляющей) нижней и средней юры. Развиты диабазы, диабазовые порфириты, долериты дайковой серии. Значительные площади рудного поля перекрыты четвертичными образованиями.

В геолого-структурном отношении Куруш-Мазинское рудное поле представляется как сплошная складчатая структура, в которой складки следуют одна за другой при одинаковом, в среднем, развитии антиклиналей и синклиналей. При этом отдельная складка не является обособленным тектоническим образованием, а составляет часть целой структуры и подчинена ее общему плану: складка следует простиранию, единому для определенного складчатого пучка. Наклон ее осевой поверхности, форма в плане и разрезе также определяются общим структурным планом. Вероятно, что такая складчатая структура возникла в результате общего, ориентированного в горизонтальном направлении движения масс, захватившего значительную территорию [3]. Через рудное поле проходят глубинные разломы общекавказской и субмеридиональной ориентировки [6]. В целом геолого-структурные особенности рудного поля как фрагмент складчато-надвигового пояса характеризуются веерообразными взброс-складками.

К осевым частям систем взброс-складок приурочены различные жильно-прожилково-вкрапленные золотосодержащие колчеданно-полиметаллические рудопроявления, по пространственному распространению которых выделяются единые линейно вытянутые минерализованные зоны, контролируемые разрывными нарушениями в виде различных тектонических трещин и раздробленных пород. Локализованное в них колчеданно-полиметаллическое оруденение не выдержано и зачастую прерывается, а в местах его сравнительно концентрированного образования выделяются рудные тела.

Колчеданно-полиметаллические рудопроявления имеют различные геолого-структурные условия локализации и особенности внутреннего строения. Своеобразны характеристики рудопроявления Траншейное из-за интенсивно развитых гидротермально-метасоматических изменений осадочных и интрузивных пород: в пределах мощности 1, 2–1, 5 м представлено несколько слоев (рисунок).

В целом минеральный состав рудопроявлений достаточно однороден. Основным жильным минералом является кварц, постоянно встречается доломит, реже отмечается кальцит. Среди



Гидротермально-метасоматические образования рудопроявления Траншейное:
1 – (40–50 см) – измененная мелкозернистая интрузивная порода (андезит), в которой встречается множество пластинчатых кристаллов жильного плагиоклаза, редкие отдельные кристаллы и мелкие скопления рутила, а также обломки вмещающих алевролитов, серицит по андезиту и андезит-базальту; 2 – (15–20 см) – обломки алевролитов и кварц-карбонатные прожилки, которые отделяются от слоя 1 кварцевым прослоем (3–6 см), встречаются игнимбрит, включающий фьямме, вкрапленность ильменита (0,005–0,15 мм) и рутила (0,005–0,05 мм); 3 – (25–30 см) – кварц-пиритовые агрегаты, скопление пирита (70–80 %); 4 – (40–50 см) – туфы, в которых постоянно присутствует незначительное количество (до 1%) вкрапленности рутила и ильменита

рудных минералов преобладает пирит, постоянно фиксируются сфалерит и галенит (иногда в значительных количествах), часто встречается халькопирит. Вся гидротермальная минерализация рудопроявлений разделяется на две стадии, каждая из которых содержит ряд последовательно формирующихся парагенезисов.

Геохимические особенности колчеданно-полиметаллических руд определены при анализе проб, отобранных на рудопроявлениях. Атомно-абсорбционным анализом установлено содержание золота (0,2–6,6 г/т) и серебра (5,6–50,0 г/т), а атомно-эмиссионным определены содержания мышьяка, свинца, цинка, марганца, железа, висмута, кадмия, сурьмы, меди, серебра и золота. Значимые количества золота установлены в пробах с кварц-сульфидной минерализацией. Причем значимой корреляции содержаний Au и Pb, Zn и Cu не наблюдается, характерен лишь высокий уровень (более 0,1–0,2 %) присутствия полиметаллов в золотосодержащих пробах. Относительно выше коэффициент корреляции содержаний золота и мышьяка с серебром (0,7–0,8). Это согласуется с повышенным содержанием мышьяка в пирите из золотосодержащих проб и редким присутствием в рудах арсенопирита.

Детально изучена проба рудопроявления Мукеркам 1, в которой установлены высокие содержания золота (16,4 г/т) и мышьяка (1,73 %). Поскольку в данной пробе золото и минералы мышьяка минераграфическими исследованиями не установлены, специально подготовленные препараты (микро-аншлифы и шлих из протолочки) изучены на электронном сканирующем микроскопе с энергодисперсной приставкой Kevex. В препаратах обнаружены мелкие (5–8 мкм) частицы золота изометричной и пленочной формы, а также арсенопирит двух разновидностей: удлиненно-призматический (12 мкм по длинной оси) и неправильной формы тонкозернистый агрегат размером до 14 мкм. Последняя разновидность – включения в жильном кварце,

а удлиненно-призматическая – вкрапленность в гидротермально измененной вмещающей породе. Частицы самородного золота и арсенопирита диагностированы по их составу, определенному на указанной приставке.

Для серебра более тесные корреляционные связи устанавливаются, кроме золота, с сурьмой и медью (0,5–0,7), а также со свинцом. Это связано с тем, что основными минералами-носителями серебра в рудах являются сурьмяная блеклая руда (фрейбергит) и серебросодержащий галенит.

Сцинтилляционным атомно-эмиссионным анализом золота и серебра определены их формы нахождения и размерности частиц в исследованных пробах руд. Установлено, что практически все частицы золота соответствуют мельчайшим размерам 2–6 мкм. Единичные пробы с повышенными содержаниями золота включают его частицы большего размера (6–10 и 10–16 мкм). Содержания золота в исследованных пробах, определенные этим методом, считаются заниженными по отношению к данным атомно-абсорбционного и золото-спектрометрического анализа. В то же время определение содержания золота по интегральным спектрам для всех частиц дает более высокие содержания, сопоставимые с данными анализов, проведенных двумя последними методами.

Результаты количественного и полуколичественного анализа золота и серебра сопоставлены с данными по интегральным и сцинтилляционным спектрам – «просыпка». Содержания серебра в одних и тех же пробах совпадают. Логически объяснимо, что в выделенных мономинеральных пробах пирита и галенита серебра оказывается больше: например, в пробе пирита, отобранной на рудопроявлении Мукеркам 1. Распределение серебряных частиц по размерам тоже понятно: с увеличением содержания Ag доля крупных частиц растет, достигая 50–80 %. Во всех пробах установлены значительные содержания серебра – до 15–17 г/т. Повторный анализ при разбавлении в пять раз материалом стандартного образца СГ-2 (гранит) подтвердил указанные значения в пиритах. В отношении результатов определения золота картина оказалась принципиально иной. Для всех результатов сцинтилляционного анализа характерно значительное занижение содержаний золота (на 1–2 порядка) по сравнению с использованием интегральных аналитических сигналов. Для разбавленных проб этот эффект тоже имеет место.

Список литературы:

1. Багатаев Р. М. Золото-сульфидное оруденение черносланцевых толщ Горного Дагестана // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 6. – С. 3–8.
2. Бунин Г. Г. Рудоносность и основные черты металлогении Горного Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского филиала АН СССР. – Махачкала : ИГ ДФ АН СССР, 1961. – Т. 3, вып. 2. – 61 с.
3. Греков И. И., Лаврищев В. А., Энна Н. Л. Этапы орогенеза и синорогенной минерагении Северного Кавказа // Региональная геология и металлогения. – 2008. – № 35, – С. 105–112.
4. Колчеданные месторождения Большого Кавказа. Ответственный редактор В.И. Смирнов – М. : Недра, 1973. – 256 с.
5. Курбанов М. М., Богуш И. А., Рылов В. Г. Колчеданное месторождение Кизил-Дере в горном Дагестане. – М. : Научный мир, 2014. – 244 с.
6. Маркус М. А. Долгоживущие структуры Восточного Кавказа // Советская геология. – 1986. – № 10. – С. 63–69.
7. Мацапулин В. У. Седиментационная брекчия рудопроявления скалистое (Южный Дагестан) // Доклады академии наук СССР. – 1983. – Т. 286, № 5. – С. 1192–1195.
8. Паливода Н. К., Паливода А. А. О проявлении осадочно-диагенетического образования свинцово-цинкового оруденения и перспективах золотоносности в Южном Дагестане // Труды Института геологии Дагестанского филиала АН СССР. – Махачкала : ИГ ДФ АН СССР, 1978. – Вып. 14. – С. 123–127.

Барышев А. Н.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАГЕНИИ, ИХ МЕСТО В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПРОГНОЗА И РАСШИРЕНИИ КОМПЛЕКСНОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

Рассмотрены основы критериев прогноза алмазов, благородных и цветных металлов, вытекающие из анализа структуры минерагенических провинций и поясов, условий зарождения и перемещения источника полезного ископаемого при конвективной и транстенсионной геодинамике на их территориях. На примере Сибири показаны генетические соотношения в совмещении разнородной минерагении. На основе конвективной структуры фундамента платформы показана бесперспективность прогноза алмазоносных кимберлитовых трубок на её периферии, несмотря на присутствие богатых россыпей алмазов.

Ключевые слова: алмазы, золото, карбонатиты, Cu-Ni месторождения, конвекция, субдукция, транстенсия, критерии прогноза.

К актуальным проблемам относятся генетические вопросы геодинамики и тектоники в общей минерагении, малый их анализ в прикладной специальной минерагении, опирающейся главным образом на формационный подход [6, 7]. Исследования тектоники и геодинамики минерагенических провинций и поясов позволяют выявить новые, скорректировать известные критерии прогноза и оценки полезных ископаемых на разных по площади территориях. Главный путь решения проблем – исследование каскада разномасштабных процессов перемещения вещества полезного ископаемого, их выражение в геологических структурах перед тем, как сформируется ближайший к месторождению источник, создадутся условия для локализации рудных масс, их позиции. Такой каскад, к примеру, выявляется на территории Сибирской платформы и в её южном обрамлении.

Для северной части Сибирской платформы разработана модель развития структуры Якутской минерагенической провинции [8]. В её алмазах распределение и состав примесей, наличие легких изотопов углерода указывают на то, что в исходном источнике кристаллов присутствовали биогенные органические вещества, которые вместе с вмещающей средой были погружены в мантию. Наличие биогенной массы в среде первое условие будущей алмазной продуктивности кимберлитов. На основе около 1300 кристаллов алмаза выявлено зональное размещение их групп (популяций): наиболее высокотемпературным популяциям соответствует центр провинции, а в сторону её периферии температура уменьшается. Двусторонняя с элементами концентричности зональность позволяет заключить, что на глубине провинции общая структура источников алмаза была подобна чаше. Чаша соответствует конвективной ячее, в которой субдукция происходит в виде сжатых краевых синклиналей, полого погружающихся к центру ячеи. Развитие ячеи датируется по возрасту регионального метаморфизма пород провинции (1,8–2,0 млрд лет), связанному с субдукцией.

Модель детально описана в [3, 8]. Она похожа на облако атомного взрыва. В центральной восходящей ветви ячеи происходит извлечение вверх (адвекция) двух краевых зон субдукции и разделяющей их приосевой массы, куда до этого не поступали субдуцируемые толщи. В результате вдоль длинной оси эллипсовидной ячеи образуется минерагенический пояс северо-восточного простирания, состоящий из двух алмазоносных минерагенических зон (Далдыно-Оленёкской и Накынско-Мирнинской шириной до 100–150 км) и разделяющей их осевой зоны без алмазоносных кимберлитов (шириной до 150–250 км). На севере Европы в Беломоро-Северодвинской минерагенической провинции присутствует аналогичный пояс северо-западного простирания, состоящий из Терско-Зимнебережной и Нёнокско-Устьянской алмазоносных зон, и разделяющей их Кандалакшско-Архангельской без коренных алмазов. Помимо конвективной геодинамики, в адвекции алмазоносной среды значительную роль играет транстенсия (переход сдвига в растяжение). В земной коре она вызывает подъем валов протяженностью в первые десятки километров. От них отходят кусты кимберлитовых трубок, периодически размещенные через расстояния 2–3 км или кратно такой величине [3].

В Якутской провинции вертикальный разрез зоны субдукции, погружающейся на юг, показывает изменение состава масс и глубин, с которых они потом поднимались, определяя минерагеническую зональность. Верхнее крыло субдукционной синклинали имеет перевернутое залегание, вследствие чего с уходом на глубину отражает изменение состава фаций бассейна с юга на север до их субдукции. К северу от Анабарского щита и Олёнекского массива процессу субдукции подвергались на небольшие глубины карбонатсодержащие толщи шельфовых фаций. Они при адвекции послужили источником УЩК-карбонатитовых систем, в которых сочетается минерагения мантийных масс с «щелочной пропиткой» их редкометалльными и иными по составу массами из первично осадочных толщ. Почти на тех же глубинах при огромном флюидном давлении (Попигайская структура перед взрывом) образуются мелкие поликристаллы лонсдейлитовых алмазов в сочетании с графитом. Лишь южнее образуются обычные алмазы, позже извлекаемые лампроитами, а с ещё больших глубин кимберлитами. Согласно палеореконструкции, лежачее крыло субдукционной синклинали должно выходить в районе Норильска. Примечательно, что в алмазах Якутии, образованных с участием биогенного углерода осадочных толщ раннего протерозоя, в качестве включений присутствуют пирит, пирротин, пентландит, халькопирит, сфалерит, полидимит, миллерит, кубанит, т.е. минералы, которые присутствуют в пластовых рудах норильских месторождений. Это один из доводов, приведших к выводу о том, что рудные тела норильских месторождений ранее представляли собой колчеданные тела, накопленные при вулканогенно-осадочном процессе в раннем протерозое. При трапповом магматизме они были расплавлены и внедрены в виде силлов в толщи позднего палеозоя–раннего мезозоя [2]. Отсюда, сингенетичная с траппами магматическая формация, считавшаяся ранее рудогенерирующей, является рудорегенерирующей.

Позиция верхнего и нижнего крыльев субдукционной синклинали свидетельствует о том, что на севере Якутии не было условий для погружения масс на большие глубины, необходимые для образования алмаза. Здесь могут присутствовать трубообразные тела флюидолитов (туффизитов), но без алмазов. Этим можно объяснить то, что проводимые в течение многих десятилетий поиски коренных алмазов на крайнем севере Якутии и в подобной обстановке на Урале были безуспешными. В такой же ситуации может оказаться и Таймыр. В таких условиях прогнозы могут быть направлены лишь на россыпные алмазы.

Южное обрамление Сибирской платформы (от Байкала, включая Патомское нагорье на западе, до верховьев Алдана на востоке) дает материал для рассмотрения ряда других проблем общей минерагении. В геодинамике этой территории важную роль сыграло сочетание структур транстенсии, вызванной усилиями вдоль левых сдвигов близширотного простирания и структурами, связанными с северной частью крупной Северо-Китайской конвективной ячеи. Длительно действующие сдвиговые усилия поддерживаются ротационным режимом Земли [1, 3]. Транстенсия приводит к декомпрессии, подъему и декомпрессионному плавлению масс. Это обеспечивает многократно повторяющийся базитовый магматизм начиная от архея (Мускунахский метагаббровый массив), в протерозое (Чинейский массив), вплоть до четвертичных базитовых удоканских лав. Расслоенным субщелочным массивам (Чинейскому, а на Урале подобным в Платиноносном поясе) присущи магматогенные руды платиноидов в гипербазитах и базитах, магнетитовые с титаном, сульфидные ванадий-железо-медные с золотом в базитах. Гипергенное разрушение таких руд с неравномерным распределением и дифференциацией их вещества в потоках при переносе приводили к накоплению дифференциатов в разных фациях флиша, образованию месторождений на соответствующих стратиграфических уровнях. В пестроцветном флише протерозоя Забайкалья накапливались золотоносные медистые песчаники (Удокан). Иной спецификой обладали большие концентрации мелкого золота в сероцветном флише позднего протерозоя–венда, в местах, более удаленных от источника их питания. Концентрация золота в черносланцевых слоях флиша зависит не столько от восстановительной обстановки (как считается), сколько от малой степени разубоживания золотоносных алевропелитов грубым чуждым материалом. Золото практически исчезает и при переходе алевропелитов с мельчайшим кластогенным материалом к фациям хемогенного осадконакопления. Из растворов в известняках отлагались карбонаты магния и железа, практически без золота. Признаком связи осадков с базитовым источником служат повышенные содержания ванадия (например,

хомолхинская свита, Сухой Лог). Микроскопические размеры большинства золотин обусловлены их извлечением из зерен сульфидов базитового источника. Золото-сульфидная или золото-кварцевая формации (подобным Сухому Логу или Мурунтау) зависят от зараженности бассейна осадконакопления серой и потенциала кислорода.

Последующее воздействие тектонических и магматических факторов имеет свои последствия. Так в рифее–венде развитие бассейна сочеталось с превращением его в преддуговый желоб и зону субдукции, сопряженную с Северо-Китайской конвективной ячеей. Толщи флиша (в том числе золотоносные) были субдуцированы с севера на юг под Алданский и Становой щиты. Субдукция сопровождалась региональным метаморфизмом, выжиманием и нагнетанием рудоносных масс, образованием дополнительных складок с локализацией метаморфогенных руд преимущественно в замках антиклиналей. Метаморфизм осадочных руд создал эффект гидротермального рудообразования, которое традиционно пытаются связать со скрытым магматизмом. В кембрии–ордовике продолжение конвекции в Северо-Китайской ячее привело к извлечению зоны субдукции из глубины южнее Становика, а в силуре-девоне – к шарьированию извлекаемой субдукционной синклинали на Алданский блок и край Сибирской платформы. Гравитационная неустойчивость, вызванная шарьяжем, в карбоне привела к всплыванию глубинных масс и образованию палингенных s-гранитов.

Таким образом, современная позиция золоторудных месторождений в терригенно-сланцевых толщах рифея–венда на территории Патомского нагорья является аллохтонной. Под ними нет источника оруденения, следы которого могли бы использоваться при прогнозных исследованиях. Глубинные разломы не имеют рудоконтролирующего значения. На картах прогноза следует отражать в изогипсах каждый стратиграфический рудоносный уровень с отображением в нем складчатых структур для выделения территорий, где необходима постановка ГРР. Вместе с тем следует помнить, что шарьяж представляет собой лежачую синклинальную складку, в верхнем крыле которой толщи находятся в перевернутом залегании, вмещая месторождение Чертово Корыто [1].

На востоке территории шарьяж ограничен Жуинским разломом близмеридионального простирания. Восточнее отмечаются близмеридиональные зоны («промоины» по разломам?), вдоль которых присутствуют золотоносные породы. На севере одной из них размещается месторождение Куранах, в котором фрагментарные блоки измененных пород с мелким золотом локализованы в карстовых полостях среди карбонатных толщ кембрия, т. е. на уровне, близком к поверхности стратиграфического и тектонического несогласия, уровню основания Патомского шарьяжа. Иначе говоря, золото Куранаха могло ранее принадлежать рудоносным толщам разрушенного шарьяжа. Расположенные на небольшом удалении золоторудные месторождения (Лебединое, Рябиновое, Таборное) связаны с мезозойскими щелочными интрузивами, которые, возможно, регенерировали золото древних осадочных толщ.

Описанный каскад событий, формирующих источник золота, трудно учесть при разработке критериев прогноза, однако необходимо иметь в виду. Особенно важно то, что первоначальное распределение кластогенного золота во флише было весьма неравномерным. В. А. Буряк [4], первым отметивший исходную осадочную суть золота, не упоминал об этой неравномерности, отводя главную роль факторам извлечения золота из пород. Объективные трудности в разработке геологических критериев прогноза в ситуации Байкало-Патома заставили опираться главным образом на поисковые признаки. Методология такого подхода была разработана А. И. Ивановым и успешно использована на практике [5].

Расширение минерально-сырьевой базы может опираться на разработку общей минерагении, планетарных условий образования особо богатых минерагенических провинций, подобных Забайкалью, Юго-Востоку Африки. В них совмещаются структуры и геодинамические процессы, приводящие к образованию крупных месторождений благородных, цветных металлов, алмазов, урана. Для анализа и решения проблем минерагении в нашей стране создана база в виде Государственных геологических карт третьего поколения масштаба 1:1 000 000. В их Объяснительных записках содержится богатый фактический материал, который позволяет совершенствовать критерии прогноза.

Список литературы:
1. Барышев А. Н. Геологическая позиция и генезис золоторудных месторождений Байкало-Патомской территории в связи с геодинамикой Центральной Азии // Отечественная геология. – 2017. – № 4. – С. 98–108.
2. Барышев А. Н. Минерагения норильских Cu-Ni месторождений как пермо-триасовое выплавление магм из раннепротерозойского базальтового слоя земной коры, вмещающего вулканогенные колчеданные руды, и геоструктурные преобразования среды // Сборник тезисов докладов научно-практической конференции. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2022. – С. 28–30.
3. Барышев А. Н., Хачатрян Г. К. Геодинамика, тектоника алмазоносных систем и минерагения. // Отечественная геология. – 2020. – № 6. – С. 88–108.
4. Буряк В. А., Бакулин Ю. И. Металлогения золота. – Владивосток : Дальнаука, 1998. – 401 с.
5. Иванов А. И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2014. – 215 с.
6. Кривцов А. И. Методические основы прогнозно-металлогенических построений, // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 69–73.
7. Металлогенический кодекс России. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.
8. Хачатрян Г. К., Барышев А. Н. Азот и водород в алмазах: следствия минерагении. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2022. – 188 с.

Бечвая А. Д., Юрченко О. С.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ АЛМАЗОНОСНЫХ ТАКСОНОВ В РАЙОНАХ ПОЛИХРОННОГО КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА

Рассматривается применение альтернативного принципа районирования (выделения границ) таких минерагенических таксонов, как кимберлитовое «поле», «куст», на основе комплексного подхода на примере Нижнеоленёкского алмазоносного района (НОАР). НОАР является территорией распространения разновозрастного кимберлитового магматизма, что затрудняет выделение границ кимберлитовых тел в таксон ранга «поле», «куст», и поэтому является оптимальным полигоном для выявления критериев, позволяющих установить достоверные пространственные границы. Приведены результаты модельной кластеризации кимберлитовых тел, на основе этих данных построены графики, проанализированы и выделены буферные зоны, которые сопоставлялись со стратиграфическими уровнями. В процессе работы было выдвинуто предположение что размеры буферных зон связаны непосредственно с определенными этапами становления кимберлитов.

Ключевые слова: кимберлитовые тела, разновозрастный магматизм, буферные зоны, таксон, ArcGIS.

Минерагенические таксоны «куст кимберлитовых тел» и «кимберлитовое поле» являются одними из наиболее неопределенных в части границ. Когда кимберлитовое поле представлено одним кустом кимберлитовых трубок, эти таксоны становятся тождественными. Во многих случаях даже группирование кустов кимберлитовых тел в поля весьма неоднозначно. Особенно это относится к районам развития полихронного кимберлитового магматизма, образующего обширные пересекающиеся ареалы проявления кимберлитовых тел. Один из них – Нижнеоленёкский алмазоносный район (НОАР) Лено-Анабарской алмазоносной субпровинции на северо-востоке Сибирской платформы (рис. 1).

Здесь по результатам многолетних алмазопоисковых работ выделено пять кимберлитовых полей, в том числе Мерчимденское и Толуопское среднепалеозойского возраста, Хорбусуонское поле раннетриасового возраста, Куойское и Молодинское позднеюрского возраста. В настоящее время в этих полях обнаружено порядка 234 кимберлитовых тел, при этом возможны новые открытия, в том числе высокоалмазоносных кимберлитовых тел.

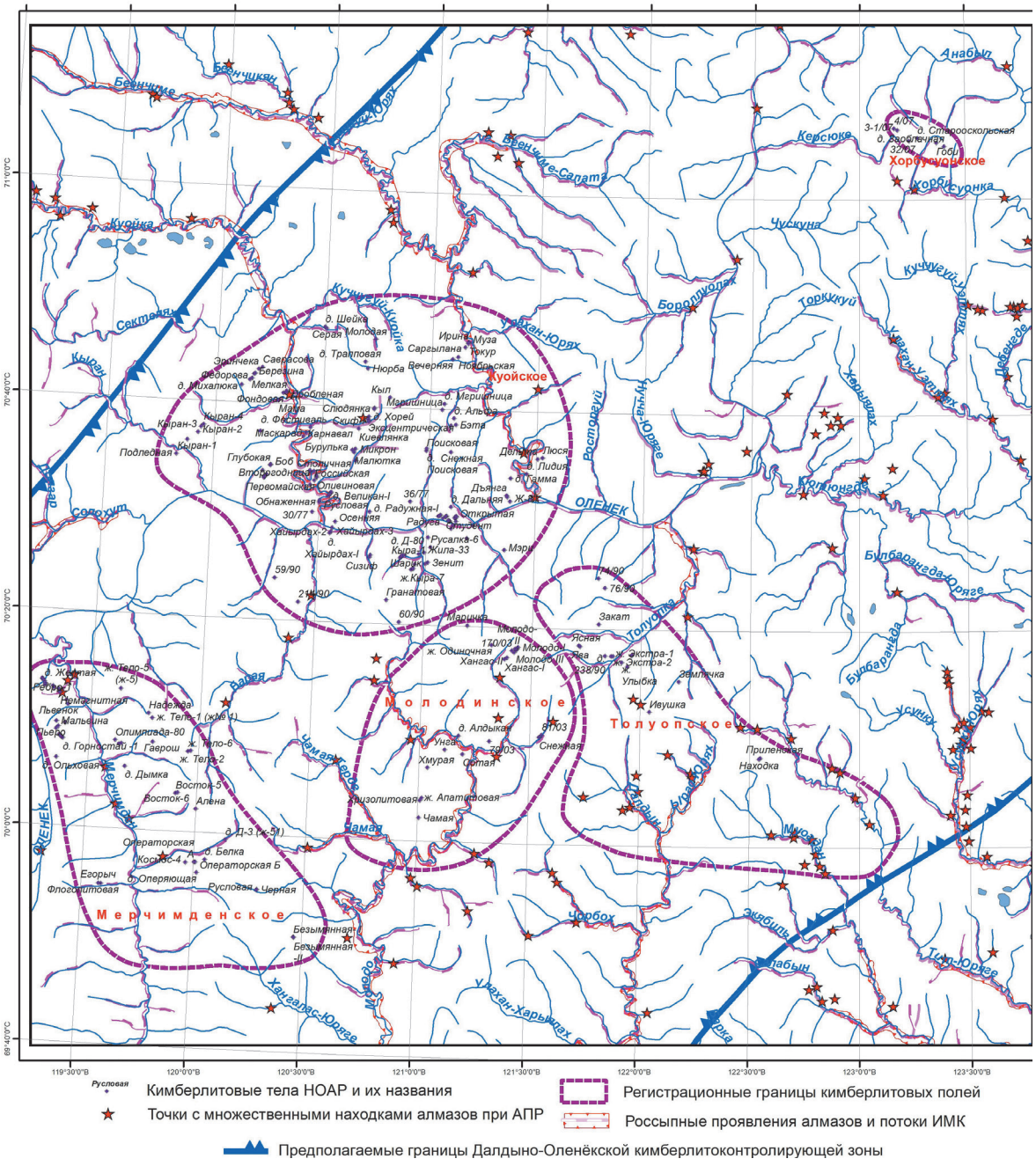


Рис. 1. Обзорная карта Нижнеоленёкского алмазоносного района

В данной работе основной упор сделан на анализ наиболее доступных пространственных характеристик и взаимного расположения кимберлитовых тел. Так, средствами ArcMap определены стратиграфические уровни и высоты выходов кимберлитовых тел на поверхность кимберлитовмещающих пород (рисунки 2 и 3).

Распределение высот выходов кимберлитовых тел на кимберлитовмещающую поверхность также подтверждает данное утверждение, так как кимберлитовые тела среднепалеозойского возраста занимают более высокое гипсометрическое положение (см. рис. 2). Можно также предположить и более высокий эрозионный срез среднепалеозойских кимберлитовых тел по сравнению с телами мезозойского возраста. Модальная разница выборок составляет порядка 100–150 м, что и характеризует величину эрозионного среза в период между формированием палеозойских и мезозойских кимберлитовых тел.

Далее с использованием дополнительного модуля Spatial Analyst из инструментария ArcMap были построены буферные зоны и определены параметры группирования кимберлитовых тел

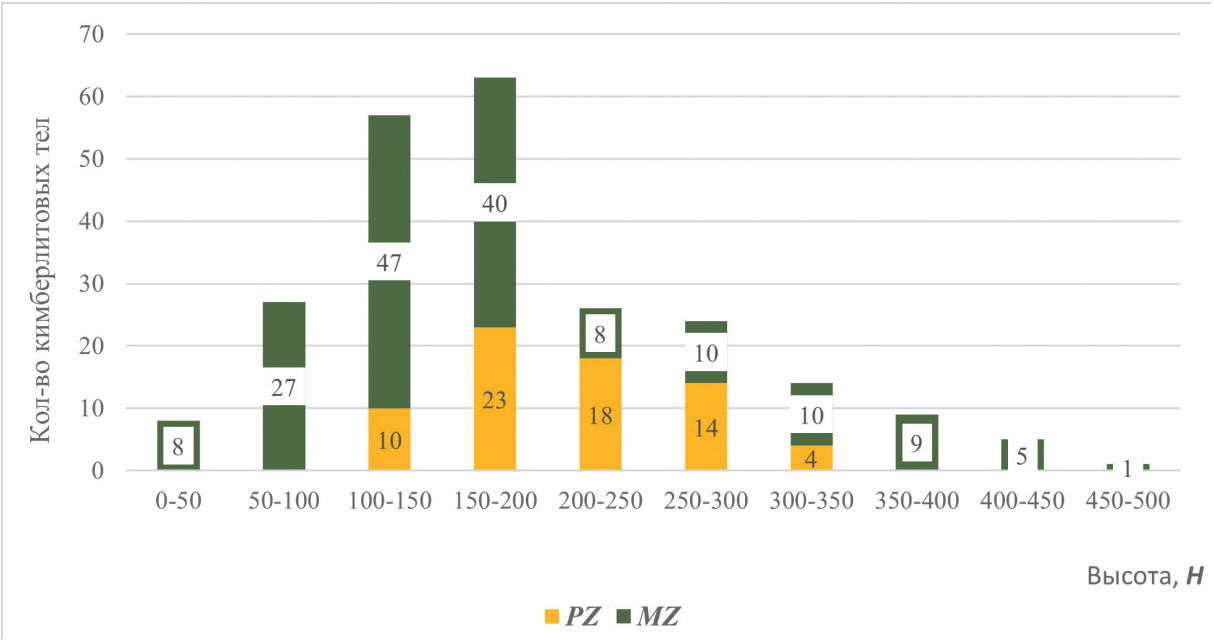


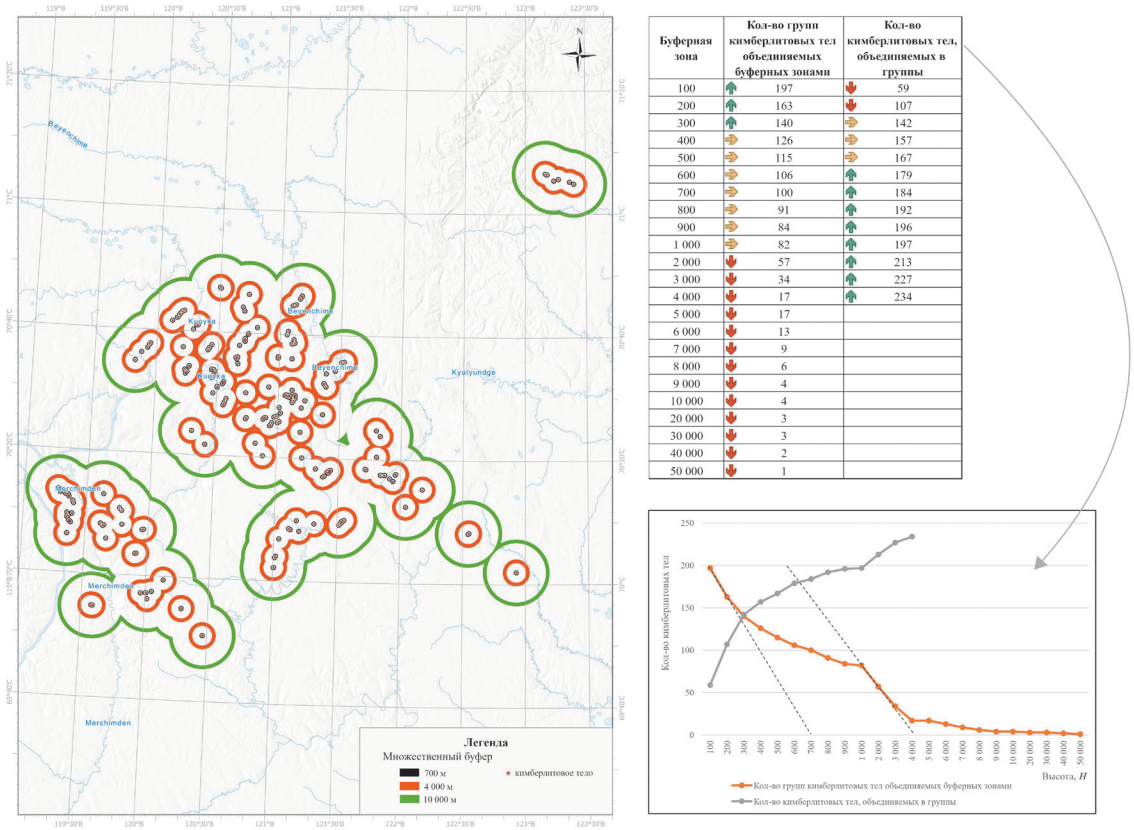
Рис. 2. Распределение высот выходов кимберлитовых тел на поверхность

№	Индексы	Стратиграфия (свиты)	Площадь распределения разновозрастных толщ в пределах исследуемой территории (%)	Распределение разновозрастных толщ в пределах изучаемых кимберлитовых полей (%)	Мощность свит (м)	Мощность вмещающих пород (м)	Количество кимберлитовых тел
1	$J_3čn$	Чонокская свита	0,002%	-	150	-	-
2	$J_{1-2}kl$	Чекуровская свита	0,003%	-	239	-	-
3	$J_2čk$	Келимярская свита	0,54%	-	247	-	-
4	$J_{1-2}sn$	Сунтарская свита	0,12%	-	40	-	-
5	J_1kn	Курунгская свита	1,20%	-	16	-	-
6	J_1mt	Моторчунская свита	0,49%	-	145	-	-
7	T_3-J_1kr	Кыринская свита	6,27%	-	174	-	-
8	T_1ml	Молодинская толща	4,37%	9,5%	110	-	9
9	$P_{1-2}blg$	Булгунняхтахская свита	0,91%	-	133	-	-
10	$P_{1-2}bl$	Булбарангдинская свита	4,26%	6,9%	130	-	9
11	P_1or	Ортокинская свита	0,75%	-	205	-	-
12	P_1on	Онкучахская свита	1,57%	2,9%	100	-	11
13	$C_2-P_1čr+dl$	Чорбохская толща	4,27%	1,7%	25	-	1
14	C_1tl	Толуопская свита	1,88%	0,1%	115	-	-
15	C_1tt_2	Кысылхаинская свита	1,43%	-	70	-	-
16	C_1tt_1	Удаганская свита	1,48%	-	65	-	-
17	C_1tt_1	Нуччаюрегинская свита	1,76%	-	115	-	-
18	$€_3kt$	Кутугунская свита	7,24%	0,4%	90	-	-
19	$€_3čm$	Чомурдахская свита	6,27%	-	150	-	-
20	$€_2sl$	Силигирская свита	6,01%	0,3%	77	90	1
21	$€_2dg$	Джахтарская свита	7,07%	11,2%	130	167	20
22	$€_2ol$	Оленекская свита	7,27%	6,8%	85	297	27
23	$€_{1-2}kn$	Куонамская свита	7,27%	12,1%	50	382	19
24	$€_1er$	Еркекетская свита	7,16%	23,6%	220	432	68
25	$V_2-€_1mn$	Кессюсинская свита	7,18%	9,4%	140	652	35
26	V_2tr	Туркутская свита	7,21%	2,8%	170	792	34
27	V_1ht	Хатыспытская свита	1,61%	-	145	962	-
28	V_1ms	Мастахская свита	1,45%	-	60	1107	-
29	RF_2hp	Хайпахская свита	1,57%	-	329	1167	-
30	RF_2db	Дебенгдинская свита	0,96%	-	555	1496	-
31	RF_2ar	Арымасская свита	0,38%	-	280	2051	-
32	RF_1kt	Кютюнгдинская свита	0,07%	-	180	2331	-
33	RF_1sg	Сыгынахская свита	0,004%	-	157,5	2511	-
34	RF_1oh	Эекитская серия	-	-	2600	2668,5	-
Архейское основание						5268,5	

Рис. 3. Распределение выходов кимберлитовых тел по стратиграфическим уровням

Нижнеоленёкского алмазоносного района. Размер буферных зон изменялся в интервале от 100 до 50 000 м, до полного объединения всех кимберлитовых тел НОАР (234 шт.) в единую группу.

Результаты группирования кимберлитовых тел в зависимости от размера буферной зоны с определением количества тел, объединяемых в группы, приведены на рис. 4.



Буферная зона	Кол-во групп кимберлитовых тел объединяемых буферных зонами	Кол-во кимберлитовых тел, объединяемых в группы
100	197	59
200	163	107
300	140	142
400	126	157
500	115	167
600	106	179
700	100	184
800	91	192
900	84	196
1 000	82	197
2 000	57	213
3 000	34	227
4 000	17	234
5 000	17	
6 000	13	
7 000	9	
8 000	6	
9 000	4	
10 000	4	
20 000	3	
30 000	3	
40 000	2	
50 000	1	

Рис. 4. Результат группирования кимберлитовых тел:
карта построений буферных зон; таблица с результатами группирования; итоговые графики группирования

Данный график состоит из нескольких локальных отрезков, частные тренды которых подобны общему тренду графика. Таким образом, данный график обладает свойством самоподобия, то есть имеет фрактальный характер, или является геометрическим фракталом.

Можно предположить, что интервалы или сегменты этого графика связаны с определёнными этапами становления кимберлитов.

Первый сегмент, ограниченный интервалом 600–700 м, отражает уровень образования наиболее тесно сближенных групп кимберлитовых тел из одной подводящей дайки. Наиболее плотные группы кимберлитовых тел объединяются расстоянием 600–700 м. В результате 234 кимберлитовых тела образуют около 100 сближенных групп. Очевидно, что каждая из этих групп трубок, скорее всего, имеют единую корневую систему, находящуюся в зоне перехода с гипаббисальной в эксплозивную стадию формирования кимберлитов. Глубина этого перехода, по законам механики сплошных сред, должна соответствовать (с погрешностью, связанной с локальными различиями литостатического давления) размеру объединяющего буфера или расстоянию между крайними трубками. В нашем случае этот интервал глубин примерно соответствует границе венда и кембрия, на которых имеется и благоприятная геологическая формация, а именно кессюсинская свита, характеризующаяся песчанисто-алевролит-аргиллит-гравелитовым составом с прослоями мергелей, известняков и доломитов, отличающаяся пониженной плотностью и прочностью.

Так же четко на графике выделяется сегмент буферизации, ограниченный интервалом 1000–4500 м. На этом интервале в сообществе кимберлитовых тел Нижнеоленёкского района выделяются 17 групп кимберлитов. Можно предположить, что объединение их каналов в общую структуру, происходит на глубинах порядка 4 и более км, то есть в зоне перехода из гипабиссальной

в плутоническую стадии их формирования. По геофизическим данным примерно на такой же глубине (от 3,5–4 и более километров) находится поверхность архейского комплекса пород – древнейшего основания Оленёкского поднятия. В стратиграфическом плане архейское основание перекрыто существенно терригенной толщей отложений раннего протерозоя – эйекитской свитой плитного комплекса, прошедшей этап смятия и дробления на блоки и также являющейся благоприятной средой для фазового перехода между этапами становления кимберлитовой магматической колонны.

Для групп кимберлитовых трубок, объединенных буфером 4500 м, были вычислены эллипсы многомерных стандартных отклонений для 2σ-интервалов, соответственно с вероятностью 0,9973 охватывающих группы кимберлитовых трубок со сходными параметрами (рис. 5).

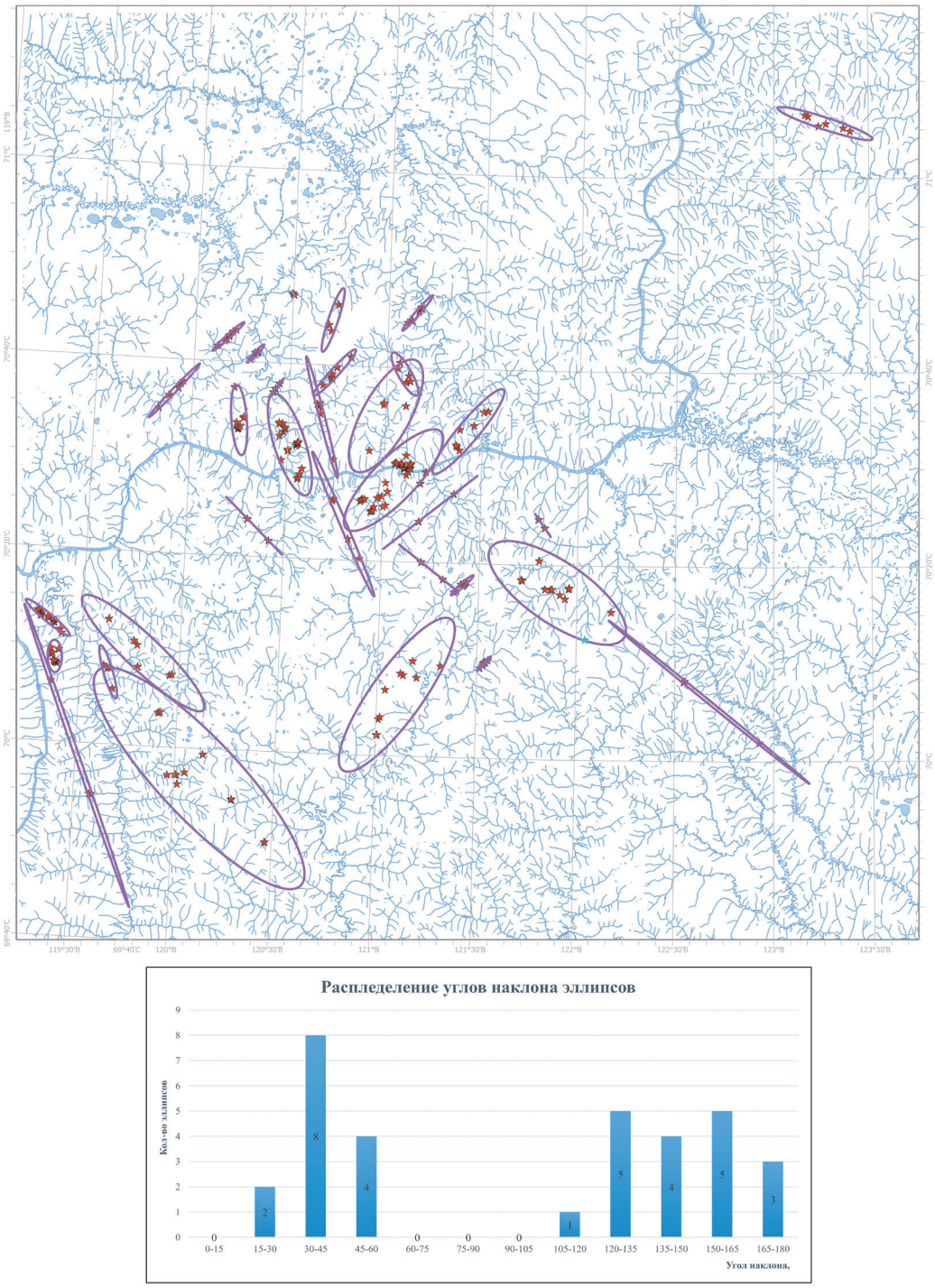


Рис. 5. Эллипсы стандартных отклонений для 2σ-интервалов

В принципе, данные эллипсы многомерных стандартных отклонений могут быть в первом приближении использованы для анализа и распознавания наличия благоприятных предпосылок–индикаторов в полях пространственных данных (трансформантах геофизических полей, ДДЗ и т. д.) в качестве эталонных объектов. В результате кимберлитовые тела изучаемой площади и ее ближайшего обрамления оказались разделены на 29 групп. Также были определены углы простирания длинных осей полученных эллипсов и построена гистограмма их распределения. Достаточно отчетливо определяется три модальных интервала углов простирания длинных осей: 30–45° (исключительно тела кимберлитов мезозойского возраста); 120–135° (большинство кимберлитовых тела палеозойского возраста и единичные группы тел мезозойского возраста) и 150–165° (преимущественно группы тел мезозойского возраста и единичные группы тел палеозойского возраста). Таким образом, выделенные интервалы направлений длинных осей, по-видимому, связаны с определёнными кимберлитоконтролирующими тектоническими структурами. Данный вопрос требует отдельного изучения.

Выполненная работа дает только модельное представление о кластеризации кимберлитовых тел в районах полихронного щелочно-ультраосновного магматизма. Необходимы дальнейшие исследования с привлечением комплекса геофизических, геологических, минералогических и других данных.

Список литературы:

1. Шахурдина Н. К., Тарских О. В. Методика оконтуривания кимберлитовых полей с применением ГИС – технологий (на примере Якутской алмазоносной провинции) // Наука и образование. – 2017. – № 4. – С. 29–36.
2. Милашев В. А., Соколова В. П. Сравнительный анализ кимберлитовых полей Якутской и Русской провинций. – СПб. : ВНИИОкеангеология, 2000. – 130 с.

Божко Н. А.
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

О НЕКОТОРЫХ ВАЖНЫХ РУБЕЖАХ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ АЛМАЗОНОСНОГО МАГМАТИЗМА

Отмечены важные геолого-геохронологические рубежи, отражающие прогрессивный рост алмазоносного магматизма в истории Земли. Рассматриваются факторы, способствующие этому росту, и выясняется геодинамическая природа выделенных рубежей.

Ключевые слова: эволюция, рубежи, кимберлиты, лампроиты, субдукция, мантия, мантийные плюмы, суперконтинентальная цикличность, охлаждение мантии.

Проблема появления алмазоносного магматизма в истории Земли начиная с самого древнего алмазоносного кимберлита в Габоне, имеющего возраст 2850 млн лет, требует специального рассмотрения и в докладе не затрагивается.

Независимо от того насколько достоверны наши знания о начале алмазоносного магматизма, анализ глобального распространения во времени алмазоносных кимберлитов и лампроитов обнаруживает четкую тенденцию увеличения активности алмазоносного магматизма в истории Земли от докембрия к фанерозою [1, 5, 9 и другие]. При этом данное увеличение носит неравномерный, скачкообразный, характер, сопровождаясь наличием пиков, рубежей в развитии рассматриваемого магматизма. Особого рассмотрения заслуживают следующие такие рубежи:

Рубеж около 2000 млн лет отмечает первое глобальное появление нескольких датированных алмазоносных кимберлитов на разных континентах. К ним относятся наиболее крупные из них: кимберлиты Тюрки Веллс (2188 ± 11 млн лет), Набберу и Брокмен (1900 млн лет), Кимозеро (1986 ± 4 млн лет) [5, 8, 9]. Примерно в это же время кимберлиты заменяют коматииты в качестве отличительной мантийной магматической черты континентальных щитов по всему миру.

Рубеж около 1200–1000 млн лет отмечает резкий скачок глобального алмазоносного кимберлитообразования, включение его «спускового механизма» и появление первого промышленного коренного месторождения алмазов Премьер в южной Африке с возрастом около 1200 млн лет. С этого времени кимберлиты внедряются на всех кратонах вплоть до кайнозоя включительно. Повышению интенсивности алмазоносного магматизма на рассматриваемом уровне способствовало активное поступление H_2O и CO_2.

Рубеж 750 млн лет заслуживает специального внимания. Около 95 % датированных кимберлитов на земле моложе 750 млн лет. Важность рассматриваемого рубежа раскрыта в работе Н. Л. Добрецова [2]: «До рубежа 1 млрд лет все извлекаемые породы характеризовались умеренными давлениями (1,0–1,2 ГПа), что соответствует глубине 40–50 км. Начиная с 750 млн лет стали извлекаться высокобарические породы, содержащие коэсит (давление свыше 2,5 ГПа), вплоть до алмазосодержащих пород (давления 4,0–6,0 ГПа, глубина 160–200 км».

Рубеж 250 млн лет. Продуктивный алмазоносный магматизм усилился особенно заметно между 250–50 млн лет, когда были созданы более 60 % известных в мире кимберлитовых проявлений на разных континентах. Этот период называют мезозойско-кайнозойским «цветением кимберлитов». В последние 50 млн лет наблюдается спад в проявлении кимберлитового магматизма. За это время были образованы менее 2 % от известного мирового количества кимберлитов.

Выделенные значимые рубежи подтверждают отмеченную выше общую тенденцию увеличения количества и продуктивности алмазоносного кимберлитового магматизма в геологическом времени от докембрия к фанерозою, что свидетельствует также о том, что одновременно прогрессивно **улучшались петрологические условия в мантии**, наиболее благоприятные для продуцирования высокомагнезиальных углеродных силикатных расплавов, в том числе увеличение содержания воды и CO_2. Возникновению таких условий в основном способствовало сочетание следующих факторов:

Геодинамический фактор. Большинство исследователей справедливо считают этот фактор важным. Благодаря механизму тектоники литосферных плит происходит рециркуляция поверхностного углерода и создаются благоприятные условия для плавления мантии. Окислительно-восстановительное плавление в мантии С. Ф. Фоли рассматривает как функции тектонических условий и времени [4]. По мнению Р. Д. Стерна [7], усиление внедрения кимберлитов является следствием проявления современного стиля тектоники плит, который начался 1 млрд лет тому назад и привел к значительному увеличению содержания в мантии CO_2 и H_2O и быстрому подъему алмазоносных кимберлитовых магм. Этому, в частности, способствовали изменение стиля субдукции, превращение ее в холодную, крутопадающую, что обеспечивало проникновение литосферного слеба в глубины мантии.

Суперконтинентальная цикличность. В настоящее время хорошо установлена временная связь между формированием многих типов полезных ископаемых со сборкой или распадом суперконтинентов. В этом аспекте данный вопрос затрагивался в той или иной степени разными авторами [1, 2, 5, 8]. В этом отношении следует назвать Х. Джелмса, который связал активность кимберлитообразования в мезокайнозое с распадом Пангеи [5]. Автором установлена различная предрасположенность отдельных фаз суперконтинентального цикла к проявлению алмазоносного магматизма [1]. Формирование кимберлитов активизировалось в фазы деструкции, господства рифтогенеза на суперконтиненте, достигая кульминации в эпоху его распада, и продолжалось некоторое время в течение фазы конвергенции, сборки нового суперконтинента. В фазы агломерации новообразованного суперконтинента и в заключительные интервалы сборки нового наблюдается определенный спад рассматриваемого магматизма. Выделенные рубежи в целом подтверждают это. Так, период расцвета кимберлитообразования (250–50 млн лет) соответствует в основном указанным благоприятным интервалам суперконтинентального цикла Пангеи. Выше отмечалось, что в последние 50 млн лет наблюдается спад в проявлении кимберлитового магматизма. Не исключено, что его появление закономерно и совпадает с непродуктивной фазой суперконтинентальной цикличности или ее частью.

На мой взгляд, определенную роль в проявлении данного фактора играет также то обстоятельство, что возникновение активного кимберлитообразования на рубеже около 1 млрд лет приблизительно совпадает с общим изменением в ходе суперконтинентальной цикличности –

появлением мегаконтинентов Гондваны и Лавразии несоизмеримо более значительного размера по сравнению с континентами предыдущих циклов. Это означало общее увеличение суперконтинентальной территории и соответственно теплового экрана, провоцирующего образование плюмов, а, следовательно, и их общего количества.

Охлаждение мантии за счет общего падения теплового потока Земли рассматривается в последних работах [3, 8] как важный фактор увеличения мантийной активности и алмазоносного магматизма во времени. Охлаждение мантии ниже 1400 °С вскоре после 2 млрд лет, наступление холодной субдукции привели к проникновению слэба в нужные более глубокие горизонты мантии, обеспечивая доставку туда H_2O и CO_2, и появлению соответственно обогащенного ультраосновного магматизма CO_2 [8].

Последняя работа примечательна тем, что в ней показана взаимосвязь фактора охлаждения мантии с динамическим фактором и суперконтинентальной цикличностью в проявлении продуктивного алмазоносного магматизма. Каждый из этих необходимых факторов, действуя в отдельности, изолированно не мог обеспечить его развитие. Суперконтинентальная цикличность, тектоника литосферных плит возникли и действовали с мезоархея на фоне охлаждения Земли, но потребовалось длительное время для созревания этих факторов к их оптимальному объединению, сочетанию, что привело к созданию благоприятных условий для проявления алмазоносного магматизма. Этот прогрессивный процесс в видимой форме, по существу, начался в раннем протерозое, достиг прорывной стадии между 1200 и 1000 млн лет, отмечен важным рубежом в 750 млн лет, достигнув идеального состояния в 250 млн лет.

Рассмотрение временных рубежей в эволюции кимберлитового магматизма имеет значение и для понимания общих геодинамических процессов.

Список литературы:

1. Божко Н. А. Алмазоносный магматизм в суперконтинентальных циклах // Руды и металлы. – 2019. – № 3. – С. 22–27.
2. Добрецов Н. Л. Глобальная геодинамическая эволюция Земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 6. – С. 761–784.
3. Brown M. The contribution of metamorphic petrology to understanding lithosphere evolution and geodynamics // Geoscience. – Frontiers. – 2014. – № 5. – P. 553–569.
4. Foley S. F. A reappraisal of redox melting in the Earth's mantle as a function of tectonic setting and time // Petrol. – 2011. – № 52. – P. 1363–1391.
5. Gurney J. J., Helmstaedt H. H., Richardson S. H., Shirey S. B. Diamonds through Time // Economic Geology. – 2010. – 105 (3). – P. 689–712.
6. Jelsma H., Barnett W., Richards S., Lister G. Tectonic setting of kimberlites // Lithos. – 2009. –№ 112. – P. 155–165.
7. Stern R. J., Leybourne M. I., Tsujimori T. Kimberlites and the start of plate tectonics // Geology 2016. – № 44. – P. 799–802.
8. Tappe S., Smart K., Torsvik T., Massuyeaua M., deWit M. Geodynamics of kimberlites on a cooling Earth: Clues to plate tectonic evolution and deep volatile cycles // Earth and Planetary Science Letters. – 2018. –484. – P. 1–14.
9. Wit Mike de. Identification of Global Diamond metallogenic clusters to assist Exploration. – The Southern Afr. Inst. Mining and Metallurgy Diamonds Source to Use, 2010. – 24 p.

Бондаренко П. В. , Корсаков А. В.
ИГМ СО РАН, Новосибирск

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ КАК НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ В КОЛИЧЕСТВЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН.

Минералогическая характеристика – неотъемлемый этап научных исследований в геологии, и в горнодобывающей промышленности. При составлении минералогической характеристики часто необходимо посчитать точное соотношение минералов в породе, что является задачей трудоемкой и требующей много времени, если делать это вручную. К тому же погрешность таких измерений зависит от опыта исследователя и не может быть оценена объективно. В данной работе представлен новый автоматизированный метод подсчета соотношения минералов при помощи нейронной сети, а также примеры использования данного метода на практике для определения соотношения сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит) в высокобарических гранат-пироксеновых породах Кокчетавского массива (Северный Казахстан).

Ключевые слова: автоматизация процессов, соотношение минералов, сульфиды, количественный анализ, пирит, пирротин, халькопирит.

Определение точного процентного соотношения минералов для большого объема данных – очень трудоемкая задача. При визуальном анализе добиться необходимой точности невозможно. Более точные оценки получаются при разметке фотографий вручную с помощью различных программ для векторной графики (например, CorelDraw или Inkscape), но на разметку одной фотографии в зависимости от сложности объекта уходит 1–6 часов. В целях автоматизации данного процесса и сокращения времени, необходимого для решения подобных задач, была разработана новая методика по определению минералов с помощью обученной нейронной сети. В данной работе нейронная сеть была обучена для определения трех сульфидных минералов (пирит, пирротин, халькопирит) на изображениях, полученных с помощью оптической микроскопии в отраженном свете.

В данном случае подсчет занимаемой объектом площади – элементарная задача, сложность заключается именно в том, чтобы научить нейросеть верно распознавать минералы на изображении. Автоматическая разметка масок, соответствующих определенным классам объектов, – задача семантической сегментации (подраздел компьютерного зрения), которая активно изучается программистами, специализирующимися в области машинного обучения, и для нее уже существуют определенные алгоритмы решения. Данные алгоритмы являются обобщенными и их можно адаптировать и использовать для решения различных задач: от распознавания дорожной обстановки, работы с МРТ-снимками, распознавания объектов инфраструктуры до интересующей нас задачи распознавания минералов.

Глобально весь процесс можно разделить на следующие этапы:

1) разметка необходимых объектов на изображениях вручную,
2) написание программного кода,
3) обучение нейросети,
4) тестирование качества работы нейросети,
5) создание удобного интерфейса,
6) оценка погрешности метода.

Для разметки использована бесплатная открытая онлайн платформа Supervisely, в которой можно удобно размечать объекты с помощью различных инструментов. Размечались фотографии участков шлифа с сульфидами в отраженном свете на четыре типа объектов: пирротин, пирит, халькопирит и фон.

Для проверки качества нейронной сети используется метрика Intersection over Union (IoU). Она показывает отношение площади пересечения классов (предсказанного нейронной сетью и размеченного вручную) к площади их объединения. Визуализация этой метрики показана на рисунке 1.

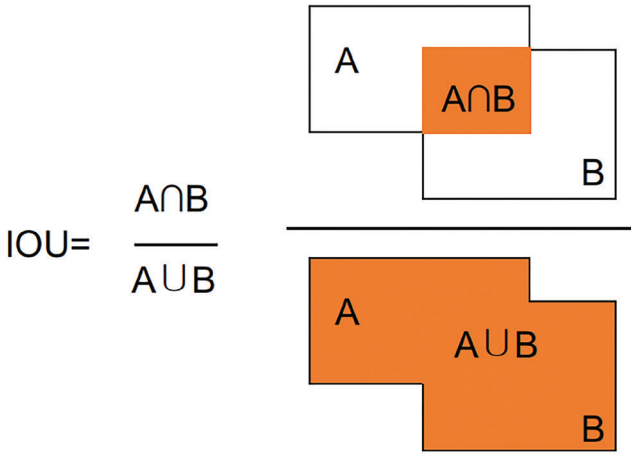


Рис. 1. Метрика для проверки качества работы нейросети:
А – объект, размеченный вручную, В – объект, размеченный нейросетью

Для написания кода программы использовался высокоуровневый язык программирования Python. Специализированные для обучения нейросетей библиотеки от Google: Tensorflow и Keras.

Принцип работы и оценка погрешности. Нейронная сеть обрабатывает каждое изображение пятью моделями, обученными на разных частях объема данных. Каждая модель считает долю минералов (пирит, пирротин, халькопирит). Из пяти полученных значений вычисляется среднее для каждого минерала. Далее вычисляется величина погрешности по формуле:

$$\sigma^{\#} = 1,96\sqrt{\frac{\Sigma(x_i-\mu)^2}{4}}$$

Коэффициент 1,96 перед величиной выборочного стандартного отклонения (σ) обеспечивает вероятность 95 % попадания истинного значения в полученный доверительный интервал (рис. 2).

Погрешность выражается в процентах и варьируется в пределах от 2 до 15 % в зависимости от специфики исходного изображения. При получении большей погрешности, работа нейронной сети считается некорректной. В таком случае необходимо дополнительное обучение моделей, либо исходное изображение является неподходящим (низкое разрешение, наличие других сульфидных минералов, недостаточное освещение и т. д.)

Практическое применение нового метода. Описанный метод применялся для оценки процентного соотношения сульфидов различных типов (сульфиды включений, матрикса и заполняющие трещины), встречающихся в гранат-клинопироксеновых породах Кумдыкольского месторождения технических алмазов (Кокчетавский массив, Северный Казахстан). Изучаемые породы образовались в результате субдукции на глубины 150–200 км и дальнейшей эксгумации [4]. В работах [1, 3] показано, что происходила субдукция не единого блока, сложенного переслаивающимися толщами пород, а различных фрагментов континентальной коры, характеризующихся разнообразным набором литологических типов пород. Породы Кокчетавского массива различаются степенью деформированности и условиями пика метаморфизма [4, 8, 10].

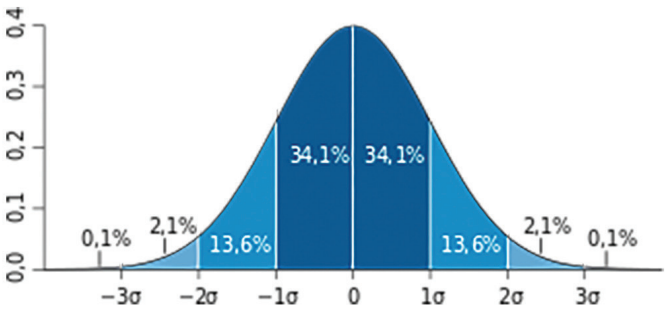


Рис. 2. График плотности вероятности нормального распределения и процент попадания случайной величины на отрезки, равные среднеквадратическому отклонению (σ)

Изученные гранат-клинопироксеновые породы относятся к высокобарическому блоку [6, 7, 9], в них наблюдаются ламели калишпата в клинопироксене, в некоторых образцах встречаются алмазы, что является неоспоримым признаком ультравысоких давлений. Для Кокчетавского массива характерны высокие скорости эксгумации пород [2, 5]. Авторы работ [3] оценивали

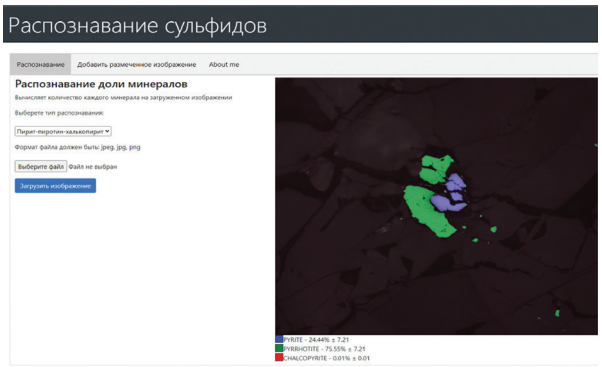


Рис. 3. Интерфейс программы на веб-сервере после обработки загруженного изображения

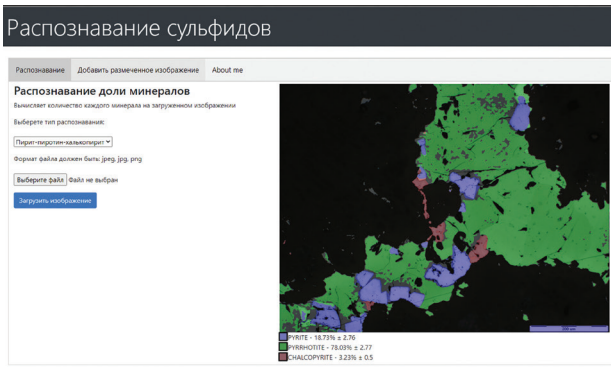


Рис. 4. Результат работы программы: черным цветом закрашены несульфидные минералы породы

скорости эксгумации Кумдыкольского блока в 6–20 см/год, что является важным фактором для сохранности реликтов высокобарических фаз.

С помощью автоматизации процесса удалось получить процентное соотношение исследуемых сульфидов для коллекции более сотни изображений, что делать вручную было бы значительно сложнее и дольше. Результаты показали: соотношения минералов в группах сульфидов включений и сульфидов матрикса в пределах погрешности идентичны и при этом значительно отличаются от аналогичного показателя сульфидов трещин. Благодаря полученным данным был сделан вывод о сингенетичности сульфидов включений и матрикса.

Результатом работы программы являются размеченное изображение с масками минералов и данные о процентных соотношениях сульфидов с учетом погрешности метода. Размеченная нейронной сетью маска накладывается на исходное изображение, что позволяет производить визуальный контроль качества работы программы.

Заключение. Нейросети можно использовать для автоматизации различных процессов в геологии. В данной работе представлены результаты по автоматизации процесса распознавания сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит) на изображениях с оптического микроскопа в отраженном свете. Погрешность метода варьируется от 2 до 15 %, что свидетельствует об очень высокой точности по сравнению с устаревшим методом определения доли минерала путем визуального осмотра. Перспективы развития проекта состоят в увеличении базы минералов для автоматического распознавания, возможности добавления пользователем новых необходимых минералов в систему через интерфейс программы, уменьшении погрешности метода.

Список литературы:

1. Буслов М. М., Добрецов Л. Н., Вовна Г. М., Киселев В. И. Структурное положение, состав и геодинамическая природа алмазоносных метаморфических пород Кокчетавской субдукционно-коллизионной зоны Центрально-Азиатского складчатого комплекса (Северный Казахстан) // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 1–2. – С. 89–109.
2. Перчук А. Л., Япаскурт В. О., Подлесский С. К. Условия формирования и динамика подъема эклогитов Кокчетавского массива (район горы Сулу-Тюбе) // Геохимия. – 1998. – Т. 10. – С. 979–988.
3. Dobretsov N. L., Shatsky V. S. Exhumation of high-pressure rocks of the Kokchetav massif: facts and models // Litos. – 2004. – V. 78, № 3. – P. 307–318.
4. Dobretsov N. L., Sobolev N. V., Shatsky V. S., Coleman R. G., Ernst W.G. Geotectonic evolution of diamondiferous paragneisses, Kokchetav Complex, northern Kazakhstan: The geologic enigma of ultrahigh-pressure crustal rocks within a Paleozoic foldbelt // Island Arc. – 1995. – V. 4, № 4. – P. 267–279.

5. Korsakov A. V., Theunissen K., Smirnova L. V. Intergranular diamands derived from partial melting of crustal rocks at ultrahight-pressure metamorphic conditions // Terra Nova. – 2004. – Vol. 16. – P. 146 – 151.
6. Mikhno A. O., Korsakov A. V. K2O prograde zoning pattern in clinopyroxene from the Kokchetav diamond-grade metamorphic rocks: Missing part of metamorphic history and location of second critical end point for calc-silicate system// Gondwana Research. – 2013. – V. 23. – № 3. – P. 920–930.
7. Perchuk L. L., Safonov O. G. , Yapaskurt V. O. , Barton Jr. J. M. Crystal-melt equilibria involving potassium-bearing clinopyroxene as indicator of mantle-derived ultrahigh-potassic liquids: an analytical review // Litos. – 2002. – V. 60. – P. 89–111.
8. Shatsky V. S., Sobolev N. V., Vavilov M. A. Diamond-bearing metamorphic rocks from Kokchetav massif (Northern Kazakhstan) // Ultrahigh Pressure Metamorphism / Ed. by R. Coleman, X. Wang. – Cambridge University Press, 1995. – P. 427–455.
9. Sobolev N. V., Shatsky V. S. Diamond inclusions in garnets from metamorphic rocks: a new environment for diamond formation // Nature. – 1990. – V. 343. – P. 742–746.
10. Theunissen K. , Dobretsov N. L., Korsakov A.V., Travin A., Shatsky V. S., Smirnova L., Boven A. Two contrasting petrotectonic domains in the Kokchetav megamélange (north Kazakhstan): Difference in exhumation mechanisms of ultrahigh-pressure crustal rocks, or a result of subsequent deformation? // Island Arc. – 2000. – V. 9. – № 3. – P. 284–303.

Борисов В. В.[1], **Ратьков С. С.**[2], **Юсуфов Б. С.**[3]
[1] ООО «Серч Сентрик», г. Москва; [2] АК «АЛРОСА» ПАО, г. Мирный; [3] ООО «АЛРОСА Информационные технологии», г. Москва

ВОЗМОЖНОСТИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСТОРИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

При непрерывном накоплении значительного объема исторических цифровых геолого-геофизических данных остро встает задача контроля качества данных. Она является сложной и комплексной, а ее решение напрямую влияет на эффективность проведения ГРР. В эту задачу входят этапы как методологического (процессного), так и инструментального (программного) контроля. Первичный инструментальный контроль качества данных осуществляется мастер-системами, в которых они создаются и хранятся, но что делать, если этих систем несколько и наряду с ними существуют и активно используются неструктурированные данные из файловых систем?

В таких случаях востребованы инструменты, позволяющие эффективно кэшировать данные из различных систем и осуществлять многократные сравнения и кросс-проверки без прямого обращения к мастер системам и чтения файлов.

Сложно переоценить важность проверки координатных значений: проверки пространственных объектов на дублирование, проверки объектов на корректность пространственных отношений, например, вхождения точек наблюдений в объекты работ.

Необходимы возможности визуализации результатов процедур проверки качества на карте и аналитических панелях (дашбордах) как в оперативном, так и в историческом разрезе.

В докладе мы расскажем, как формулируются подходы к контролю качества исторических данных в АК «АЛРОСА» в рамках ИС «Единое геолого-информационное пространство» (далее ИС ЕГИП).

Ключевые слова: контроль качества, геологические данные, поиск, индексирование, геозапрос, геопоиск, неструктурированные данные, большие данные (BigDATA), управление данными, АК АЛРОСА, ИС ЕГИП.

Задача управления качеством данных является одной из ключевых при непрерывном накоплении значительных объемов цифровых геолого-геофизических данных. Процессы управления качеством являются сложными и комплексными. Оптимальное их выполнение напрямую

влияет на эффективность проведения ГРР. Процесс контроля качества состоит из методологического (процессного) и инструментального (программного) блоков.

Первичный инструментальный контроль качества данных осуществляется мастер-системами, в которых данные хранятся, однако, если этих систем несколько и наряду с ними существуют и активно используются неструктурированные или слабоструктурированные данные из файловых систем, становятся востребованы методы, позволяющие эффективно кэшировать данные из различных систем и осуществлять многократные сравнения и кросс-проверки без прямого обращения к мастер-системам и чтения файлов.

Такой функционал позволяет осуществлять большое количество проверок в единицу времени, не перегружая при этом источники данных дополнительными запросами.

Представим себе упрощенную ситуацию, в которой имена или идентификаторы скважин в файлах каротажа форматов LAS/DLIS, располагающихся на дисках, необходимо сравнить с соответствующими идентификаторами в корпоративном справочнике, представляющим из себя витрину данных в реляционной базе данных. Число скважин может насчитывать десятки тысяч, а файлов – сотни тысяч. Очевидно, что без инструментов автоматизированной обработки больших данных (BigDATA) такая задача не решается за приемлемое время. Для решения поставленной задачи метаинформация из заголовков файлов LAS/DLIS должна быть заранее обработана, извлечена и доступна для структурированных запросов и поиска по ключевым словам.

На рисунке приведен пример запроса к файловому хранилищу ИС ЕГИП на предмет имен файлов каротажа по скважинам в контексте лицензии с условным номером 046, с конкретными кривыми, в формате LAS, с отбором корректных и читаемых LAS файлов. В результате выполнения запроса возвращается множество таких файлов. Данный запрос занял 59 миллисекунд и вернул 139 файлов из 349 338.

Приведенный пример иллюстрирует широкие возможности инструментов автоматизированной обработки данных для задач контроля качества данных при использовании структурированных, слабоструктурированных и неструктурированных данных.

Важными на практике являются задачи проверки пространственных объектов на дублирование или корректность пространственных отношений, например вхождения точек наблюдений в объекты работ.

Инструменты автоматизированной обработки, заложенные в ИС ЕГИП, позволяют проводить обработку данных с использованием числовых и строчных значений, прямоугольных и географических координат, присвоенных им в проектных системах или извлеченных из исходных цифровых файлов. Если же данные были ранее загружены в географическую информационную систему, которая проиндексирована ИС ЕГИП, проверки могут проводиться посредством геозапросов. Зачастую метаданные, описывающие точку наблюдения и выявленную на ней впоследствии аномалию, не позволяют человеку, не принимавшему непосредственное участие в сборе или анализе данных, их соотнести. Единственным источником верификации в таком случае являются координаты. Выполнение геопоиска по всем точкам наблюдения в различных радиусах позволяет соотнести точки наблюдения и аномалии и выявить как ошибки, возникшие в результате пересчета координат, так и ошибки ручного ввода в мастер-системы и др.

```
https://egip.alrosa.ru/rest-server/data/kbox.json?q={"query":
{"classname":"kbox:WellLog",
"eq": [{ "kmeta:GT_LICENSE":"046" },
{ "kbox:Curves" : "DEPT" },
{ "kbox:Curves" : "GR" },
{ "kbox:Curves" : "RHOB" },
{ "kbox:Curves" : "NPHI" },
{ "kmeta:Format": "LAS" } ],
 "not":[{ "eq" :[{ "kmeta:QC":"INVALID_LAS" } ]} ]},
"loadProperties":["kmeta:FileName"]}
```

Запрос, возвращающий имена файлов каротажа в файловом хранилище по набору параметров заголовка и качества LAS файлов

В силу непрерывного пополнения данных в корпоративных системах проведения однократной проверки недостаточно. Проверки должны выполняться на постоянной ежедневной основе по регламентному расписанию, в рамках единого инструмента, автоматического контроля.

Общее число правил и соответствующих им проверок может достигать порядка сотен и более. Результатом таких проверок является маркировка записей, удовлетворяющих или, наоборот, не удовлетворяющих условиям проверки уникальными тегами («флагами) качества. Запись,

помеченная таким «флагом», может быть выявлена и исправлена администратором данных. Повторная проверка по всем изменившимся за интервал времени с предыдущей успешной проверки записям как назначает, так и снимает «флаги», если запись скорректирована и удовлетворяет условиям качества. Результаты каждой из проверок, такие как количество обработанных записей, количество выставленных или снятых «флагов» и т. д. должны сохраняться в системе для статистического анализа и представления информации администраторам данных в аналитических панелях.

Наличие «флагов» на всех прошедших или не прошедших проверку записях (а таких флагов на одной записи может быть много в соответствии с различными критериями проверки) позволяют администраторам данных производить выборки помеченных записей и корректировать их путем прямого администрирования данных в мастер-системах. С тем чтобы облегчить эту задачу, наиболее критичные «флаги» и статистика по ним визуализируются как в виде сохраненных поисковых и/или геозапросов, отображающихся на карте, так и в виде графических информационных панелей. Статистические показатели контроля качества могут быть использования для формирования ключевых показатели эффективности.

В АК «АЛРОСА» в рамках создания информационной системы «Единое геолого-информационное пространство» сформированы концептуальные подходы к построению правил контроля качества исторических данных, обеспечивающие выполнение необходимых процедур и методов инструментального контроля, визуализации и верификации результатов. Инструменты контроля качества развертываются в рамках третьей очереди проекта создания ИС ЕГИП и подлежат вводу в опытную эксплуатацию в 2023 г. На данный момент разработано более 100 проверок для тестирования качества данных. Количество проверок и их разнообразие будут расти в процессе опытной и промышленной эксплуатации ИС.

Анализ статистической информации по регулярно выполняемым проверкам позволит в будущем оптимизировать проверки и сделать их направленными на поиски наиболее критичных проблем качества данных.

Список литературы:

1. Гончаров Е. М., Ратьков С. С., Борисов В. В. ИС «Единое геоинформационное пространство» – технология комплексного анализа многомерных геоданных для решения геологоразведочных задач // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 56–57.
2. Борисов В. В., Ратьков С. С., Юсуфов Б. С. Интеграция геолого-геофизических данных в единое геоинформационное пространство // Труды конференции «Актуальные проблемы поисковой геологии». – М. : ВИМС, 2022.

Бровченко В. Д., Юдовская М. А., Радько В. А., Абрамова В. Д., Петренко Д. Б., Служеникин С. Ф.
ИГЕМ РАН, г. Москва

ОБРАЗОВАНИЕ БОГАТЫХ РОДИЕМ РУД НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА И ФОРМА НАХОЖДЕНИЯ В НИХ ЭПГ

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ, грант № 21-17-00119.

Приводятся результаты исследования богатых родием пирротиновых руд месторождений Норильск 2 и Талнахское. Родий, наряду с другими ЭПГ (Ir, Os, Ru), обогащает сульфиды и находится в собственных минеральных фазах. Главными концентраторами ЭПГ Ir-подгруппы и Rh являются пирротин и кобальтсодержащие разновидности пирита и пентландита. В работе делается вывод об образовании высокородиевых руд Норильского района в результате кристаллизации ранних фракционатов протосульфидных расплавов норильского типа.

Ключевые слова: элементы платиновой группы, родий, пирротиновые руды, норильский рудный район.

Родий – важный стратегический металл, добываемый попутно с другими ЭПГ преимущественно из сульфидных руд магматических Cu-Ni-ЭПГ месторождений. Основные мировые запасы родия сосредоточены в стратиформных и контактовых месторождениях комплекса Бушвельд (Риф Меренского, UG-2, Платриф), где главной формой нахождения Rh в рудах являются минералы платиновой группы (МПГ), такие как холлингвортит RhAsS, Rh-содержащие сперрилит (Pt,Rh)As_2 и ирарсит $IrAsS_2$, а также пентландит, который может содержать до 12,3 мас. % Rh [5]. В последнем случае Rh (а также Ir) образуют ориентированные в четырех направлениях ламели, гетерогенно обогащая зерна пентландита [5]. Норильские месторождения также являются важным источником Rh. Запасы Rh в норильских месторождениях в основном сосредоточены в существенно пирротиновых рудах нижнего экзоконтакта рудника Скалистый, где его содержания достигают 7,31 г/т, при сумме Ir+Ru+Rh до 12,25 г/т [6]. Накопление Rh в пирротиновых рудах согласуется с экспериментальными данными по высокой совместимости ЭПГ Ir-подгруппы и Rh с первой кристаллизующейся из сульфидного расплава фазой – Fe-Ni моносульфидным твердым раствором (MSS), который в последствии преобразуется в смесь моносульфидов железа [4]. Однако вопрос селективного суперобогащения родием отдельных участков рудных тел, а также форма нахождения родия в этих рудах, остаются нерешенными.

В рамках данной работы изучены различные проявления Rh руд Норильских месторождений. При исследованиях применялись локальные и валовые методы анализа. Содержания главных компонентов в рудах были получены методом РФА в ИГЕМ РАН, примесные элементы и ЭПГ определялись ИСП-МС с теллуровым соосаждением в ГИН РАН и методом ИСП-МС с предварительным NiS-концентрированием в лаборатории Intertek, Австралия. Состав сульфидов изучался с помощью метода рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) в ИГЕМ РАН, а содержание и особенности распределения ЭПГ и других элементов примесей в сульфидах были исследованы с помощью метода ЛА-ИСП-МС в ИГЕМ РАН. Идентификация МПГ проводилась на сканирующем электронном микроскопе Jeol-5610 с энергодисперсионной приставкой в ИГЕМ РАН.

Результаты исследования показывают, что самые богатые родием руды (сумма Rh+Ir+Ru+Os 16,61 мас. %) в зоне нижнего контакта интрузива Норильск 2 представляют собой существенно пирротиновые руды с содержанием пентландита < 5 мод. % и халькопирита 5–10 мод. %. Они содержат до 3,07 мас. % Ni и до 1,73 мас. % Cu при концентрациях ЭПГ до (ppm): 1,24 Pt, 5,88 Pd, 9,03 Rh, 5,83 Ru, 1,75 Ir, 1,6 Os. Пирротин в этих рудах гексагональный и содержит до 0,29 мас. % Ni, а также до (ppm): 24,2 Rh, 15,1 Ru, 1,65 Os и 2,66 Ir. Другим минералом концентратором ЭПГ в этих рудах является Co-содержащий пентландит (до 2,54 мас. % Co), который содержит до (ppm): 9,2 Rh, 21,6 Ru, 146 Pd, 2,52 Os и 3,91 Ir. Халькопирит также характеризуется повышенными содержаниями Ir (до 1,4 ppm) и Ru (до 5,2 ppm). Среди МПГ в образцах встречаются атокит и другие минералы системы Pd-Pt-Sn. Проявления собственной минерализации Rh, Ir, Os и Ru в образцах обнаружено не было.

Другим важным проявлением Rh минерализации являются руды залежи Северная-1 рудника Скалистый в зоне экзоконтакта Талнахского интрузива. Руды изучались в скважинах СФ13, СФ15, СФ19 и СФ20 с максимальной мощностью пересечения рудного тела до 3 м в скв. СФ20. Родиевые руды рудника Скалистый отличаются от пирротиновых руд Норильска 2 высокими пропорциями халькопирита (~ до 30 мод. %) и пентландита (в среднем 5–7 мод. %). Содержания меди до 6,54 мас. % не коррелируют с Ni, концентрации которого не превышают 4,80 и в целом увеличиваются вниз по разрезу руд в скважинах. Пирротин представлен своей гексагональной разновидностью с содержаниями Ni до 0,59 мас. % и встречается в двух генерациях; в первой проявлены пламеневидные вростки пентландита 2. Пирротин из руд рудника Скалистый содержит до (ppm): 24 Rh, 13 Ru и 2,6 Ir, Содержание кобальта в пентландите первой генерации, который образует каймы на контакте между пирротином и халькопиритом, достигает 1,65 мас. %. Также пентландит характеризуется повышенными содержаниями ЭПГ до (ppm): 16,6 Rh, 57 Ru, 613 Pd и 9,3 Ir. Содержания Pd в пентландите прямо коррелируют с содержаниями других ЭПГ.

Еще одним минералом концентратором ЭПГ в родиевых рудах оказался пирит, содержащий до 2,48 мас. % Co. Содержания ЭПГ в таком обогащенном кобальтом пирите достигают (ppm): 43,6 Ru, 82,3 Rh, 3,1 Os, 7 Ir и 120 Pt, при том что все измеренные значения Pd в пирите меньше предела обнаружения, составляющего десятки мг/т. По результатам ЛА-ИСП-МС картирования, пирит характеризуется зональным распределением ЭПГ и кобальта, содержание которого прямо коррелирует с примесями ЭПГ. Разные ЭПГ обогащают разные зоны в пирите. Родий, Ir, Ru и Os коррелируют друг с другом и обогащают центральные части зерен пирита, тогда как Pt образует четкую зону обогащения размером ~ 50 мкм, расположенную ближе к пентландит-пирротиновым срастаниям, хотя обогащает и центральные части зерен пирита. В образцах также были обнаружены редкие сульфоарсениды ЭПГ размером не более 1 мкм, содержащие ЭПГ Ir-подгруппы и Rh, лаурит (RuS_2) размером 1–2 мкм, а также сперрилит ($PtAs_2$) с примесями Ir, Os и Ru размером 2–3 мкм. В образцах СФ20-918,5 и СФ19-852,7 распространены эвгедральные зерна куперита (PtS) размером до 10 мкм.

Согласно результатам валового анализа образцов Rh руд, они характеризуются пониженными Cu / Ni отношением (< 2, в среднем 1) и Pd / Rh отношением (в среднем 3–4). Спектр распределения рудных элементов в Rh рудах значительно отличается от спектров всех известных типов руд Норильских месторождений ([6], и наши данные). Содержания ЭПГ Ir-подгруппы и Rh в обогащенных родием рудах прямо коррелируют с Ni, что согласуется с экспериментальными данными по увеличению коэффициентов распределения ЭПГ в MSS с ростом содержания в нем Ni [4]. Для скважин СФ20, образцы которой показывают наибольшее обогащение родием, СФ19 и Норильска 2 наблюдается обратная корреляция содержаний Pd и Rh + ЭПГ Ir-подгруппы. Несмотря на наибольшую распространенность сульфоарсенидов ЭПГ среди МПГ, в валовых пробах наблюдаются слабые обратные корреляции суммы элементов группы TABS (Te, As, Bi, Sb, Sn) с ЭПГ, что косвенно указывает на доминирование твердых растворов как основной формы проявления этих ЭПГ. Для валовых проб установлены прямые корреляции Rh, Ir, Os и Ru с кобальтом в соответствии с наблюдаемым обогащением кобальтом Rh-содержащих пирита и пентландита.

Вопрос формы вхождения ЭПГ в сульфиды до сих пор является предметом дискуссий. В случае концентрирования ЭПГ в сульфидных расплавах в виде нановключений МПГ или кластерах, поведение ЭПГ будет зависеть от содержаний комплексообразующих элементов и окислительно-восстановительных условий, отличающихся для разных ЭПГ [2]. Предполагается, что кластеры Ir, Os, Ru и Rh чаще представлены метал-метал, метал-S и метал-AsS комплексами, тогда как Pt и Pd образуют комплексы с такими элементами как As, Te, Bi и Sb [2]. Все минералы Rh, Ir, Ru и Os, обнаруженные в образцах высокородиевых руд, представляют собой соединения с мышьяком и серой, что согласуется с наблюдениями предыдущих исследователей [6], однако общие корреляции этих ЭПГ с кобальтом и никелем, а также отсутствие видимых резких пиков ЭПГ на ЛА-ИСП-МС спектрах сульфидов свидетельствуют в пользу доминирования формы твердых растворов этих ЭПГ в сульфидах.

Во втором случае, когда ЭПГ образуют твердые растворы в сульфидах, их распределение контролируется кристаллохимическими особенностями вмещающего минерала и возможностью изоморфного или неупорядоченного вхождения элементов примесей в его решетку. Известно, что кобальтин и пирит имеют схожую структуру и одинаковое количество валентных электронов в ней, что, наряду со схожими ионными радиусами кобальта и железа, определяет широкий изоморфизм этих элементов в данном структурном типе минералов. Схожие с кобальтином структурные параметры имеют сульфоарсениды Rh и ЭПГ Ir-подгруппы, что также обусловливает широкий изоморфизм их компонентов и благоприятное изоморфное вхождение этих элементов в структуру пирита [1]. Подобие ионных радиусов двухвалентных никеля и палладия предопределяет их изоморфизм, широко развитый в природных минералах, в том числе и в пентландите. Таким образом, кристаллохимические факторы определяют накопление и фракционирование ЭПГ в отдельных минералах, однако не контролируют валовое накопление Rh и ЭПГ Ir-подгруппы в этих рудах в специфических частях рудных тел.

Первичной причиной могут быть особенности фракционной кристаллизации сульфидной жидкости. В общем случаем, при фракционной кристаллизации происходит последовательное

образование сначала богатого Fe и Ni MSS при ~ 1000 °C, а затем, при ~ 700 °C, богатого Cu промежуточного твердого раствора (ISS), который при солидусных температурах (< 500 °C) преобразуется в основном в сульфиды меди [3]. Родий и тяжелые платиноиды фракционируют в MSS, их коэффициенты распределения между MSS и расплавом > 1, тогда как Pt и Pd с коэффициентами распределения < 0,2 накапливаются в остаточном сульфидном расплаве [4].

По результатам исследования предлагается два разных механизма образования Rh руд Норильских месторождений. Первый вариант образования Rh руд возможен при кристаллизации кумулатов богатого никелем, Rh и ЭПГ Ir-подгруппы MSS в ходе процесса фракционной кристаллизации сульфидного расплава при отжиме и миграции остаточного сульфидного расплава из межзернового пространства. При этом повторное обогащение ЭПГ происходит в результате последующего переуравновешивания ранее закристаллизованных кумулатов и новых порций сульфидного расплава. Во втором случае, Rh руды представляют собой самые первые фракционаты протосульфидных расплавов Норильских месторождений. Тогда образование не обогащенных ЭПГ пирротиновых руд, более распространенных среди норильских руд, чем родиевых, могло происходить на второй стадии фракционной кристаллизации, когда сульфидный расплав выкристаллизовал богатые Rh кумулаты, но еще не успел накопить Pd и Pt.

Список литературы:

1. Barkov A. Y., Halkoano T. A., Laajoki K. V., Alapieti T. T., Peura R. A. Ruthenian pyrite and nickeloan malanite from the Imandra layered complex, northwestern Russia // The Canadian Mineralogist. – 1997. – V. 35. – P. 887–897.
2. Helmy H. M., Ballhaus C., Fonseca R. O., Leitzke F. P. Concentrations of Pt, Pd, S, As, Se and Te in silicate melts at sulfide, arsenide, selenide and telluride saturation: Evidence of PGE complexing in silicate melts? // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2020. – V. 175. – P. 1–14.
3. Helmy H. M. Botcharnikov R., Ballhaus C., Deutsch-Zemlitskaya A., Wirth R. [et al.]. Evolution of magmatic sulfide liquids: how and when base metal sulfides crystallize? // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2021. – V. 176. – P. 1–15.
4. Junge M., Wirth R., Oberthür T., Melcher F., Schreiber A. Mineralogical siting of platinum-group elements in pentlandite from the Bushveld Complex, South Africa // Mineralium Deposita. – 2015. – V. 50. – P. 41–54.
5. Liu Y., Brenan J. Partitioning of platinum-group elements (PGE) and chalcogens (Se, Te, As, Sb, Bi) between monosulfide-solid solution (MSS), intermediate solid solution (ISS) and sulfide liquid at controlled fO_2–fS_2 conditions // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2015. – V. 159. – P. 139–161.
6. Tolstykh N., Brovchenko V., Rad'ko V., Shapovalova M., Abramova V., Garcia J. Rh, Ir, and Ru Partitioning in the Cu-Poor IPGE Massive Ores, Talnakh Intrusion, Skalisty Mine, Russia // Minerals. – 2022. – V. 12,6, №. 1. – P. 18.

Бужинская Е. В., Селиванов П. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТОСУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ШИЛГОН (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Рассматривается эффективность некоторых методов при поисках золотосульфидного оруденения по опыту собственных полевых работ на участке Шилгон (Республика Саха (Якутия)).

Ключевые слова: методы поиска, эффективность, золотосульфидное оруденение, минерализованные зоны дробления, шлиховое опробование, штуфное опробование.

При проведении полевых работ на участке Шилгон в 2021–2022 гг. использовались различные методы поисков. На эффективности некоторых из них необходимо остановиться отдельно.

Шлихоминералогический метод. Сотрудниками ФГБУ «ЦНИГРИ» были отобраны, промыты и просмотрены под бинокулярным микроскопом 84 пробы, из них 50 шлиховых проб

и 34 минералогические пробы (протолочки). Шлиховые пробы отбирались из аллювиальных, делювиальных, элювиальных и коренных отложений, пробы-протолочки – из делювиальных, элювиальных, коренных отложений, а также из отвалов старых канав. По результатам минералогического анализа золото обнаружено только в 3 пробах-протолочках (от 1 до 4 знаков), отобранных из коренных отложений. Ни в одной шлиховой пробе золото не зафиксировано (рис. 1). Пробы-протолочки, показавшие знаки золота, были отобраны на известных рудопроявлениях из коренных пород: две из зон дробления терригенных пород (Шилгон, Крутое), одна – из кварцевой жилы и околожильного пространства (Шилгон), то есть все три пробы отобраны из потенциально рудоносных минерализованных зон.

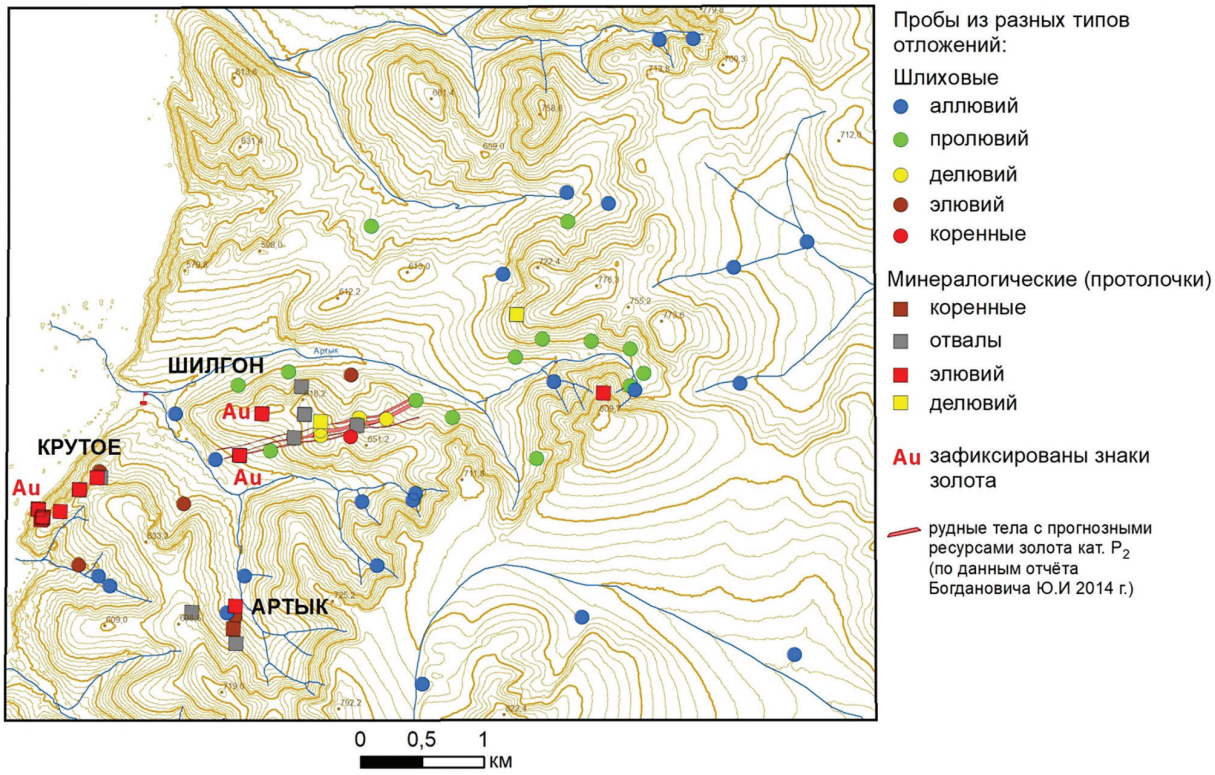


Рис. 1. Точки отбора шлиховых проб и проб-протолочек

Одна из проб (Крутое) отобрана из обнажения коренных пород, вскрытого в результате прокладывания бульдозерной дороги, вторая (Шилгон) – из канавы (АО «Якутсгеология», 2022 г.), третья (Шилгон) – из шурфа (ФГБУ «ЦНИГРИ»). Обнаружение золота в пробе, отобранной из канавы, не имеет поискового значения, хотя проба может быть полезна для изучения минерального состава оруденения. Прокладка бульдозерных дорог обычно осуществляется там, где запланированы горно-буровые работы для прослеживания уже выявленных рудных зон, соответственно, обнаружение золота в пробе, отобранной из бульдозерного обнажения, позволяет уточнить простирание уже известных рудных зон. Естественных же обнажений на площади участка крайне мало ввиду его сильной задернованности. Таким образом, опробование обнажений коренных пород на площади участка имеет весьма ограниченное применение. Место для шурфа, в пробе из которого зафиксированы знаки золота, выбрано на водоразделе на известном рудопроявлении по нескольким критериям: наличие пространственно сопряженных аномалий по вторичным ореолам Au и As, наличие разлома по результатам дешифрирования КФС, многочисленные элювиальные обломки кварца и локальная линейная западина, наблюдаемые на местности. Из этого следует, что поиски таким способом имеют серьезные ограничения: возможны только в пределах площадей, охваченных опробованием по вторичным ореолам с достаточной обнаженностью и на водоразделах, т.к. даже на водоразделе коренные породы были вскрыты на глубине 0,75–1,0 м. На склонах же мощность делювия не позволит вскрыть коренные отложения шурфом. Также следует отметить весьма высокие трудовые и временные затраты при примене-

ние такого способа. Кроме того, необходимо обратить внимание на то, что была отобрана и подвергнута минералогическому анализу 21 проба из потенциально рудоносных минерализованных зон в коренных отложениях, из них только в 3 пробах зафиксированы знаки золота. Помимо этого, пробирный анализ на золото того же материала, что был отобран в 4 пробы-протолочки, в которых минералогическим анализом не выявлено знаков золота, показывает его повышенные содержания. Такой результат не вызывает удивления, учитывая тот факт, что оруденение участка относится к золотосульфидному типу и золото в основном содержится в пирите и арсенопирите [1]. Бытует мнение, что наиболее конкретным и точным поисковым признаком для всех типов золоторудных месторождений является распространенность свободного золота в рыхлых отложениях. Поэтому даже для районов развития месторождений с дисперсным или химически связанным золотом шлиховой метод остается в силе, так как даже в таких месторождениях или в их окисленных зонах почти всегда встречается самородное золото. Однако практический опыт использования шлихоминералогического метода на участке Шилгон показывает его неэффективность для золотосульфидных объектов. При данном типе оруденения, вероятно, целесообразнее использовать при поисках вместо шлихоминералогического шлихогеохимический метод, который был апробирован и описан В. Ф. Гуреевым в 1970 г. [2]. Следует признать существенный недостаток шлихогеохимического метода по сравнению со шлихоминералогическим – отсутствие экспрессности. Однако использование шлихогеохимического метода не исключает использование шлихоминералогического, а может быть проведено совместно без увеличения трудовых затрат исполнителей в поле.

Штуфное опробование элювиальных и делювиальных отложений. Сотрудниками ФГБУ «ЦНИГРИ» были отобраны 133 штуфные пробы. 38 проб отобраны из коренных отложений, 5 проб – из отвалов старых канав, остальные (86 проб) – из элювиальных и делювиальных отложений. Поиски по коренным выходам, как было сказано выше, сильно ограничены ввиду высокой задернованности участка. Из 86 проб, отобранных из элювиальных и делювиальных отложений, только в пяти пробирным анализом зафиксированы повышенные содержания Au (рис. 2). Из них 2 пробы отобраны на рудопроявлении Шилгон, 2 пробы – на рудопроявлении Артык, 1 проба – в 500 м западнее рудопроявления Артык. Пробы представлены кварцевой брекчией, кварцем, песчаниками с кварцевыми прожилками. Следует учесть, штуфные пробы

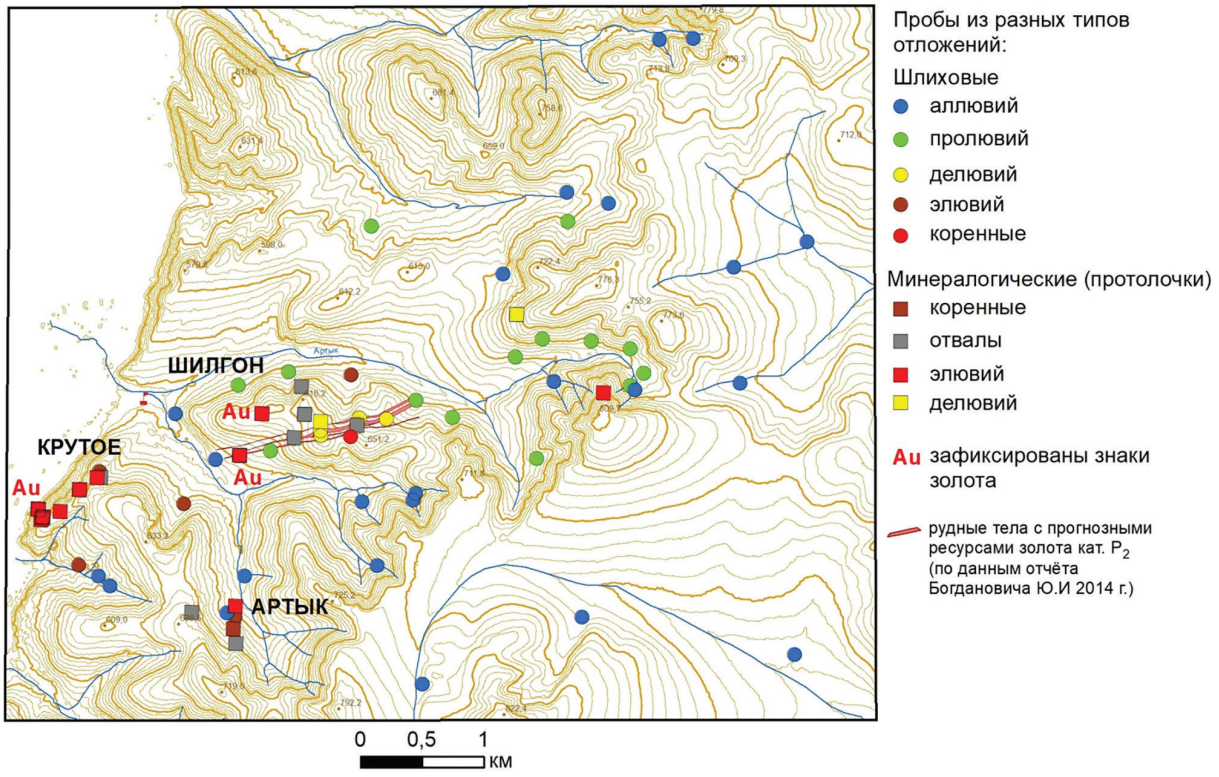


Рис. 2. Точки отбора штуфных проб

отбирались не повсеместно, а в точках наблюдения, где были встречены какие-либо признаки оруденения: жильный кварц, кварцево-прожилкованные породы, брекчии, сульфидная минерализация, а также то, что 4 из 5 проб, показавших повышенные содержания Au, отобраны на известных рудопроявлениях. При всем перечисленном результативность штуфного опробования элювиально-делювиальных отложений можно считать низкой. Рудные тела на участке представлены зонами дробления и кварцевого прожилкования терригенных пород. Зоны дробления представляют собой мелкообломочный материал (обломки обычно не более 3–5 см, часто миллиметры) и глинистый материал в различных процентных соотношениях (часто глинистый материал преобладает, иногда достигая 70 %). В штуфные пробы обычно отбираются элювиальные и делювиальные обломки пород размером 5–20 см. При образовании элювиально-делювиальных отложений коренные породы претерпевают воздействие различных процессов, ведущих к их разрушению. Зафиксировано, что материал зон кварцевого прожилкования как более-менее прочный сохраняется в относительно крупных обломках. Это подтверждается тем, что все 5 проб из элювиально-делювиальных отложений, показавшие повышенные содержания золота, состоят, как было сказано выше, из кварцевой брекчии, кварца, песчаников с кварцевыми прожилками. Материал зон дробления изначально мелкий и хрупкий (зачастую образец рассыпается в руке) при процессах формирования элювиально-делювиальных отложений измельчается еще сильнее. В итоге при пробоотборе в пробы попадает материал зон кварцевого прожилкования, а материал зон дробления, даже если он есть в точке наблюдения, не попадает. Таким образом, на наш взгляд, для обнаружения зон дробления необходимо при проведении опробования элювиально-делювиальных отложений отбирать в пробы материал более мелкой размерности: мелкие (до 3–5 см) обломки, песчанисто-глинистый материал.

Минералогический анализ шлихов был выполнен в 2021 г. – Алферовой В. А. (ОБМ ФГБУ «ЦНИГРИ»), в 2022 г. – Бычковой Е. С. (Лаборатория прикладной минералогии и петрографии ОБМ ФГБУ «ЦНИГРИ»). Пробирный анализ на Au штуфных проб был выполнен в лабораториях АО «Якутскгеологии».

Список литературы:

1. Алферова В. А., Селиванов П. В., Бондаренко Н. В., Бужинская Е. В., Ковальчук Е. В. Зональность пиритов золоторудного проявления Шилгон // XI Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2022. – С. 4–5.
2. Гуреев В. Ф. Минералого-геохимическая шлиховая методика поисков золоторудных месторождений // Известия Томского политехнического института. – 1970. – Т. 239. Вопросы геологии месторождений золота. – С. 411–415.

Вахрушев А. М., Уварова Е. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ФГБУ «ЦНИГРИ»

ФГБУ «ЦНИГРИ» является ведущей организацией в части развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы алмазов, благородных и цветных металлов. Для систематизации и быстрого доступа к геологической информации различных форматов, находящейся в разных подразделениях института, функционирует Единый банк геологической информации ФГБУ «ЦНИГРИ», служащий примером организации цифрового пространства в подведомственных организациях. Однако на пути к успешной цифровой трансформации в отраслевых организациях и отрасли в целом возникают определенные трудности: критическое состояние обеспечения отраслевых организаций программными продуктами; недостаточная цифровая зрелость в области накопления и обработки данных геологической отрасли; недостаток высококвалифицированных специалистов; отсутствие единой концепции развития и недостаточное вза-

имодействие подведомственных организаций. Вариантами решения этих проблем являются: использование свободных бесплатных информационных систем с открытым кодом (QGIS); создание обособленного отраслевого «озера данных»; применение искусственного интеллекта и машинного обучения; привлечение высококвалифицированных специалистов в области IT-разработки; выделение целевых денежных средств для развития в области информационных технологий; создание единой концепции развития; системное взаимодействие подведомственных организаций: обмен существующими наработками, внедрение единых программных решений, совместные проекты.

Ключевые слова: цифровая трансформация, геологическая информация, информационные системы с открытым кодом, QGIS, «озера данных», искусственный интеллект, машинное обучение, программные решения.

ФГБУ «ЦНИГРИ» является ведущей организацией в части развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы алмазов, благородных и цветных металлов. При этом золото, платиноиды, медь и алмазы являются наиболее ликвидными видами полезных ископаемых.

В структуру Института входят четыре научных отделения с 16 отделами в их составе; научная библиотека, включающая фонд геологической информации. В каждом подразделении имеются геологические материалы прошлых наработок и текущих работ. Кроме того, ФГБУ «ЦНИГРИ» активно использует информационные ресурсы других предприятий и ведомств.

Для эффективного и оперативного решения поставленных задач необходим системный и быстрый доступ к геологической информации различных форматов, находящейся в разных подразделениях института. Кроме того, для создания единого информационного пространства Федерального агентства по недропользованию и его подведомственных учреждений необходима прежде всего систематизация материалов внутри самих учреждений. По причине того, что общеотраслевого программного решения для такой систематизации нет, для учета, накопления, безопасного хранения и предоставления сотрудникам ФГБУ «ЦНИГРИ» геологической информации функционирует Единый банк геологической информации ФГБУ «ЦНИГРИ» (ЕБГИ).

ЕБГИ представляет собой Web-приложение, содержащее реестры материалов, позволяющие осуществлять поиск, получать краткие сведения об объектах учета; карты, отображающие контуры геологических объектов и позволяющие осуществлять поиск материалов по объектам и местоположению (рис. 1). В ЕБГИ содержатся разделы: Открытые данные, Фондовые материалы, Материалы апробации прогнозных ресурсов, Материалы ГРР.

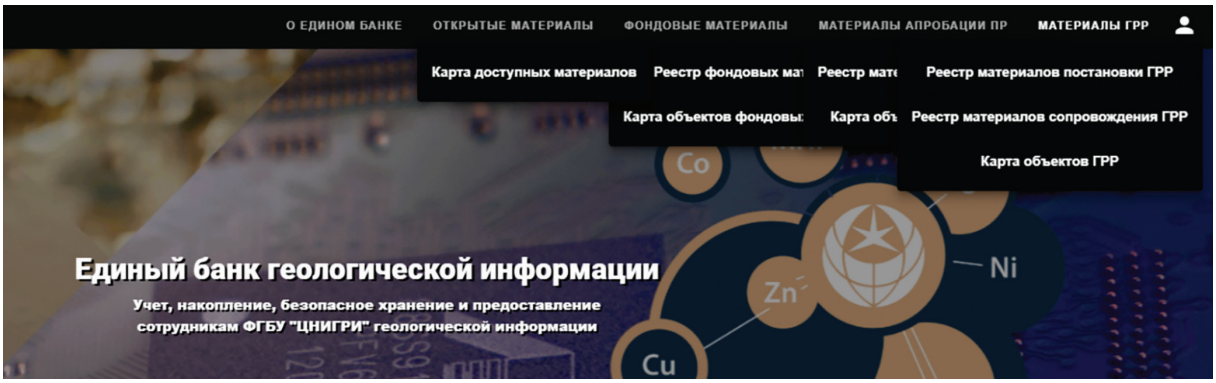


Рис. 1. Web-приложение ЕБГИ ФГБУ «ЦНИГРИ»

Из открытых материалов сотрудники института могут свободно скачивать векторные данные топоосновы, а также растры госгеолкарты. Поиск открытых материалов осуществляется через карту, на которой можно включать и отключать слои. Для скачивания необходимо нажать на интересующий объект и перейти по ссылке «перейти к материалам».

В реестрах разделов фондов, апробации и ГРР представлена метаинформация, содержащая директорию хранения, название объекта, авторов, год составления, инвентарные номера,

полезные ископаемые, ключевые слова и др. (рис. 2). В реестрах настроен поиск: по ключевым словам, переход на карту к местоположению объекта (объектов), переход к материалам.

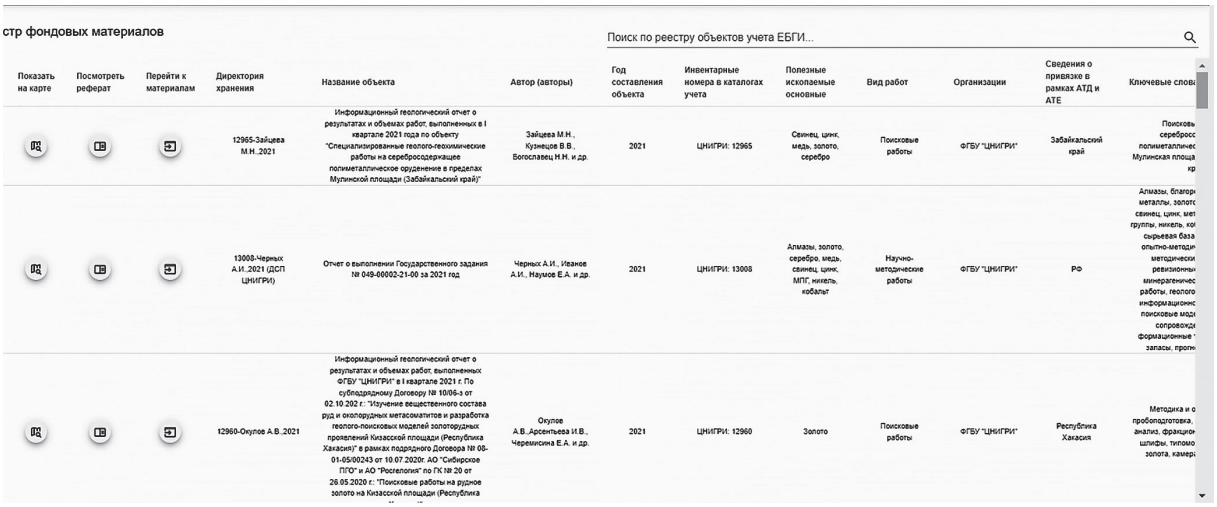


Рис. 2. Реестр ЕБГИ

Для каждого раздела построены карты, отображающие геологические объекты (рис. 3). С их помощью возможен поиск материалов по местоположению. Представлены слои ГГК, границ субъектов, границ АЗРФ, ООПТ, дороги и др. С карты предусмотрен переход в реестр и к папке с материалами. Для объектов с апробированными прогнозными ресурсами также дана краткая информация о категории ресурсов и полезных ископаемых.

Приложение разработано специалистами отдела ГИС на основе открытых технологий (Node.js, Vue.js, Vuetify, Leaflet, PostgreSQL, MongoDB, GeoServer, Express, Ubuntu). Доступ к данным осуществляется через облачный сервис Nextcloud, в котором для каждого сотрудника создан личный кабинет.

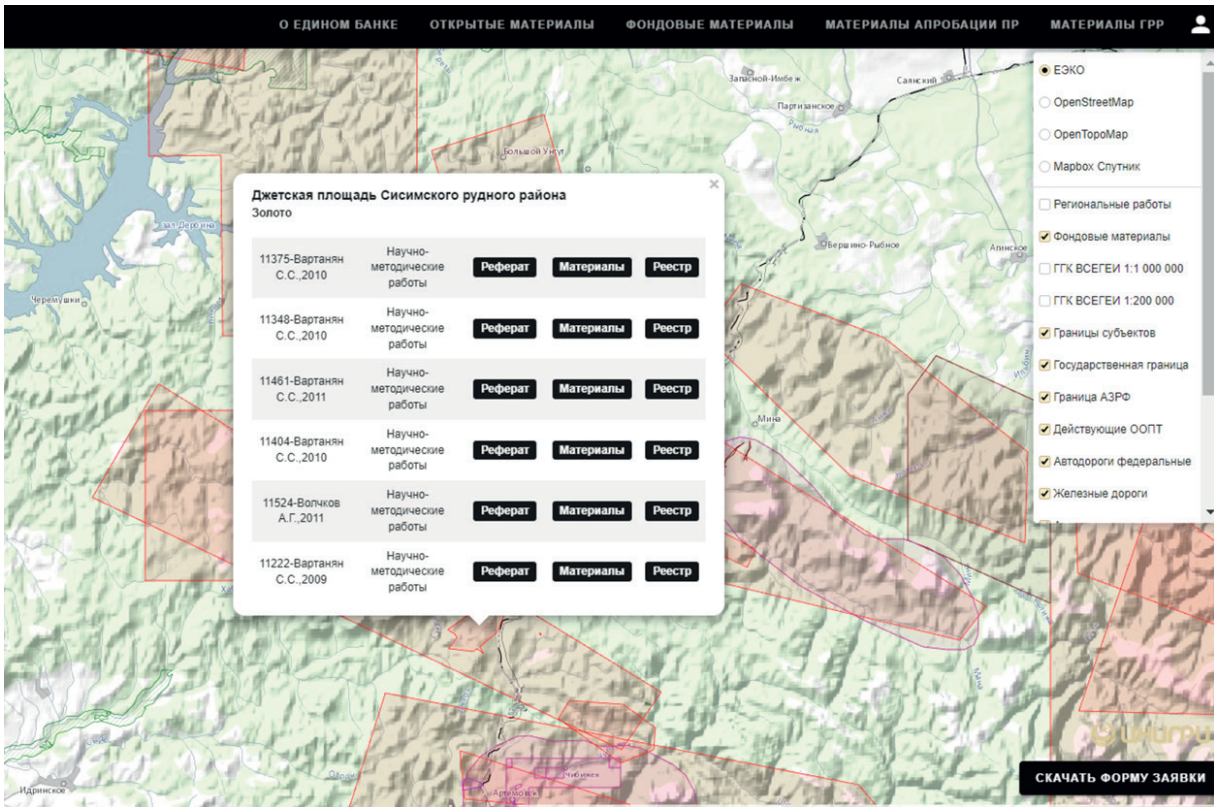


Рис. 3. Карта ЕБГИ

ЕБГИ постоянно наполняется и развивается. Находятся в разработке: 1) Личный кабинет, с помощью которого будет возможно: автоматически формировать заявки из корзины, передавать заявки на согласование по электронной почте, сохранять истории заявок и поиска, переход в раздел Nexcloud с материалами, к которым открыт доступ; 2) Чат с администраторами ЕБГИ (по работе приложения, по доступу к информации (получению); 3) Блок результатов ГРР, который содержит наглядную карту, содержащую: объекты ГРР (завершенные, текущие, планируемые); объекты с апробированными прогнозными ресурсами в результате ГРР; защитные площади; ООПТ, а также аналитическая составляющая, описывающая историю и связи объектов. Дальнейшее развитие ЕБГИ предусматривает: 1) Добавление в ЕБГИ реестра научной литературы библиотеки; 2) Разработку единой формы заявки на пользование всеми материалами и упрощенной процедуры согласования; 3) Разработка кластеров информационного пространства для отделов (работа в сети картами, документами, полевыми материалами и т. д.); 4) Переход на электронный документооборот.

Таким образом, возможно создание единого универсального информационного пространства для отдельной организации, с помощью которого достигается актуальная задача сбора и систематизации данных.

Однако на пути к успешному созданию единого информационного пространства и решения других задач в отраслевых организациях возникают определенные трудности: критическое состояние обеспечения отраслевых организаций программными продуктами; недостаточная цифровая зрелость в области накопления и обработки данных геологической отрасли; проблема привлечения высококвалифицированных специалистов в области IT-разработки; отсутствие единой концепции развития и недостаточное взаимодействие подведомственных организаций.

Наряду с безоговорочным переходом на отечественное программное обеспечение достаточно перспективно использование свободного ПО с открытым кодом. В области геоинформационных систем наиболее зрелым, функциональным и схожим по концепции работы с пространственными данными в сравнении с используемыми в отрасли продуктами ESRI (ArcGis for Desktop) является QGIS — свободная бесплатная географическая информационная система с открытым кодом. Данное ПО входит в Единый реестр российских программ для ЭВМ и БД, но является не оригинальной, а изменённой версией с расширенным функционалом, основанной на кодовой базе QGIS 2.18.28-Las Palmas.

Для успешного развития «цифровой зрелости» в области накопления и обработки данных геологической отрасли возможны создание обособленного отраслевого «озера данных», применение искусственного интеллекта и машинного обучения, решение аналитических задач на основе data driven подхода, что соответствует современным мировым тенденциям. Концепция «озер данных» образно подразумевает «приток» данных (материалов) в «озеро» в том виде, в каком они сформировались, без анализа и структурирования, формирования схем данных, в отличие от классических реляционных подходов. В итоге при работе с data lakes пользователи должны понимать, какие конкретные типы данных и источники им нужны, сколько данных им нужно и когда им это нужно. Также специалисты должны уметь пользоваться методами аналитики, которые применимы к этим данным. Некоторые из этих нюансов, скорее всего, можно решить применением алгоритмов искусственного интеллекта. Отметим, что в современной концепции know you data («знай свои данные») от специалиста требуется не только отличное умение работать с данными, но и понимание их сути, а для этого должны иметься обширные знания о предметной области, опыт. Применять ИИ также надо с осторожностью, так как в научных кругах имеется мнение, что его современное состояние больше соответствует «искусственному инстинкту». Создание такого рода информационных систем ведется давно, но в основном не в сфере, связанной с геологией.

То же самое можно отметить и для современных систем управления базами данных – постепенный, но уже заметный переход от классической реляционной модели (условно с доступом к данным средствами языка SQL) к NoSQL базам данных различных типов (документоориентированных, графовых, ключ-значение и т. п.). Как отмечается, многие NoSQL продукты появлялись для замены SQL с его консервативными подходами. В то же время появляются новые

инструменты, позволяющие преодолеть недостатки «классического» SQL для обеспечения современных потребностей аналитиков и инженеров данных, например dbt.

Кроме того, одним из ключевых моментов является проблема привлечения высококвалифицированных специалистов в области IT-разработки, а также выделение целевых денежных вливаний для подведомственных учреждений на развитие в области информационных технологий.

Отсутствие единой концепции развития информационного пространства отрасли привело к тому, что каждая подведомственная организация своими силами разрабатывает и развивает программные решения. Для достижения функциональной и эффективной информационной среды необходимо объединение усилий: создание единой концепции развития; системное взаимодействие подведомственных организаций – обмен существующими наработками, внедрение единых программных решений, совместные проекты.

Викентьев И. В.[1], **Блоков В. И.**[1,2], **Криночкин Л. А.**[2]
[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] ИМГРЭ, г. Москва

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ВОРОНЦОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ НА СЕВЕРНОМ УРАЛЕ

Месторождения золота, меди и железа Турьинско-Ауэрбаховского рудного района контролируются разломными зонами северо-западного простирания. Установлено влияние региональных факторов (включая тектонический, магматический, геохимический), благоприятствующих образованию крупного Au-As-Sb-Hg-Tl Воронцовского месторождения, которое локализовано в существенно карбонатном разрезе. В пределах этого месторождения выявлены сближенные пучки девонских дорудных и каменноугольных пострудных базитовых даек. Изотопные составы свинца магматических пород и руд образуют на Pb-Pb диаграммах единый тренд, что отражает отдаленную генетическую связь оруденения с глубинными магмами. Обоснован вывод о преобладающем магматическом вкладе в образование рудных ассоциаций месторождения.

Ключевые слова: Урал, золоторудные месторождения, тип Карлин, природа гидротермальных растворов, магматический флюид.

Воронцовское месторождение находится в восточной части Тагильской мегазоны и принадлежит к крупному Турьинско-Ауэрбаховскому магматическому ареалу, проявленному в виде вулканических полей (O_3–D_2ef) и множества интрузивных и субвулканических тел (от S_2 до C_1). Турьинско-Ауэрбаховскому рудному району отвечает одноименная вулкано-тектоническая депрессия – грабен-синклиналь с пологим падением крыльев к центру структуры (рис. 1). Она выполнена вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами краснотурьинской свиты (мощность до 5 км). Наиболее продуктивной частью геологического разреза является нарушенная надвигом зона контакта вулканогенно-осадочной толщи и подстилающих брекчиевидных известняков. Здесь в метасоматически измененных зонах дробления и смятия по вулканогенно-осадочным породам и известнякам образовались основные золоторудные тела сложной морфологии.

Первичные геохимические ореолы Воронцовского месторождения имеют поликомпонентный состав и вместе с рудами образуют мощную рудно-ореольную зону, приуроченную к контакту вулканогенно-осадочной и карбонатной толщ. Она прослеживается в субмеридиональном направлении на 2,7 км при ширине в плане до 600 м. Основными ореолообразующими элементами являются Au, Ag, As, Hg, Sb, Pb, Zn, Cd, Cu, Ba, Mn, Tl, часть из них приведена на рис. 2. Анализ распределения элементов в рудно-ореольной зоне показал следующую вертикальную зональность геохимического поля: в висячем боку золоторудной залежи (фронтальная зона) накапливаются As, Zn, Hg, Pb, Ag, (Cu), в осевой зоне – Sb, Hg, Tl, As, в подрудной (лежачем боку) – Zn, Cd, Cu, Pb, Ag, Bi.

Для нижних, подрудных, частей этой зоны характерно развитие в известняках на контакте с дайками золотосодержащей полиметаллической ассоциации с низкими содержаниями Sb,

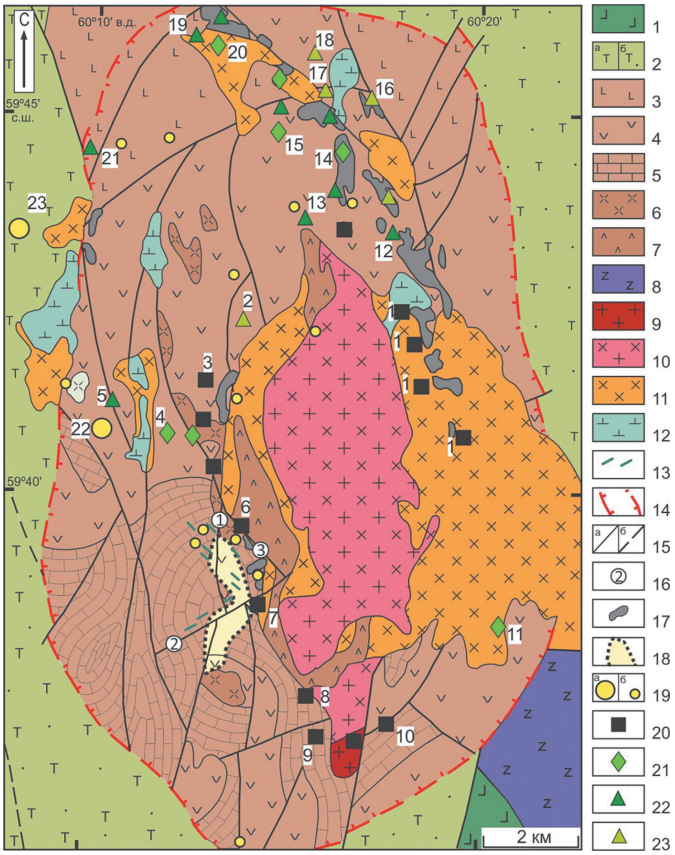


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Турьинско-Ауэрбаховского рудного района. Использованы фондовые материалы Н. С. Лисова (1978) и В. Н. Боброва (1991):

1 – базальты (красноуральская свита O_3–S_1kr); 2 – вулканогенные образования трахибазальт-трахиандезитовой формации: а – лавы; б – туфопесчаники, туфоалевролиты (туринская свита S_2–D_1tr); 3–5 – краснотурьинская свита D_1kt: 3 – порфириты базальтовые, их туфы, вулканомиктовые гравелиты, 4 – андезиты, их туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты, 5 – известняки; 6–7 – субвулканические образования: 6 – диоритовые порфириты, 7 – андезибазальтовые и базальтовые порфириты; 8–13 – интрузивные образования: 8 – ультрамафиты серовского комплекса (O_2sr), 9–12 – интрузивные образования габбро-диорит-гранитовой формации, ауэрбаховский комплекс (D_1a): 9 – граниты, аляскитовые граниты, 10 – гранодиориты, 11 – диориты, кварцевые диориты, 12 – габбро, габбродиориты, 13 – внемасштабные дайки диоритов, лампрофиров и габбро; 14 – разломы, ограничивающие вулканотектоническую структуру; 15 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые, 16 – наименования рудоконтролирующих разломов района Воронцовского месторождения: 1 – Воронцовский, 2 – Южно-Воронцовский, 3 – Северо-Воронцовский; 17 – участки скарнирования; 18 – контур Воронцовского золоторудного месторождения; 19–23 – месторождения и рудопроявления: 19 – месторождения (а) и рудопроявления (б) золото-сульфидно-кварцевой формации, 20 – магнетит-скарновые месторождения, 21 – то же, с наложенной пирротиновой и пирит-халькопиритовой минерализацией, 22 – медно-скарновые месторождения с пирит-халькопиритовыми рудами, 23 – то же, с эпидозитами.

Месторождения и проявления: 1 – Ауэрбаховская группа месторождений, 2 – Ново-Песчанское, 3 – Северо- и Южно-Песчанские, 4 – Западно-Песчанское, 5 – Полуденское, 6 – Северо-Воронцовское и Воронцовское, 7 – Южно-Воронцовское, 8 – Гаревское, 9 – Владыкинское, 10 – Каквинское, 11 – «34 Квартал», 12 – Троицко-Михайловское, 13 – Богословское и Башмаковское, 14 – Вадимо-Александровское, 15 – Никитинское, 16 – Успенское, 17 – Фроловское, 18 – Суворовское, 19 – Васильевское, 20 – Суходойское, 21 – Псаревское, 22 – Пещерное, 23 – Горнячка

Hg и As. Сравнение частей рудно-ореольной зоны показывает, что в восточной области (ближе к Ауэрбаховскому массиву гранитоидов) наибольшее относительное накопление имеют Ag, Zn, Pb, Mn, Y, Mo, W, в центральной – Au, Cd, Bi, Tl, Cu, а в западной – Sb, Ba, As, Hg, Co, Ni, Sn.

Известняки и туффиты эмса пересечены на Воронцовском месторождении роями мафитовых даек, по мнению В. Н. Сазонова, дорудными по отношению к золото-мышьяковому оруденению. Согласно геохимическим данным, точки составов пород даек попадают в поля островодужных, рифтогенных или внутриплитных образований. Подобное смешанное сочетание геохимических характеристик могут иметь рифтогенные породы, образовавшиеся при плавлении деплетированных в надсубдукционной обстановке ультрабазитов мантийного клина. Результаты измерений ориентировок даек, геохимические характеристики даек позволяют полагать, что их формирование происходило в обстановке взаимодействия поднимающегося астеносферного вещества со структурно-вещественными комплексами активной континентальной окраины,

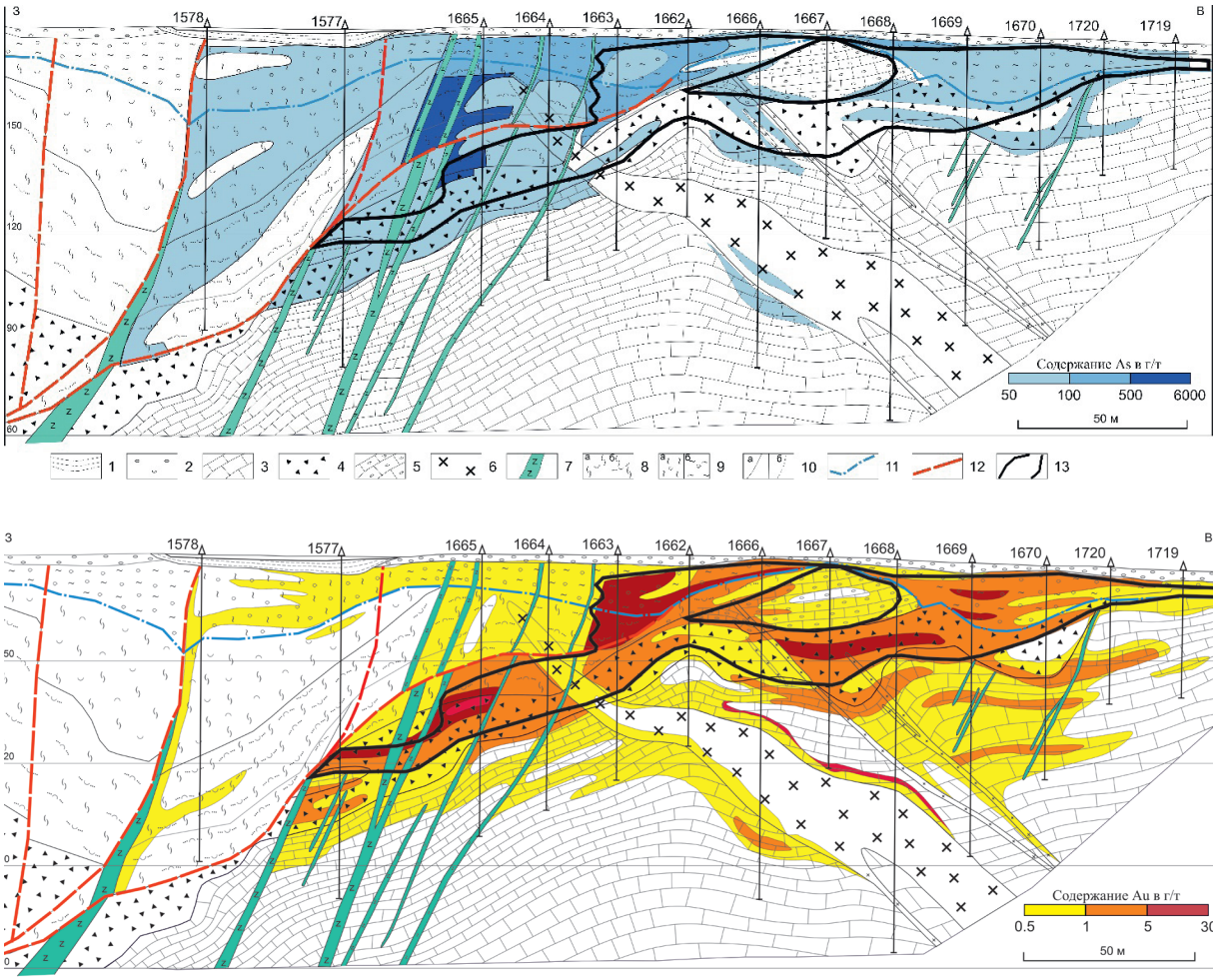


Рис. 2. Первичные ореолы Au, As в сводном разрезе по буровой линии 57 Воронцовского месторождения:

1–2 – четвертичные отложения: 1 – озерные отложения (торф, глины); 2 – терригенные наносы; 3–5 – краснотурьинская свита, карбонатная толща: 3 – мраморы, 4 – известняковые брекчии, 5 – окремненные известняки; 6, 7 – дайки монцодиоритов (6) и диабазовых порфиритов (7); 8 – аргиллизиты по средне-крупнообломочным туффитам (а) и туфопесчаникам, туфоалевролитам (б); 9 – кора выветривания структурная (а), перемещенная (б); 10 – геологические границы установленные (а) и предполагаемые в коре выветривания (б); 11 – граница развития кор выветривания; 12 – разломы; 13– контуры установленных золоторудных тел

инициировавшего рассеянный рифтинг и внутриплитный базитовый магматизм повышенной щелочности. По аналогии со штатом Невада мы ожидаем основные открытия золоторудных месторождений и родственных ему типов оруденения в разломных зонах – «трендах» северо-западной ориентировки.

Обоснован вывод о преобладающем магматическом вкладе в образование золотоносных скарновых месторождений Турьинского рудного поля и Воронцовского золоторудного месторождения. Для Воронцовского месторождения предлагается трехэтапная модель формирования. В первый этап (D_1ems_{1-2}) происходило вулканогенно-осадочное накопление сульфидов и Fe-оксидов-гидроксидов в виде рассеянной рудной минерализации в верхах вулканогенно-осадочных ритмов. На втором этапе (D_1ems_3) внедрение плутонов и даек габбро-диорит-гранодиоритового комплекса вызывало скарнирование с образованием линз магнетитовых руд на контактах силикатных и карбонатных пород. Магматогенный флюид, обогащенный Fe, Zn, Pb, Au, Ag и S, перемещался далее к поверхности и попадал в зону пологого экранирующего контакта известняков с тонкослоистыми вулкано-терригенными породами, выполнявшего роль геохимического и петрофизического барьера, с отложением золотосульфидной и сульфосольно-

полиметаллической ассоциации. В третий этап (D_2ef_1) произошел дополнительный подток магматогенного флюида, обогащенного Hg, As и Sb. При разгрузке этого флюида, смешивающегося с катагенными водами, образованы золото-реальгар-антимонитовая минерализация карлинского типа в карбонатных породах и пирит-арсенопиритовая минерализация в вулканогенных флишоидах. В пострудный этап внедрились дайки диабазов и лампрофиров.

Для Воронцовского месторождения типичными являются тонкорассеянная золотосульфидная минерализация и микронный-субмикронный размер частиц самородного золота в As-пирите. Мы предполагаем для высокосоленого (5–9,5 мас. % экв. NaCl), водно-углекислого Ca-, Na- и Mg-хлоридного рудоносного флюида, сформировавшего основную массу Au руд в карбонатных брекчиях, магматогенную природу. Au-As-Sb-Hg-Tl оруденение во многом близко к эпитермальному (220–110 °C), глубина их формирования оценивается в 1,5–2 км. Магматогенные флюиды, несущие изотопы с глубинными метками, сформировали золотосодержащую сульфидную минерализацию железо- и медно-скарновых залежей района, а также на периферии скарновых зон, при более низких температурах – малосульфидную золоторудную минерализацию.

Викентьев И. В.[1], **Спирина А. В.**[1], **Соболев И. Д.**[1], **Травин А. В.**[2]
[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

РЕЗУЛЬТАТЫ ДАТИРОВАНИЯ ДАЙКИ ГАББРО В ПРЕДЕЛАХ НОВО-УЧАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ) AR-AR МЕТОДОМ

Исследования выполнены в рамках базовой темы ИГЕМ РАН, Ar-Ar датирование – в рамках базовой темы ИГМ СО РАН.

Крупное колчеданное Ново-Учалинское месторождение расположено в северо-восточной части Республики Башкортостан. Рудная залежь локализована в крыле антиклинальной складки, сложенной вулканитами риолит-базальтовой формации карамалыташской свиты (D_2ef). Мощное крутопадающее линзовидное рудное тело сплошных сульфидных руд (CZn >> CCu), осложненное раздувами и пережимами, залегает на глубине более 550 м от поверхности. Субвулканические и интрузивные тела, закартированные в пределах месторождения, представлены силлами и лакколитами долеритов и риодацитов наурузовского комплекса D_3fm. Рудное тело пересечено серией маломощных даек микрогаббро и наиболее протяженной и мощной (до 20 см) дайкой габбро. Раннее были выявлены признаки локального контактового воздействия этой дайки на руды. В работе впервые приводятся данные Ar-Ar датирования роговой обманки из мощной дайки габбро, круто секущей рудное тело и имеющей сложную морфологию. Сопоставление петрохимических характеристик и полученный возраст позволяют отнести ее к утлыкташскому комплексу C_1t.

Ключевые слова: колчеданное месторождение, дайка габбро, роговая обманка, Ar-Ar метод.

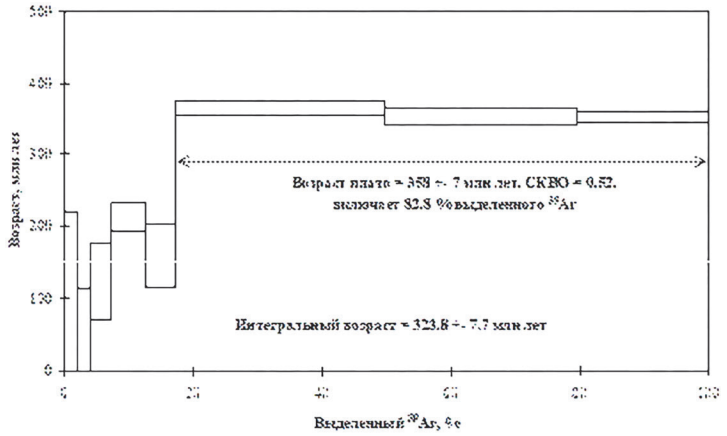
Ново-Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение локализовано в вулканитах риолит-базальтовой формации карамалыташской свиты (D_2ef) [3]. Рудная залежь представляет собой мощное крутопадающее рудное тело, деформированное в сильно сжатую антиклинальную складку и залегающее на глубине от 550 м от дневной поверхности на севере с постепенным склонением к югу. В пределах месторождения закартированы силлы долеритов, субсогласные с вмещающими вулканитами и развитые на одном стратиграфическом уровне с залежью. Также отмечаются силлы и лакколитоподобные тела риодацитов лавовых фаций, преимущественно развитых в северной части месторождения и предположительно относимых к наурузовскому комплексу (D_3fm) [4] Кроме того, рудная залежь пересечена серией маломощных синрудных даек микрогаббро.

Наиболее протяженная и мощная (15–20 м) дайка габбро аналогична крупным дайкам Учалинского месторождения [1]. Она круто сечет рудную залежь, имеет северо-западное простирание и северо-восточное падение под углом около 70° [5]. По взаимоотношениям с вмещающими вулканитами и рудой она является более поздней, имеет сложную морфологию, при пересече-

нии рудного тела меняет простирание с северо-западного до субмеридионального, наблюдается резкое увеличение ее мощност, либо, наоборот, она резко утончается [8]. Близ контакта в дайке происходит уменьшение размера зерен – от крупнокристаллического до мелкокристаллического (закалка), а в руде в зоне контакта происходит локальная перекристаллизация пирита, ремобилизация блеклой руды, появляются крупные агрегаты магнетита, галенита, изредка видимого самородного золота. В зоне контакта породы дайки местами подвержены хлоритизации, в них развиваются кварц-карбонатные прожилки диагонального и ортогонального направлений типа лестничных жил [7]. Внутри дайки встречаются сульфидные прожилки, сложенные кубическим пиритом, реже мелкими агрегатами сфалерита, халькопирита, как и на Учалинском месторождении [1]. По петрохимическим характеристикам исследователи разных лет относили указанные габбро, слагающие дайку, к утлыкташскому комплексу D_3fr возраста [6] либо к худолазовскому комплексу C_1 [2].

Для уточнения времени формирования данной дайки нами проведено $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирование роговой обманки габбро среднезернистой структуры массивной текстуры (обр. 60, гор. 680 м от поверхности, северная часть месторождения). Датирование выполнено методом ступенчатого прогрева [9]. Возраст всего выделившегося ^{39}Ar составил 323,8 ± 7,7 млн лет. Возраст плато (по 82,8 % возрастного спектра) составил 358 ± 7 млн лет (см. рисунок), что соответствует границе $D_3fm–C_1t$. Полученная датировка и петрохимические характеристики изученных габбро соответствуют утлыкташскому комплексу C_1t, подробно охарактеризованному в работе [4].

Таким образом, в работе впервые приведены результаты датирования мощной дайки габбро, рассекающей рудную залежь Ново-Учалинского месторождения. Петрохимические характеристики описываемых пород и полученный возраст 358 70 ± 7 млн лет соответствуют утлыкташскому комплексу, становление которого происходило в турнейском веке.



Результаты Ar-Ar датирования роговой обманки из пострудной дайки габбро Ново-Учалинского месторождения

Список литературы:

1. Бородаевская М. Б., Пирожок П. И., Курбанов Н. К., Нафиков У. С. Возрастные соотношения даек и колчеданных руд в Учалинском рудном поле (Южный Урал) // Труды ЦНИГРИ. – 1967. – Вып. 67. – С. 119–141.
2. Жданов А. В., Ободов В. А., Макарьев Л. Б. [и др.]. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XVIII (Учалы). Объяснительная записка. – М. : Московский филиал ВСЕГЕИ, 2018. – 386 с.
3. Маслов В. А., Артюшкова О. В. Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии. – Уфа : ИГ УфНЦ РАН, 2000. – 140 с.
4. Салихов Д. Н., Холоднов В. В., Пучков В. Н., Рахимов И. Р. Магнитогорская зона Южного Урала в позднем палеозое: магматизм, флюидный режим, металлогения, геодинамика. – М. : Наука, 2019. – 392 с.

5. Серавкин И. Б., Знаменский С. Е., Скуратов В. Н., Пирожок П. И., Чадченко А. В. Учалинское медно-цинковоколчеданное месторождение «Уральского» типа. – Уфа : Башкирский НЦ УрО РАН, 1992. – 174 с.
6. Серавкин И. Б., Косарев А. М., Салихов Д. Н. [и др.] Вулканизм Южного Урала. – М. : Наука, 1992. – 197 с.
7. Спирина А. В. Особенности проявления контактового метаморфизма руд Ново-Учалинского месторождения на Южном Урале // Вестник геонаук. – 2021. – № 2. – С. 9–13. – DOI : 10.19110/geov.2021.2.2
8. Спирина А. В., Макаров В. В., Моисеев И. Б., Викентьев И. В. Детализация морфологии рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2020. – № 2. – С. 35–46.
9. Травин А. В., Юдин Д. С., Владимиров А. Г., Хромых С. В., Волкова Н. И., Мехоношин А. С., Колотилина Т. Б. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. – 2009. – Т. 11. – С. 1181–1199.

Внучков Д. А.[1], Макарова М. А.[2], Боева Н. М.[2], Шипилова Е. С.[2], Лопухин М. А.[3]
[1] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва; [2] ИГЕМ РАН, г. Москва; [3] ФБУ «ГКЗ», г. Москва

РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ОБЛОМОЧНЫХ БОКСИТОВ В ЛАТЕРИТНЫХ ПОКРОВАХ ПРОВИНЦИИ ФУТА ДЖАЛОН-МАНДИНГО (ЗАПАДНАЯ АФРИКА)

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания ИГЕМ РАН № 121041500220-0, аналитические исследования проведены в ЦКП «ИГЕМ АНАЛИТИК».

Определены закономерности размещения и механизм формирования различных типов обломочных бокситов. Обломочные текстуры встречаются в бокситах как по коренному субстрату в верхней и нижней частях профиля, так и в унаследовавших обломочное строение от переотложенного рыхлого субстрата различных генетических и фациальных типах. Особенно благоприятны для формирования высококачественных обломочных бокситов водно-осадочные отложения, претерпевшие существенный вынос железа на стадии проточного литогенеза.

Ключевые слова: обломочные бокситы, латеритная кора выветривания.

При проведении картировочных, поисковых и разведочных работ на бокситы в провинции Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка) в результате практических наблюдений были установлены закономерности, не соответствующие установившимся понятиям. Бокситы с обломочными текстурами широко развиты не только в залежах, сформированных по переотложенному субстрату, но и в латеритных покровах по коренным породам. Общепризнанным считалось их наличие только в самых верхних частях покрова, где происходит физическое и химическое разрушение и развиваются брекчиевидные обломочные бокситы и латериты типа элювиальных и элювиально-делювиальных брекчий. Анализу особенностей состава псевдоморфных и обломочных бокситов и их соотношениям, выявлению механизма формирования и закономерностей их размещения в плане и разрезе в целях установления причин, влияющих на параметры рудных залежей, посвящена данная работа. Эта проблема не получила должного внимания в публикациях из-за недостаточности материалов, получение которых возможно только при длительном и повсеместном геологическом картировании месторождений и детальной документации колонковых скважин и шурфов.

В результате масштабных работ был выявлено четыре типа обломочных бокситов:

1. Обломочные бокситы и латериты, образованные за счет разрушения железистого цемента в верхней части подпочвенной части латеритного покрова.

2. Обломочные бокситы и латериты, образовавшиеся в результате суффозионно-карстовых процессов внутри латеритного покрова.

3 Обломочные бокситы и латериты, образовавшиеся в результате латеритизации переотло-

женного преимущественно в суходольных условиях субстрата за счет разрушения латеритных бокситовых покровов, залегающих топографически выше.

4. Обломочные бокситы осадочно-латеритные, образовавшиеся за счет водно-осадочных континентальных отложений (серия Сангареди), претерпевших на стадии обводненного осадка в глеевой геохимической обстановке обеление и ресилификацию.

Обломочные бокситы, сформированные по коренным породам. Материалы поисково-оценочных работ показали, что даже на участках, где бокситоносные латеритные покровы сформированы по коренному субстрату, обломочные бокситы очень широко распространены. Брекчиевидные бокситы, сложенные обломками местных псевдоморфных бокситов, развиты не только в верхней подпочвенной части, но также в нижней и средней частях бокситоносной толщи. Анализ морфологии участков, сформированных обломочными бокситами, изучение размера, формы и состава обломков и цемента, а также степени литифицированности пород, позволяют определить главные механизмы их формирования и выделить два типа обломочных бокситов.

Первый тип обломочных бокситов *in situ* (элювиального типа) приурочен к верхней подпочвенной части разреза латеритов. Здесь, у поверхности, интенсивно развивается трещиноватость псевдоморфных бокситов, активизирующаяся под действием корневой системы и биолого-почвенных процессов выщелачивания и перекристаллизации вещества. Этот процесс развит практически на всех месторождениях и захватывает верхние 0,5–2 м разреза. Для бокситов характерны брекчиевидные и шлаковидные текстуры и в целом повышенная железистость пород. Возникающая трещиноватость приводит к более интенсивной аэрации и, соответственно, к окислению и осаждению в них железа. Характерные натечные формы железа образуются на стенках трещин, цементируют мелкие обломки, выполняют стенки крупных пор и образуют в конце концов железистый каркас, цементирующий эти обломочные породы.

Второй тип обломочных пород наблюдается в основном в нижней части бокситоносной толщи. В процессе разведочных работ эти породы получили название «рыхлых» бокситов. Они залегают непосредст Багатаев Р. М. Золот венно над породами переходной зоны и сложены обломками и глыбами местных псевдоморфных бокситов и железистых пород с глиноподобным бокситовым заполнителем. Их формирование связано с латеральным внутрикоровым сбросом атмосферных осадков по границе с каолинитовыми глинами относительным водоупором в разрезе. Эти воды активно размывают и выщелачивают бокситы, перемещают часть материала на небольшие расстояния, образуя пустоты в одних местах и загружая разнообломочным материалом – в других. Крайним проявлением указанных процессов является образование обширных карстовых полостей и галерей внутри латеритного покрова.

Описанные выше типы обломочных пород отражают образование элювия в латеритном покрове, протекающее на фоне преобладающего химического (латеритного) выветривания пород. При огромном количестве атмосферных осадков, повышенной биологической активности среды и мощной продуктивности растительного покрова высокая активность химических процессов вызывает активизацию физической дезинтеграции пород на месте, благодаря чему обломочные, в основном брекчиевидные, текстуры закартированы в бокситах по коренному субстрату независимо от их положения в разрезе.

Бокситы, унаследовавшие обломочное строение от переотложенного рыхлого субстрата различных генетических и фациальных типов. В отличие от обломочных бокситов, формирующихся в процессе латеритного корообразования *in situ*, на многих месторождениях региона известны бокситы, обломочные структуры которых унаследованы от переотложенного рыхлого субстрата. Изучение сортированности, размеров и форм обломков, их соотношений с цементом и приуроченности обломочных бокситов к разным формам рельефа позволяют восстановить генетический тип континентальных образований, послуживших материнским субстратом для бокситов, не имеющих прямой генетической связи с подстилающими коренными породами.

Третий тип обломочных бокситов является близким по своему генезису и составу бокситам *in situ*, но образовался по переотложенному субстрату различных фаций. В результате латеритного выветривания происходит выщелачивание кремнезема и литификация переотложенного материнского субстрата с образованием обломочных бокситов. Крупно-грубообломочный ма-

териал представлен каменистыми породами латеритных покровов, залегающими топографически выше. В мелкообломочных фракциях преобладает песчано-глинистый алюмосиликатный материал. Наиболее благоприятными для образования высококачественных бокситов в данных условиях являются континентальные образования крайних членов фациального профиля: преимущественно конгломерато-брекчиевидные разновидности, слагающие делювиально-пролювиальные склоны, и пелитоморфные осадки аллювиальных отложений.

К четвертому типу относятся осадочно-латеритные бокситы, образовавшиеся за счет водно-осадочных континентальных отложений серии Сангареди. Литологический состав переотложенных бокситизированных отложений разнообразный: от конгломерат-бокситов до песчаниковидных и глинистых бокситов, которые фациально представляют водно-осадочные (аллювиальные и озерные) континентальные отложения, претерпевшие на стадии обводненного, но проточного осадка в глеевой геохимической обстановке обеление и ресилификацию. Этот благоприятный переотложенный материнский субстрат предопределил в результате последующей латеритизации образование осадочно-латеритных бокситов [1, 2], отличающихся низким содержанием железа и высоким – глинозема.

Выявленные закономерности сводятся к следующему:

1. Преобладающее химическое латеритное выветривание пород вызывает активизацию физической дезинтеграции пород, благодаря чему обломочные, в основном брекчиевидные, структуры преобладают даже в бокситах по коренному субстрату.

2. По переотложенному субстрату, накопившемуся в суходольных (необводненных) условиях, образовались более железистые бокситы, близкие к бокситам in situ. Более качественные бокситы, сформированные по переотложенному субстрату, связаны с крайними членами фациального профиля: делювиально-пролювиальными грубообломочными образованиями склонов (зона ближайшего переотложения) и аллювиальными и аллювиально-озерными существенно глинистыми отложениями (зона дальнего переотложения).

3. Особенно благоприятны для формирования высококачественных осадочно-латеритных бокситов водно-осадочные рыхлые отложения большой мощности, претерпевшие существенный вынос железа на стадии проточного обводнения.

Изучение генетических особенностей, фациальной принадлежности и геохимических условий формирования рыхлого субстрата бокситов и их фациальных аналогов, не затронутых латеритным выветриванием, особенно в перекрытых разрезах, является важным для прогнозирования наличия и качества бокситорудных залежей.

Список литературы:

1. Мамедов В. И., Макарова М. А., Боева Н. М. [и др.]. Главные процессы и стадии формирования уникального месторождения бокситов Сангареди (Западная Африка) // Доклады Академии наук. – 2020. – Т. 492, № 1. – С. 1–7.
2. Мамедов В. И., Макарова М. А., Боева Н. М. [и др.]. Крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка). Часть 2: Влияние состава материнских пород на распространенность и качество бокситов // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 5. – С. 1–28.

Воробьев С. А.
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

АТМОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ЛАНДШАФТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Изложен отечественный и зарубежный опыт поисков рудных месторождений по газовым ореолам при мощности перекрывающих отложений в десятки и сотни метров. Рассмотрены технологии отбора проб подземной атмосферы и мониторинга состава газовых ореолов над глубинными рудными источниками. Предложены модели формирования газовых ореолов, и даны оценки скорости миграции газов из глубинных источников в атмосферу.

Ключевые слова: атмохимические методы, газовый ореол, углекислый газ, газоанализаторы, мониторинг, скорость миграции, полиметаллические руды.

Атмохимические съемки – метод геохимических поисков полезных ископаемых и геологического картирования, основанный на исследовании состава газообразных компонентов в подпочвенной и приземной атмосфере. Процессы, приводящие к формированию атмохимических ореолов, подробно рассматривались советскими и зарубежными геохимиками начиная с середины прошлого века, ими было показано, с рассмотрением проблемы образования атмохимических ореолов рудных месторождений, что газовые ореолы рудных месторождений имеют поликомпонентный состав. В них входят такие компоненты, как CO_2, Hg, CH_4, O_2, N_2, He, Rn, Ar, HgS, а также пары галоидов (Cl, F, Br, I). Высокие содержания этих газов в подземной атмосфере горных выработок послужили основанием разработки атмохимических методов поисков.

Атмохимические ореолы рудных месторождений образуют газы трех генераций. Первая – компоненты рудообразующей среды (CO_2, CH_4, H_2 и др.), захваченные минералами в процессе рудоотложения. Их высвобождение происходит непрерывно по мере вскрытия газово-жидких включений при выветривании, динамометаморфизме и прочих внешних воздействиях. Вторую генерацию составляют газы глубинного происхождения (CO_2, He, Ar, CH_4, H_2 и др.), мигрирующие по рудоконтролирующим тектоническим зонам. Они являются продуктами химических и ядерных реакций, протекающих в земных недрах. К третьей генерации относятся газы (CO_2, SO_2 и др.), образующиеся в зоне гипергенеза рудных месторождений. Гипергенное преобразование сульфидных минералов протекает с поглощением больших количеств кислорода, что приводит к резкому снижению его содержаний в подземной атмосфере над месторождением. Газовые ореолы образуют и рудные элементы, поступающие в вышележащие породы и далее в атмосферу в виде летучих металлоорганических соединений, собственных паров и рудных микрочастиц.

В соответствии с задачами съемок и ландшафтно-геохимическими условиями их проведения при атмохимических поисках изучается состав свободного подпочвенного воздуха, сорбированных паров и летучих соединений металлов в приземном слое атмосферы. Критерием рудной природы газовой аномалии над окисляемым рудным телом служит содержание кислорода меньше уровня порогового значения при разбавлении подземной атмосферы потоком тектонических газов. Пробы подпочвенного воздуха отбираются из призабойных частей скважин, шпуров и т. п. в стеклянные ампулы и анализируются методом газовой хроматографии. Обязательное условие пробоотбора – изоляция газозаборной камеры от атмосферы. На рис. 1 показаны атмохимические ореолы, проверка которых привела к открытию погребенных свинцово-цинковых месторождений телетермального типа в Восточном борту Тургайского прогиба (Казахстан).

В Канаде на территории бассейна р. Атабаска (Athabaska Basin) аналогичным методом проводятся поиски урановых месторождений типа несогласия на глубине 100–400 м (рис. 2).

Исполнители этих работ полагают, что он идеально подходит для поиска урановых месторождений, залегающих на малых и больших глубинах. Ореолы углекислого газа, метана, водорода, гелия и неона в подземной атмосфере служат критериями оценки перспективности геофизических аномалий. Оценка газовых аномалий бурением показала, что их контуры наследуют форму рудных тел, а продуктивность ореолов гелия пропорциональна количеству урана на глубине [4].

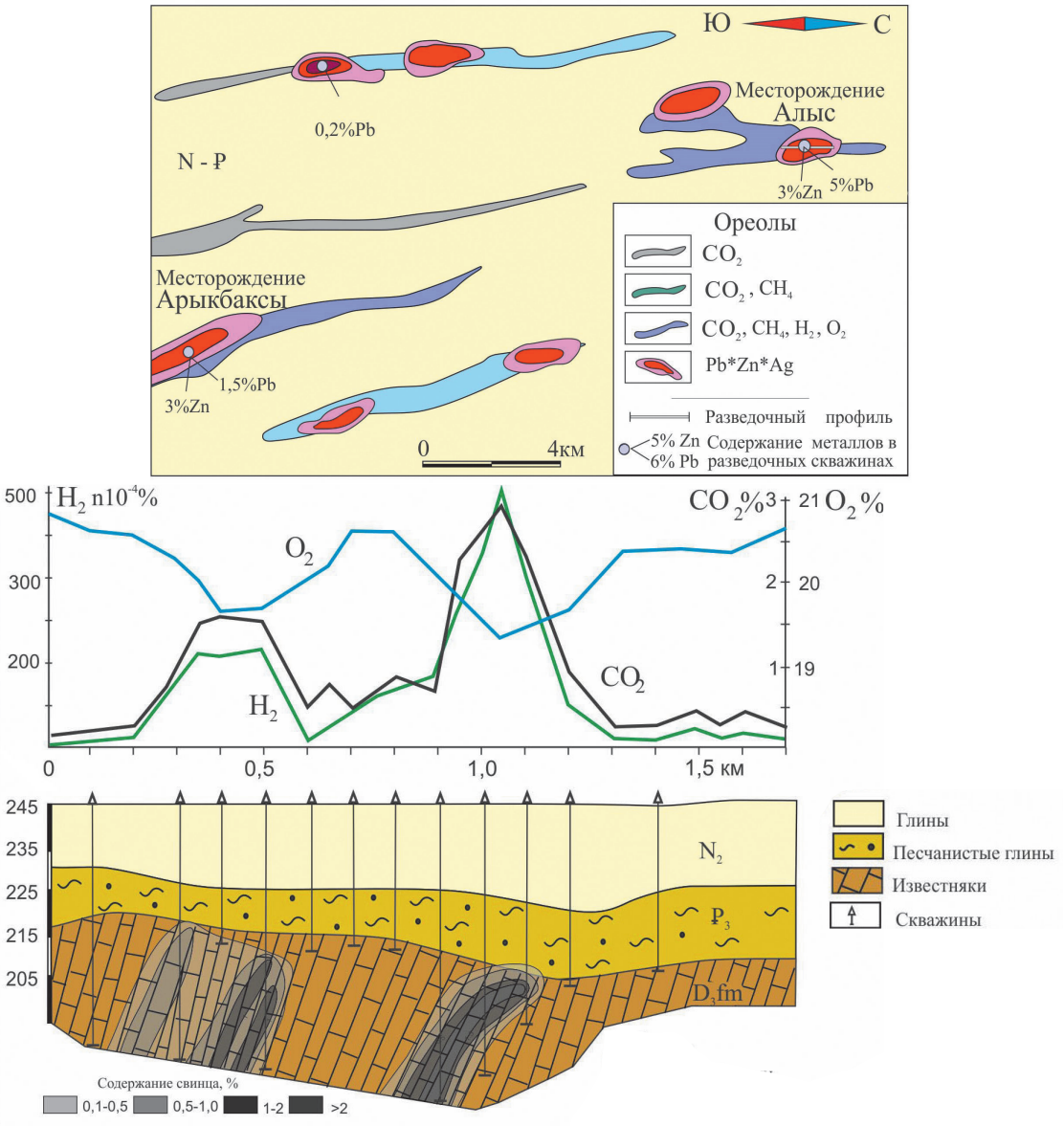


Рис. 1. Атмохимические и наложенные литохимические ореолы над погребенными рудными объектами (слева) и геологический разрез по линии скважин, пробуренных для оценки атмохимической аномалией над месторождением Алыс (справа). Восточный борт Тургайского прогиба (Казахстан) [2]

Логическим развитием атмохимических методов стали поиски рудных месторождений путем улавливания металлосодержащих минеральных микрочастиц, транспортируемых воздушными потоками из погребенных рудных тел к земной поверхности. В зарубежной практике этот вид атмохимической съемки именуется «геогаз». Этот метод поисков стал экономически доступным в связи с широким применением высокочувствительных прецизионных методов анализа малых количеств вещества. Подпочвенный газ, откачиваемый из скважины, пропускается через мембранный фильтр, улавливающий грубые частицы почвы, далее барботируется через раствор азотной кислоты в сборном коллекторе. Анализ собранного материала проводится в стационарной лаборатории [4].

На рис. 3 показаны результаты газовой съемки на никель-медном месторождении Лашуйся (Lashuixia) в провинции Цинхай в Китае и полиметаллическом месторождения Цзяолунчан (Jiaolongzhang) [6]. Никель-медные рудные тела находятся в слепом залегании, перекрытые плотными песчаниками и сланцами мощностью от 50 до 300 м. Свинцово-цинковые руды перекрыты лессами и терригенными песчаниками общей мощностью до 130 м. По результатам

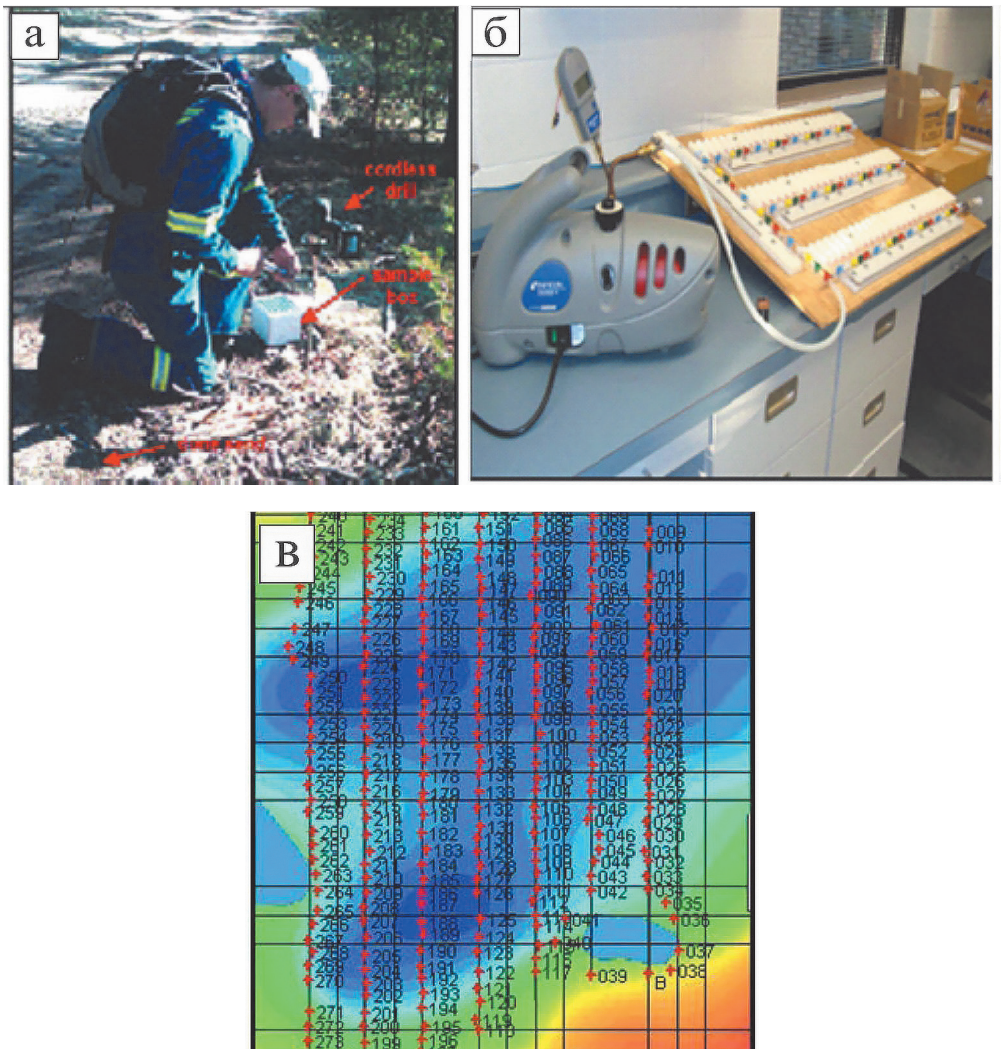


Рис. 2. Отбор проб при проведении гелий, водород, неоновой съемки (а) и их анализ на хроматографе (б) и фрагмент карты распределения гелия (в) на участке гравитационной аномалии на территории бассейна Атабаска (Канада) [5]

геохимической съемки они отчетливо фиксируются высококонтрастными ореолами меди, никеля, кобальта и других сопутствующих им элементов. Как видно из приведенного рисунка, содержания металлов в подпочвенной атмосфере над погребенными рудными телами многократно превышают местный геохимический фон. Совместную миграцию металлов с газами российские исследователи подтверждают корреляцией между концентрацией углекислого газа и содержаниями металлов в наложенных ореолах над полиметаллическими месторождениями Алтайского края [3].

Атмохимические съемки, как правило, характеризуются плохой воспроизводимостью распределений газовых компонентов в контурах аномалий. Исследования газового состава подземной атмосферы, выполненные в месторождениях различного типа в разных регионах мира (Казахстан, Кавказ, Африка), показали, что он периодически изменяется с течением времени. Эти изменения обусловлены вариациями состояния приземной атмосферы и температурой поверхности почвенного покрова. Верхний слой земли выветривания в течение суток промывается атмосферными воздухом, глубина проникновения зависит от проницаемостных свойств слагающих ее пород. При этом в приземный слой атмосферы разгружаются газы с нижних горизонтов

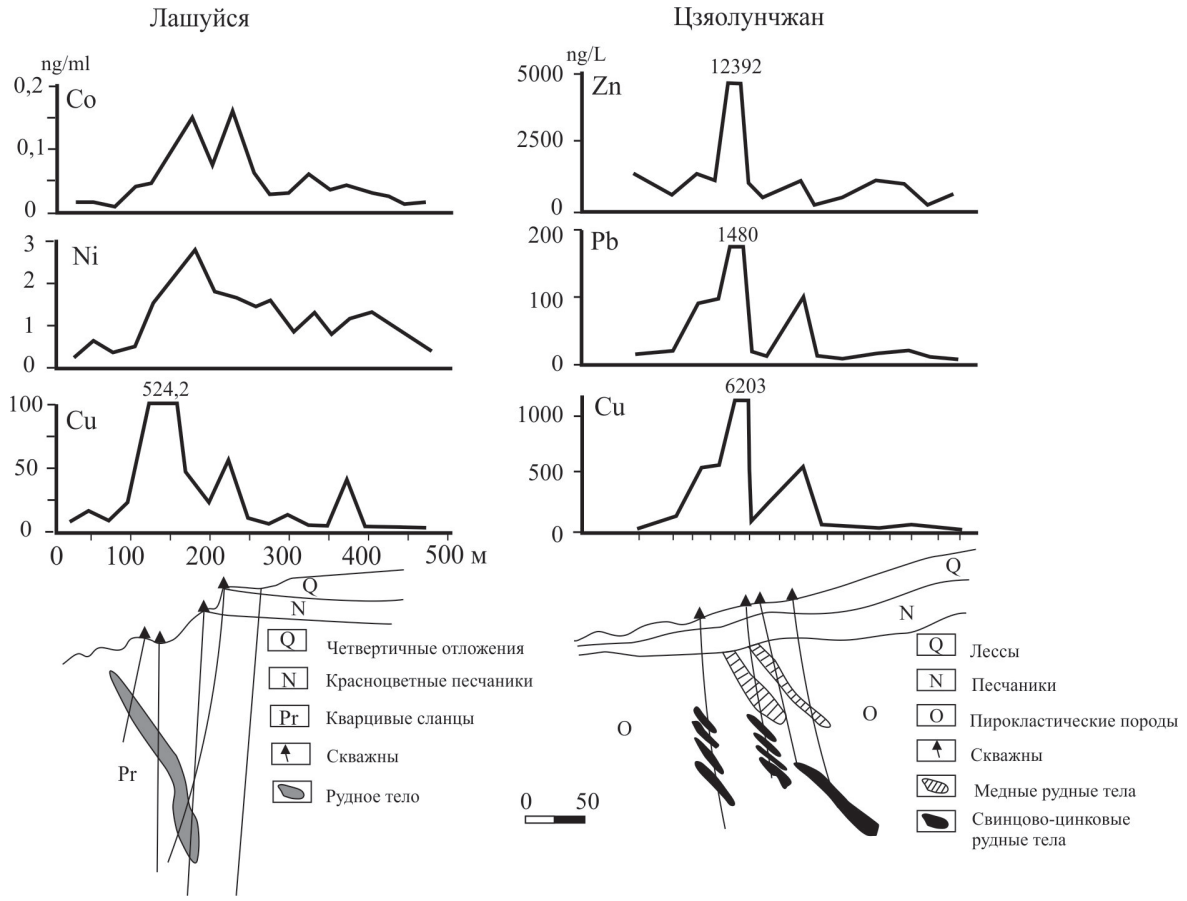


Рис. 3. Атмохимические ореолы металлов над месторождениями никель-медных (слева) и полиметаллических руд (справа) [6]

земли, способствуя миграции рудных компонентов к земной поверхности, как полагают многие исследователи, их миграция к дневной поверхности происходит не одним общим потоком, а отдельными струями, расширяющимися вблизи дневной поверхности.

Эпюра распределения содержания газов по глубине позволяет оценить скорость миграции из земли в атмосферу. Наблюдения на погребенных рудных месторождениях показали, что скорость вертикальной фильтрации углекислого газа в породах с малой эффективной пористостью (суглинки, глины) лежит в диапазоне (0,2–5) × 10^{-7} м/с, в породах с высокой пористостью – (1–5) × × 10^{-4} м/с [1].

Список литературы:

1. Воробьев С. А., Симакин А. Г. Миграция газов в атмохимических ореолах рассеяния // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – № 2. – С. 47–55.
2. Досанова Б. А., Колесников В. Н., Воробьев С. А. Атмохимические поиски погребенных месторождений // Разведка и охрана недр. – 1979. – № 1. – С. 23–26.
3. Духанин А. С., Алексеев С. Г., Сенчина Н. П. Структура струйных ореолов рассеяния глубокозалегающих месторождений Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2019. № – 80. С. 75–94.
4. Cao J. Migration mechanisms of gold nanoparticles explored in geogas of the Hetai ore district, southern China // Geochemical Journal. – 2011. – V. 45. – P. 9–13.
5. Lafleur P. Cost-effective helium surveys in uranium exploration. – 2014. – URL: https://www.gasoilgeochem.com/helium.html (дата обращения 22.03.2023)
6. Wang M, Gao Y., Liu Y. Modified Geogas Survey: a Potential and Practical Tool for Mineral Exploration in areas with Exotic Overburden // Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration. – 2007. – P. 993–996.

Гаранин В. К.
ФГБУ «Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана», г. Москва

АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ. ОТКРЫТИЕ, ОСВОЕНИЕ, ДОБЫЧА АЛМАЗОВ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Кратко рассмотрена история открытия и освоения алмазоносной провинции в европейской части России. Показано, что это открытие дало мощный толчек к выявлению новых провинций и месторождений в различных частях мира. Активное освоение территории Архангельской провинции привело к добыче алмаза на месторождении им. М. В. Ломоносова начиная с 80-х годов прошлого столетия и на месторождении им. В. Гриба – начиная с конца 90-х годов . В целом за короткое время со дня открытия первых кимберлитовых тел в Архангельской провинции было открыто более ста тел кимберлитов и пикритов. Обращено внимание на острую необходимость открытия новых месторождений на этой территории, что имеет важное значение для решения многих производственных, технологических и социальных вопросов Архангельской области.

Ключевые слова: провинция, район, поле, трубка, кимберлит, алмаз, запасы, карьер, добыча

В конце 70-х – начале 80-х годов прошлого столетия произошло крупное событие в геологическом мире. Были открыты первые кимберлитовые трубки, в том числе и алмазоносные, в европейской части России, в Зимнебережном районе Архангельской области [1]. Это открытие дало мощный толчок к обнаружению лампроитовых тел в Австралии, в том числе и уникальной алмазоносной трубки Аргайл с содержанием алмаза порядка 5 кар [7, 8], а также к открытию алмазоносных тел в Канаде, в том числе и месторождений алмаза [6].

Освоение этой новой алмазоносной территории в СССР шло ускоренными темпами. Комплексом геологоразведочных работ были открыты трубки Золотицкого поля, большинство из которых затем были оформлены в месторождение алмазов им. М. В. Ломоносова (пять кимберлитовых трубок) [2]. Оконтурены в геологическом плане Кепинское и Верхотинское поля со множеством кимберлитовых и пикритовых тел, а также более мелкие поля [5]. Все они оказались практически неалмазоносными.

В 1987 году ПГО «Архангельскгеология» был успешно защищен Отчет с подсчетом запасов по месторождению им. М. В. Ломоносова в Комитете по запасам СССР. Это была крупная победа советских геологов. Она вселила уверенность в том, что действительно советские геологи открыли новую алмазоносную провинцию. Освоение Зимнебережного района шло быстрыми темпами. Поиски новых тел вели несколько геологоразведочных экспедиций, в составе которых были опытные геологи, комплекс геофизических методов, станки для бурения и другая техника. После оформления месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова начался этап освоения этого месторождения. Строительство карьера и обогатительной фабрики, поселка для персонала фабрики и рабочих карьера – все это шло быстрыми темпами. Решено было осваивать месторождение поэтапно, трубку за трубкой, и начали с трубки Архангельская. В начале 90-х годов прошлого столетия пошли первые архангельские алмазы.

Содержание алмазов в трубках месторождения не очень высокое, от 0,5 до 1 кар/т. В основном это ромбододекаэдроиды, октаэдров практически мало, в среднем не более 10 % от всего разнообразия морфологических форм кристаллов алмаза [4]. Все это сказывалось на выходе алмазной продукции и на стоимости алмазного сырья, оно было не столь высоким. Добычей занималось предприятие «СЕВЕРАЛМАЗ», которое затем трансформировалось в дочку ПАО «АЛРОСА».

В 1996 году была открыта новая алмазоносная трубка им. В. Гриба в Черноозерском поле севернее Золотицкого с содержанием алмазов около 1 кар/т породы [3]. В этом месторождении и качество алмазного сырья было выше по сравнению с месторождением им. М. В. Ломоносова. Тридцать процентов от всех алмазов относятся к октаэдрам, часто извлекают из пород крупные кристаллы алмаза весом более 25 кар [4].

Трубка им. В. Гриба – это типичная кимберлитовая трубка типа I, в которой выход тяжелой фракции высокий, десятки килограмм, среди минералов мантии преобладает пикроильменит,

затем идет пироп. Практически отсутствует хромит. В трубках месторождения им. М. В. Ломоносова выход минералов тяжелой фракции низок, преобладает хромит. Это так называемые кимберлиты типа II. С 1996 года идет активное освоение месторождения им. В. Гриба, есть карьер, фабрика, имеется вахтовый поселок.

На освоение этих месторождений уйдет не более 25 лет. При этом с уменьшением диаметра трубок с количество добываемых алмазов будет уменьшаться, и не факт, что шахтный способ отработки трубок будет эффективным. По крайней мере, на месторождении им. В. Гриба такое развитие событий не предполагается.

С самого начала освоения Архангельской алмазоносной провинции (ААП) остро вставал вопрос об открытии новых месторождений алмаза. Как правило, новые месторождения находят на новых территориях. Поиски алмазных месторождений активно велись и в Карелии, и на Кольском полуострове, никаких положительных результатов эти поиски не дали.

В Зимнебережном районе активные поиски в конце концов переместились в Черноозерское поле как наиболее перспективное. Но что мы на сегодня реально имеем, с точки зрения поисковых работ? Первое, от экспедиций осталась всего одна партия Вилюйской ГРЭ численностью не более 50 человек. При этом в ней 2–3, по нашему мнению, геолога-поисковика высокого уровня. Молодых специалистов с активной позицией просто нет. Производительность геологоразведочных работ невысокая, буровых станков не так много. Трудности в поиске алмазоносных тел заключаются еще и в том, что трубки месторождений алмаза в ААП имеют слабые магнитные аномалии над ними. Четвертичные отложения имеют мощность до 50 м, что затрудняет применение магнитных методов поиска новых тел. На площади Черноозерского поля много территорий неопробованных и неосвоенных. По нашему мнению, реально можно обнаружить в этом поле новые тела, которые могут нарастить объемы добычи алмаза.

Освоение месторождения Гриба – это десять лет, не более, месторождения им. М. В. Ломоносова – не более 25 лет. Это реальные данные, даже если будет найдено новое алмазоносное тело. Говорить о том, что может быть найдено несколько алмазоносных тел, – это смелое суждение.

ПАО «АЛРОСА» планирует вести поисковые работы в Архангельской области в течение ближайших 3–5 лет, не более. И если за это время не будет найдено хотя бы одно новое алмазоносное тело, то компания закроет геологоразведочные работы на севере европейской части России.

Таким образом, больших перспектив в Архангельской провинции не предвидится. Находки бесконечного количества новых месторождений полезного сырья нереальны. Всегда после открытия и добычи есть завершающая стадия закрытия месторождения. И к этому надо готовиться заранее, переориентируя коллективы геологов, инженеров, рабочих на поиски новых видов сырья или переквалифицируя их на освоение новых профессий.

Список литературы:

1. Богатиков О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А., Кудрявцева Г. П. [и др.]. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). – М. : МГУ, 1999. – 524 с.
2. Вержак В. В. Геологическое строение, вещественный состав, условия образования и методика разведки месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»: ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Владимир Васильевич Вержак. – М. : МГУ, 2001. – 36 с.
3. Веричев Е. М. Геологические условия образования и разведка месторождения алмазов им. В. Гриба: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»: ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Елисей Михайлович Веричев. – М. : МГУ, 2002. – 44 с.
4. Гаранин В. К., Криулина Г. Ю., Гаранин К. В., Самосоров Г. Г. Архангельские алмазы: новые данные. – М. : ИП Скороходов В. А, 2018. – 232 с.
5. Третяченко В. В. Состояние и актуальные вопросы минерагенического районирования Архангельской кимберлитовой области // Материалы X Международной научно-практической

конференции научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 222–225.
6. Barbara H. Scott Smith. Canadian kimberlites: Geological characteristics relevant to emplacement // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2008. – № 174. – P. 9–19
7. Jaques A. L., Haggerty S. E., Lucas H., Boxer G. L. Mineralogy and petrology of the Argyle (AKI) lamproite pipe, Western Australia // In Ross et al. q.v. – 1989. – V. I. –P. 153–169.
8. Jaques A. L., Lewis J. D., Smith C. B. The kimberlites and lamproites of Western Australia // Ceol. Surv. Western Aust. Bull. – 1986. – № 132. – 268 p.

Георгиевский А. Ф.[1], Бугина В. М.[1], Георгиевский А. А.[2]
[1] ФГАОУ ВО РУДН, г. Москва; [2] ФГБОУ ВО «РГГРУ им. С. Орджоникидзе», г. Москва

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕВИЗИОННЫХ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ПЛОЩАДЕЙ УЧЕБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ РУДН НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Дана краткая характеристика чебных геологических полигонов РУДН, где ведется подготовка специалистов для горной промышленности. Одновременно показан практический потенциал учебных территорий с точки зрения возможностей выявления новых промышленных геологических объектов.

Ключевые слова: геологическая практика студентов, учебные полигоны РУДН, месторождения золота, месторождения борного сырья.

Подготовка студентов-геологов в Российском университете дружбы народов проводится с использованием крымского, сочинского и южноуральских учебных геологических полигонов, где студенты приобретают навыки полевых работ. На Южном Урале студенты проходят практику на Миасском и Медногорском полигонах. Пространственно они размещены в районах с развитой промышленной инфраструктурой и приурочены к площадям с крайне сложным строением. Несмотря на то что на большей части этих территорий давно проведено крупномасштабное картирование, острые дискуссии об их строении не утихают и по сей день. Причины как всегда банальны: напряженная блоковая, складчатая и покровная тектоника, разнообразные гидротермальные и метаморфические изменения пород, петрографическое сходство и фациальная изменчивость толщ, активное проявление глубинного и вулканического магматизма, крайне слабое фаунистическое насыщение пород и, следовательно, неоднозначность стратиграфических построений.

Как бы это ни звучало парадоксально, но именно неоднозначность понимания геологии отмеченных регионов повышает их статус с точки зрения перспектив рудоносности, поскольку сохраняется необходимость в дальнейших детальных исследованиях данных площадей с переоценкой их промышленной значимости. Учитывая сказанное, сосредоточим внимание прежде всего на Медногорском геологическом полигоне, который расположен в Кувандыкском районе Оренбургской области. Он находится в 15 км западнее известного Блявинского месторождения в полосе мелкосопочника между населенными пунктами г. Медногорск, станция Рысаево и д. Идельбаево. Полигон охватывает площадь в 800 км^2 и меридионально протягивается вдоль р. Кураган. В структурном плане он является частью Сакмарского аллохтона, что предопределило сложное строение самого полигона. Нет необходимости подробно рассматривать его геологию, но в целом это мозаика типа «битой тарелки» из разно устроенных крупных и мелких блоков, часть из которых представлены фрагментами складчатых структур. Главными элементами тектонического рисунка площади являются субмеридиональные и субширотные разрывы. По ним соприкасаются толщи стратиграфического интервала от протерозоя до верхнего девона. Толщи представлены метаморфитами, вулканитами основного-кислого состава, телами базитов и серпентинизированных гипербазитов, кремнисто-флишоидными пачками, фрагментами рифовых комплексов, а также горизонтами олистостромов и псаммитовых кластитов. В разных блоках толщи сочетаются по-разному, что обусловливает развитие серии типовых формационных разрезов, отражающих условия структурно-формационных зон континентального под-

ножия, вулканической островной дуги с флишевым прогибом, а также задугового спрединга. Ассоциация на площади полигона фрагментов коры океанического и континентального типа, шельфовых фаций и фаций континентального подножия стала результатом коллизионных позднегерцинских процессов, которые завершились на территории полигона формированием меланжированной серпентинитовой пластины. Последняя с юга на север откартирована на протяжении 15 км и представляет собой зону меланжа, в строении которой участвуют мелкие, крупные и гигантские (*n* км) обломочные фрагменты разных типов пород и толщ, а также блоки вулканических построек и тела офикальцитов. Территория полигона перспективна с точки зрения золотоносности. Золотоносность связана с метасоматитами, представленными лиственитами и слюдитами. Выходы лиственитов в виде невысоких гряд закартированы на севере полигона и прослежены за его границы еще на 2 км. В контактовых зонах они сопровождаются сургучными яшмами и тектонизированными передробленными кристаллическими сланцами. Макроскопически лиственитами – это бурые красновато-коричневого облика породы, сложенные разнозернистым карбонатом, с многочисленными пятнами, прожилками, жилами халцедоновидного и молочно-белого кварца. Мощность отдельных кварцевых жил достигает 15–20 см. В шлифах лиственитами состоят из карбоната, кварца, сульфидов, выделений серпентина и талька.

Вещественный состав пород был изучен методом рентгено-флуоресцентного анализа в лаборатории РУДН. Установлены повышенные содержания (десятые-сотые процента) Sb, Sr, As, W, Zn, Ni, Co, Cr, Mn, La, Se. Также определены высокие содержания золота (4–5 г/т). В связи с этим принципиальное значение имеют данные геохимического опробования контактовых зон лиственитов. Результаты опробования показали, что содержание золота варьирует в пределах от 1 до 31 г/т. Необходимо подчеркнуть, что весьма схожие, вплоть до аналогичных, промышленные золотоносные толщи лиственитов описаны в районе Поляковки в Башкирии на северо-западе Магнитогорской зоны. Метасоматические золотосодержащие слюдиты (точнее, серицитолиты) пространственно приурочены исключительно к полям развития кислых пород. Образуют жилы, дайко- и штокообразные тела как с четкими, так и с расплывчатыми контактами с вмещающими породными комплексами. Мощность тел от 0,3 до 15 м; протяженность – сотни метров. Наиболее крупные проявления слюдитов закартированы среди риолитовых прижерловых фаций вулканических построек, сохранившихся в виде крупных олистоплак в серпентинитовом меланже. Это монолитные прочные породы с яркой светло-зеленой и зеленовато-голубой окраской и при полировке могут использоваться в качестве декоративного поделочного и облицовочного камня. Макро- и микроскопически легко устанавливается вторичная (метасоматическая) природа пород, поскольку часто сохраняются, хотя и с разной отчетливостью, реликтовые структуры и текстуры риолитовых порфиров и их производных. В шлифах основная кремнистая ткань пород вся пронизана волокнами, нитями, пленками, линзочками скрытокристаллического и микрочешуйчатого вещества с агрегатной поляризацией. Судя по данным рентгенофазового анализа, это слюдистый минерал из группы мусковита. Устанавливаются признаки хлоритовых выделений, которые предшествовали слюдитизации. По результатам рентгено-флюоресцентного анализа слюдиты характеризуются повышенными содержаниями (десятые-сотые процента) Ba, Sr, Rb, Zn, Ni, Cr, Mn, La, Se. В ряде проб установлены повышенные содержания золота, достигающие 9 г/т. Исходя из вышесказанного очевидно, что перспективы рудоносности района налицо, но необходимо проведение оценочных работ.

Вторым перспективным районом является Миасский геологический полигон на восточном склоне Южного Урала в Челябинской области. В тектоническом плане регион связан с Главным уральским глубинным разломом (ГУГР), располагаясь на стыке Уралтауского мегантиклинория и Тагило-Магнитогорского прогиба. По сложности геологического строения полигон не уступает Медногорской площади. Он также состоит из сложно сочетающихся формационных блоков зон спрединга, элементов вулканических дуг, зон субдукции и фрагментов шельфовых бассейнов. Тектоническая стабилизация территории завершилась к концу карбона и сопровождалась развитием широких полос меланжа, становлением и внедрением расслоенных базитовых и гранитоидных массивов. Одним из таких массивов является Сыростанский интрузив редкометалльной специализации, с которым мы связываем определенные надежды относительно золотоносности. Массив расположен в 15 км к северо-западу от г. Миасс и представляет собой

многофазную структуру, формировавшуюся в течение раннего карбона. В целом это довольно хорошо изученное геологическое образование, поскольку еще с конца прошлого века здесь ведется активная карьерная добыча гранита. Вместе с тем есть отдельные моменты, которые требуют более пристального внимания. Речь идет о перспективах золотоносности эндоконтактовых зон Сыростанского массива, где из-за сильной залесенности территории соответствующих работ не проводилось. Геохимическим и геологическим картированием апикальной части массива, расположенной на территории учебного геологического полигона, установлено проявление Студенческое. Оно заключено среди комплекса скальных пород герцинского тектонического цикла, представленных диоритами, гранитами, ксенолитами амфиболитов и мраморов, а также телами скарнов, дайками лампрофиров, пегматитов и кварцевыми жилами (табл. 1).

Табл. 1. Содержание микропримесей в породах проявления Студенческое

Элементы	Породные комплексы и содержание элементов (ppm)							
	Мрамо-ры	Диориты	Биотитовые граниты	Жильные грани-тоиды	Сланцы	Лампро-фиры	Жильный кварц и охры	Скарны
Cu	2,5/0,6	23/0,7	**25,4/1,3**	18,5/0,9	29/0,5	32,5/0,9	39	65
Zn	–	**78,3/1,1**	**67,5/1,1**	40/0,7	**93,5/1,2**	**80/1,1**	44	110
Pb	2,6/0,3	**22,5/1,5**	18,9/0,9	**26,1/1,3**	**20/1,0**	7/0,5	9,2	90
Mo	–	**1,11/1,2**	**1,32/1,3**	**1,38/1,4**	1,01/0,5	0,3/0,3	30	–
Ag	–	–	–	–	**0,11/1,1**	–	6	–
Ni	2,9/0,1	14,9/0,3	**10/1,3**	**8,4/1,1**	26,2/0,3	**60/1,1**	24	8,5
Co	–	9,4/0,9	**7,9/1,6**	4,5/0,9	15,1/0,8	**22,5/2,2**	8,2	6,5
Cr	–	41,8/0,8	**31/1,2**	**30,8/1,2**	**28,5/2,8**	**160/3,2**	82	30
V	–	**77**/0,7	**84/2,1**	**40,8/1,0**	**147/11,3**	**175/1,7**	121	65
Ge	–	–	–	0, 6/0,4	1,1/0,6	–	–	5,5
Ga	–	**20/1,0**	**21,5/1,1**	15,8/0,8	18,2/0,6	11/0,6	–	12,5
Ti	1,3/0,0	27,1/0,03	39,9/0,2	18,1/0,1	43,5/0,01	45/0,1	1,5	17,5
Mn	240/0,2	334/0,5	285/0,5	338/0,6	**562/8,4**	900/0,7	465	1000
P	–	**2210/13,8**	**2400/34,3**	**761,5/10,9**	**21250/275**	**3000/18,8**	350	300
Sr	409/0,7	61/0,8	–	30,8/0,1	**232/5,2**	**150/1,9**	–	250
B	–	6,4/0,4	5,6/0,4	8/0,5	5/0,3	3,5/0,2	5	18
Sn	–	2,6/0,9	2,6/0,9	2,6/0,9	2/0,7	1,5/0,5	–	3,5
Bi	–	–	–	1,2/0,02	–	0,5/0,01	62	1,5
Zr	**47/2,5**	**81,8/3,2**	88,5/0,4	66,1/0,3	**93/4,7**	**80/3,1**	64	115
Li	–	8,1/0,4	3/0,8	–	18,1/0,3	0,5/0,03	–	–
Nb	–	9/0,5	10,2/0,1	12,6/0,6	9,7/0,4	–	–	–
Y	14/0,5	–	–	–	–	–	–	–
Число проб	23	20	12	18	9	2	5	4

Примечание. В числителе – среднее содержание элемента; в знаменателе – кларк его концентрации. Полужирным выделены значения элементов, концентрации которых выше кларка. Кларки концентраций рассчитывались относительно кларков по А. П. Виноградову; для мраморов – по К. Таркяну и К. Ведеполю, Прочерк – содержания ниже чувствительности анализа. Чувствительность спектрального анализа: Cu – $1\cdot10^{-3}$, Zn – $1\cdot10^{-3}$, Pb – $1\cdot10^{-3}$, Mo – $1\cdot10^{-5}$, Ag – $1\cdot10^{-5}$, Ni – $1\cdot10^{-3}$, Co – $1\cdot10^{-3}$, Cr – $1\cdot10^{-3}$, V – $1\cdot10^{-3}$, Ga – $1\cdot10^{-3}$, Ge – $1\cdot10^{-3}$, Ti – $1\cdot10^{-3}$, Mn – $1\cdot10^{-3}$, P – $1\cdot10^{-3}$, Sr – $1\cdot10^{-3}$, B – $1\cdot10^{-3}$, Sn – $1\cdot10^{-3}$, Bi – $1\cdot10^{-3}$, Zr – $1\cdot10^{-3}$, Li – $1\cdot10^{-3}$, Nb – $1\cdot10^{-3}$, Y – $1\cdot10^{-3}$. *Определения проведены методом атомно-эмиссионного количественного спектрального анализа в Александровской опытно-методической экспедиции Росгеологии.*

К наиболее ярким геохимическим признакам магматических образований проявления относится интенсивное накопление фосфора, а также резко выраженная зараженность пород Co, Cr, Ni, V, Cu, Zn, Pb и особенно Mo. Перспективы проявления обусловлены следующими благоприятными характеристиками:

1. Географо-экономическими. Объект установлен в 20 км юго-восточнее г. Миасса; он расположен в 1 км от автотрассы Миасс-Челябинск и в 2 км от линии ЛЭП;

2. Горнотехническими условиями. Мощность вскрышных пород не превышает 5–7 м. Зеркало грунтовых вод находится на глубине около 30 м и гипсометрически совпадает с урезом местного водотока;

3. Качественными характеристиками рудной зоны. Золотоносность представлена двумя генетическими типами руд, которые относятся к скарновой и сульфидно-кварцевой формациям. Первая приурочена к телам скарнов на границе гранитоидов и мраморов. Вторая связана с квар-

цевыми жилами, которые, располагаясь кулисообразно, образуют зону, ориентированную в западных румбах. Зона прослеживается на 50 м при ширине около 60 м. При этом геологическая ситуация позволяет прогнозировать под наносами ее протяженность еще на 500 м. Мощность кварцевых жил достигает 2 м. Примечательно присутствие в жилах пустот и карманов выщелачивания, заполненных железистыми охрами. Чаще всего форма пустот сохраняет конфигурацию окисленных сульфидов, а карманы представлены пещерами глубиной более метра.

Изучение продуктов разрушения кварцевых жил показало наличие Ag и Mo. Причем концентрации последнего оказались на уровне промышленных значений, достигая нескольких сотых процента ($3 \cdot 10^{-2}$ %). С учетом этих фактов проведены исследования золотоносности породных комплексов с использованием рентгено-флюоресцентного прибора РЛП-3-0. Полученные данные показали содержания золота от 8 до 100 г/т (табл. 2).

Табл. 2. Содержание химических элементов в породах проявления Студенческое, %

№ проб	Au	Ta	W	Zn	Cu	Fe	Mn	Cr	Sr	U
1-18	**0,0008**	0,05	0,0047	0,0035	0,00	0,84	0,553	0,0057	0,001	0,005
1-18-2	**0,0014**	0,055	0,005	0,003	0,00	0,86	0,565	0,0057	0,0009	0,004
1-48-2	**0,0025**	0,051	0,0043	0,0028	0,00	0,98	0,601	0,0056	0,0009	0,004
6а-18	**0,0092**	0,00	0,0046	0,0187	0,0166	23,47	0,579	0,008	0,0044	0,00
6а-18-2	**0,0131**	0,00	0,0022	0,0174	0,0234	23,48	0,678	0,0127	0,0043	0,00
8-18	**0,0069**	0,013	0,00	0,0031	0,00	0,00	0,079	0,0031	0,0067	0,001
8-18-2	**0,00**	0,041	0,0156	0,0033	0,0076	1,36	0,663	0,0045	0,001	0,002
8-18-3	**0,0059**	0,023	0,00	0,0029	0,00	0,00	0,09	0,006	0,0066	0,001

Был выполнен внешний контроль определений золота методом пробирного анализа, который не подтвердил промышленных концентраций металла. Вместе с тем, несмотря на неблагоприятные результаты анализа, перспективы проявления остаются высокими. Этот вывод базируется не только на общей благоприятной геологической ситуации, но также на выявлении в одном из образцов макроскопически видимого Au. Золото заключено в жильном кварце, где образует тонкие прожилки и вкрапления. Наконец, дополнительные подтверждения золотоносности пород были получены рентгенофлуоресцентным методом с использованием спектрометра марки Clever C-31. Зафиксированы содержания золота на уровне от первых до десяти г/т. Учитывая вышеизложенное, можно сделать заключение, что на Студенческом проявлении золото распределено неравномерно и, очевидно, локализуется отдельными гнездами. Скорее всего, в этом кроется причина отрицательных результатов выполненных анализов. Принимая во внимание все вышеизложенное, золоторудное проявление Студенческое представляется перспективным и необходимо дальнейшее его изучение. К сказанному следует добавить еще один интересный момент. Миасский район – это один из старейших в стране регионов по добыче россыпного золота. В свое время именно здесь был выявлен уникальный самородок «Большой треугольник» весом более 30 кг. Активно россыпная золотодобыча в районе ведется и в настоящие дни. С этой точки зрения следует обратить внимание на долину реки Малый Сыростан, дренирующую Сыростанский массив. По имеющимся данным, необходимых работ здесь не проводилось. Однако, учитывая вышеизложенный материал по золотоносности массива, а также принимая во внимание благоприятную геоморфологическую ситуацию речной долины, особенно в ее верховьях, поиски россыпного золота здесь могут дать положительные результаты.

Еще одним практически интересным объектом на территории учебного полигона являются скарново-жильные образования Тургоякского известнякового поля. Это гигантская, площадью более 50 км^2, тектоническая пластина из известняков раннего девона, заключенная в серпентинитовом меланже. В юго-западной ее части действует крупный карьер по отработке пород для флюсовых нужд. Известняки перекрыты яшмоидами и вместе с ними прорваны дайками диабазов. Дайки вертикальные либо пологие, прослеживаются до 300 м и имеют мощность 0,5–5 м. В рамках геологической практики проведено доизучение южного фланга территории. Выполненными исследованиями установлено развитие силикатных и известковых скарнов, пространственно

связанных с дайками диабазов. Помимо скарнов здесь же фиксируются поздние жильные полиминеральные тела, наиболее интересными из которых являются карбонат-кварц-аксинитовые и аксинитовые. Жилы данного состава несут постскарновую пирит-халькопиритовую минерализацию с признаками повышенной золотоносности. Этот комплекс пород требует особого внимания, поскольку по данным, полученным на установке РЛП-3-01, в них фиксируются содержания золота от долей до *n*10 г/т. Особый интерес вызывает борная (аксинитовая) минерализация. Как известно, бор в известковых скарнах может образовывать промышленные скопления датолита ($CaB[SiO_4]OH$) и данбурита ($Ca[B_2Si_2O_8]$) Часто в таких случаях им сопутствует аксинит $Ca_2(Fe,Mn,Mg)A_{l2}BSi_4O_{15}(OH)$. На рассматриваемой территории присутствие этого минерала установлено в форме жил, пространственно связанных с выявленными скарнами. Таким образом, на Миасском геологическом полигоне есть все основания ожидать концентрацию не только золотой, но и борной промышленной минерализации. Для подтверждения сделанного заключения необходимо проведение поисковых работ с применением буровых технологий.

Выводы. Учебные геологические полигоны РУДН на Южном Урале – это территории, которые, с одной стороны, являются оптимальными для проведения полевого обучения студентов-геологов, а с другой – представляют собой перспективные площади для выявления новых месторождений полезных ископаемых. Участие студентов в этом процессе является наиболее эффективным учебным методическим подходом в их профессиональной подготовке.

Гирфанов М. М., Истомин В. А., Федоров Д. Т., Сватков А.С.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

УЧАСТИЕ ФГБУ «ЦНИГРИ» В МЕЖДУНАРОДНОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ В ОБЛАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

Представлен обзор участия института ЦНИГРИ в зарубежных работах по геологическому изучению недр. Рассмотрены основные направления международной деятельности и актуальные задачи, стоящие перед ФГБУ «ЦНИГРИ» в области международного сотрудничества в системе Роснедр.

Ключевые слова: международное сотрудничество, геологическое изучение недр и недропользование, двусторонние межправительственные комиссии по торгово-экономическому и научно-техническому сотрудничеству, Межправительственный Совет по разведке, использованию и охране недр стран СНГ.

Международное сотрудничество современной России с зарубежными странами в области геологии и недропользования имеет прочную основу, заложенную в период бывшего Советского Союза. В этот период было проведено систематическое геологическое изучение территории нынешнего СНГ, создана единая минерально-сырьевая база отечественной металлургии. Выдающееся развитие получили фундаментальные и прикладные науки геологического цикла. Отечественная геология, в распоряжении которой находилось колоссальное разнообразие продуктивных площадей и уникальных объектов, заняла лидирующие позиции в мире. Целое поколение геологов ЦНИГРИ посвятило лучшие годы своей жизни работам в Кызылкумах, Рудном Алтае, Мугоджарах, Прибалхашье, Алмалыке, других богатейших регионах бывшего СССР.

Советские геологи из всех республик оказывали существенную помощь освободившимся от колониального гнета странам Африки, Азии и Латинской Америки. Были составлены геологические и прогнозно-металлогенические карты, открыты десятки месторождений, построены рудники в Китае, Монголии, Алжире, Анголе, Гвинее, Египте, Мали, Мозамбике, других странах. Студенты-геологи обучались в ВУЗах республик СССР, а наши преподаватели работали в национальных университетах. Постепенно налаживались связи с научными геологическими организациями западных стран, ускорившиеся в конце 1980-х годов.

Изменения, произошедшие в начале 1990-х годов, оказали существенное влияние на международное положение России и бывших советских республик в сфере геологии и недропользова-

ния. Контроль над ресурсами и ответственность за восполнение и развитие МСБ перешел к независимым государствам нового Содружества. Были достигнуты законодательно закрепленные договоренности о правах на ранее полученную геологическую информацию, собственность на которую была закреплена по территориальному принципу.

Почти на целое десятилетие были заторможены межгосударственные контакты со странами дальнего зарубежья в минерально-сырьевой сфере. Взаимодействие здесь ограничивалось в основном уровнем действовавших на свой страх и риск частных компаний российского происхождения.

Однако уже с начала 2000-х годов началось постепенное восстановление межгосударственных контактов в минерально-сырьевой сфере, которые к настоящему времени вплотную приблизились к стадии полномасштабного сотрудничества.

Основным механизмом такого взаимодействия на современном этапе является деятельность международных организаций по научно-техническому и экономическому сотрудничеству. Во взаимодействии стран-участников СНГ основную роль играет Межправительственный Совет по разведке, использованию и охране недр. В рамках Совета обсуждаются актуальные направления развития геологии и недропользования в современных условиях, составляются и принимаются перспективные планы сотрудничества в области геологического изучения недр, контролируется их исполнение.

Не меньшую роль играют двусторонние межправительственные комиссии по торгово-экономическому и научно-техническому сотрудничеству (МПК), которые связывают Россию со всеми странами СНГ, а также с многими десятками стран дальнего зарубежья. Основной целью деятельности МПК является эффективная государственная поддержка бизнеса России и дружественных стран на международном уровне.

Деятельность МПК регламентируется соответствующими нормативными документами Правительства РФ и Исполнительного комитета стран СНГ и контролируется Минэкономразвития России. В настоящее время действует Постановление Правительства Российской Федерации от 26 августа 2020 года № 1292 «О российских частях Межправительственных комиссий по торгово-экономическому и научно-техническому сотрудничеству между Российской Федерацией и зарубежными странами», утвержденное Председателем Правительства РФ М. В. Мишустиным.

МПК по сотрудничеству со странами с существенной ролью минерально-сырьевого комплекса с российской стороны возглавляют руководители Министерства природных ресурсов и экологии РФ (Ангола, Гвинея, Зимбабве, Камбоджа, Судан, ЮАР) или Роснедр (Гана, Мозамбик, Эфиопия). По ряду других стран в составе МПК сформированы специализированные рабочие группы по сотрудничеству в области геологии и недропользования, также возглавляемые с российской стороны руководством Роснедр (Венесуэла, Китай, Куба, Таджикистан, Узбекистан).

ЦНИГРИ как ведущий институт Министерства Геологии бывшего СССР, отвечавший за научное и методологическое обеспечение ГРР на золото, серебро, платиноиды, алмазы, медь, никель, кобальт, свинец и цинк, всегда находился в эпицентре геологоразведочных работ по этим направлениям, в том числе зарубежных. В советский период, особенно в 1970–1990 годы, институтом проводились систематические тематические и экспертные работы на объектах Закавказья, Казахстана и Средней Азии. Через систему внешнеэкономического объединения «Зарубежгеология» десятки специалистов института участвовали в зарубежных геологоразведочных работах. В 1980-х годах правительством было инициировано сотрудничество в сфере геологического изучения недр в рамках Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ), где специалисты ЦНИГРИ также играли ключевую роль. Проводились совместные мероприятия с организациями геологических служб Канады, КНР, США. Ученые ЦНИГРИ выступали с докладами на международных геологических конгрессах, сессиях Международной ассоциации по генезису рудных месторождений (IAGOD).

В постреформенный период (1992–2010 гг.) специалисты ЦНИГРИ также оказались востребованы в зарубежных работах. На контрактной основе геологи и технологи института участвовали в поисках и оценке месторождений золота, полиметаллов, меди, алмазов в Алжире, Гвинее, Марокко, Монголии, Мьянме, Аляске, Юте, Перу, Венесуэле, Кипре, Колумбии.

В начале последующего десятилетия институт был задействован в основном в решении внутрироссийских задач в связи с существенной реорганизацией геологической службы.

Новый этап начался с 2017 года в связи с общим курсом России на укрепление международного сотрудничества в области геологического изучения недр. В 2017 году в ФГБУ «ЦНИГРИ» был сформирован Отдел международного сотрудничества. Поскольку базовым направлением деятельности отдела является выполнение Государственного задания в части мониторинга состояния и основных тенденций динамики МСБ мира, отдел включен в структуру Отделения минерально-сырьевой базы ФГБУ «ЦНИГРИ». В части направления международного сотрудничества деятельность отдела напрямую курируется дирекцией института.

ФГБУ «ЦНИГРИ» в настоящее время остается ведущим экспертным и научно-исследовательским центром Российской государственной геологической службы в области прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. Будучи подведомственной организацией Роснедр Минприроды России, институт действует в сфере международного сотрудничества в соответствии с определяемыми этим ведомством государственными целями и задачами.

Основной целью международного сотрудничества в рамках компетенции ЦНИГРИ является воспроизводство и безопасное освоение минерально-сырьевых ресурсов России и дружественных стран на взаимовыгодной основе и в национальных интересах всех заинтересованных сторон.

К основным направлениям международного сотрудничества ФГБУ «ЦНИГРИ» в сфере геологического изучения недр и недропользования на современном этапе относятся следующие.

1) Мониторинг минерально-сырьевой отрасли зарубежных стран:

• мониторинг МСБ и производства минерального сырья ТПИ мира, отдельных стран и ведущих горнорудных компаний: в рамках исследования мировой МСБ особое внимание обращается на государства, с которыми может быть налажено либо уже налажено взаимовыгодное сотрудничество в части расширения и освоения МСБ этих стран;

• мониторинг зарубежных достижений и инноваций в сфере техники и технологии ГРР на алмазы, благородные и цветные металлы (АБЦМ), разработка предложений по их использованию в геологоразведочной отрасли России.

2) Участие в деятельности двусторонних МПК, в первую очередь находящихся в ведении Минприроды России и Роснедр:

• участие в деятельности рабочих групп по геологии и недропользованию;

• информационно-аналитическое обслуживание деятельности межправительственных комиссий в части задач в области геологии и недропользования;

• разработка предложений по сотрудничеству в области геологии и недропользования между геологическими службами РФ и зарубежных стран, участие в планировании таких работ;

• разработка предложений по привлечению российских горнодобывающих и инвестиционных компаний к геологическому изучению, освоению и эксплуатации минеральных ресурсов зарубежных стран.

3) Научно-исследовательские и геологоразведочные работы на территории зарубежных стран и трансграничных территориях:

• организация и участие в выполнении совместных опытно-методических работ по развитию и продвижению инновационных методик;

• организация и участие в совместных работах по геологическому изучению перспективных площадей и объектов на территории зарубежных стран;

• выполнение коммерческих работ в сфере прогноза, поисков и оценки АБЦМ по контрактам с компаниями-недропользователями.

4) Научно-организационная деятельность:

• участие в организации и проведении международных научно-методических конференций, форумов, выставок, экскурсий;

• подготовка публикаций, докладов, презентаций по направлениям международной деятельности ЦНИГРИ и зарубежным объектам, представляющим интерес для российского недропользователя.

Развитие такого направления, как международное сотрудничество, невозможно без учета современных требований – практической отдачи от любой деятельности и использования эффективных методов сбора и обработки информации в режиме реального времени для принятия решений. В связи с этим перед ФГБУ «ЦНИГРИ» стоят в рассматриваемой сфере следующие актуальные задачи:

- разработка, создание и обслуживание высокоинформативных баз данных по всем направлениям мировой минерально-сырьевой отрасли в целях повышения оперативности и достоверности информации для принятия решений на правительственном уровне;
- налаживание прямых контактов на постоянной основе с институтами геологических служб, государственными и частными геологоразведочными и горнорудными компаниями дружественных стран;
- содействие обмену доступной геологической информацией между Россией и странами, входящими в межгосударственные организации (СНГ, ЕАЭС, ШОС, БРИКС и другие);
- усиление практической направленности выполняемых научно-методических и экспертно-аналитических разработок в целях повышения инвестиционной привлекательности МСБ зарубежных стран для российских профильных компаний и инвесторов.

Глухов А. Н., Колова Е. Е.
СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

СДВИГОВЫЕ ДУПЛЕКСЫ – РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КОНИ-ПЬЯГИНСКОГО РАЙОНА ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ВУЛКАНОГЕННОГО ПОЯСА

Показано, что известные медно-порфировые рудопроявления Кони-Пьягинского района контролируются сдвиговыми дуплексами растяжения. Предложено использование сдвигово-дуплексной модели рудоконтроля для прогнозирования медно-порфировых месторождений в Охотско-Чукотском поясе.

Ключевые слова: сдвиговый дуплекс, медно-порфировое оруденение, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс.

В последние четыре года в Магаданской области ведутся активные работы по выявлению и вовлечению в промышленное освоение медно-порфировых (далее МП) месторождений. Это делает актуальным вопрос разработки геолого-поисковых моделей. Помимо хорошо известных поисковых критериев, вошедших в хорошо известные модели (Кривцов и др., 2001; Hollister, 1974; Gustaffson, Hunt, 1975), очевидно, необходимо выявление новых, учитывающих как последние знания о строении Земли, так и современные методики прогноза и поисков месторождений, разработанных на их базе. Одним из таких новых для региона подходов является сдвигово-дуплексная модель размещения МП объектов, разработанная сотрудником Геологической службы США Л. Дрю (Drew, 2005) для МП месторождений Балкано-Карпатского региона. Основные элементы этой модели предусматривают, что МП месторождения приурочены к зонам сдвигов глубинного заложения, развивающихся при субдукционных процессах и субпараллельных окраине континента. В их пределах выделяются участки кулисообразного сочленения сдвигов, характеризующиеся сочетанием деформаций простого сдвига и транстенсии – дуплексы растяжения (далее ДР). Границы дуплексов и особенно их угловые зоны характеризуются преимущественным развитием разрывов растяжения, благоприятных для внедрения порфировых интрузивных штоков и формирования штокверков. Внутренние части ДР, напротив, характеризуются развитием главным образом сдвиговых разрывов, благоприятных для локализации жильного Pb-Zn и Au-Ag оруденения. В пределах Кони-Пьягинского района ОЧВП известны Mo-Cu и Au-Ag рудопроявления. Нами изучались МП рудопроявления Лора и Тальниковое, а также Au-Ag Крутое и Рыжик. Тальниковое рудное поле приурочено к локальному ДР, принадлежащему зоне Бабушкинского глубинного разлома СЗ простирания. В пределах

рудного поля дайки кварцевых диоритов, диоритовых порфиритов и гранодиорит-порфиров изменяют свое простирание с СЗ на субмеридиональное, увеличиваются их мощности. К этому участку приурочены тела гидротермально-магматических брекчий и штокверки с Cu-Mo минерализацией. Растяжение подчеркивается также сбросом субширотной ориентировки, по которому южная часть рудного поля опущена на сотни метров. ДР хорошо читается в магнитном поле. На рудопроявлении Лора в магнитном поле также отчетливо выделяется S-образная структура ДР. Однако известные рудные зоны находятся за ее пределами. Близкая картина наблюдается на Cu-Mo рудопроявлении Прямое. Здесь выделение региональных рудоконтролирующих ДР является более сложной задачей. Однако и здесь, с некоторым приближением, выделяются S-образные структуры, связанные со Среднинским глубинным разломом широтного простирания, параллельным палеозоне субдукции. По геофизическим данным (С.А. Шубин, 2005 г.), Среднинский разлом представляет собою правый сдвиг. В его зоне мы выделяем удлиненный в широтном направлении сдвиговый ДР, размерами 70 × 50 км. К его границам приурочены все наиболее перспективные Cu-Mo рудопроявления Кони-Пьягинского района, в свою очередь Au-Ag проявления сосредоточены внутри ДР. Выявленные нами закономерности могут быть использованы при прогнозировании и оценке МП и минерализации также и на других отрезках ОЧВП.

Список литературы:

1. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В. Медно-порфировые месторождения. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
2. Drew L. J. A Tectonic Model for the Spatial Occurrence of Porphyry Copper and Polymetallic Vein Deposits – Applications to Central Europe // Scientific Investigations Report USGS 2005–5272. – 2006. – 36 p.
3. Hollister V. F. Regional characteristics of porphyry copper deposits of South America // Society Mining Engineers AIME Trans. – 1974. – V. 255. – P. 5–53.
4. Gustafson L. B., Hunt J. P. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile // Economic Geology. – 1975. – V. 70. – P. 857−912.

Голубев С. Ю.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ ПЕРЕНОСА АЛМАЗОВ В СОСТАВЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕК ОЛЕНЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ ЯКУТИИ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ДОЛИННЫХ ОСАДКОВ

Для бассейнов рек территории Оленекского поднятия применима модель переноса грубообломочного материала, разработанная для озера Агассис. Данная модель предполагает перенос грубообломочного материала на значительные расстояния в составе потоков, обладающих большой гидродинамической активностью (гляциосели). Вместе с грубообломочным материалом могут переноситься на значительные расстояния и алмазы. Современные аллювиальные россыпи формируются за счет перемыва комплекса долинных осадков, сформированного потоками гляциоселевого типа.

Ключевые слова: Арктическая зона, опытно-методические работы, шлихо-минералогическое опробование, минералы-индикаторы кимберлитов (МИК), алмазы.

В 2021 году в рамках решения задач по Государственному заданию были начаты работы по адаптации методики проведения шлихо-минералогических поисков алмазных месторождений в условиях развития флювиогляциальной седиментации в Арктической зоне Якутии.

Начиная с конца 60-х годов прошлого столетия и до нашего времени поисковые работы на выявление коренных источников алмазов в пределах Оленекского поднятия практически не прекращаются. К сожалению, это не привело к открытию коренных месторождений алмазов.

Опыт проведения полевых работ, а также анализ особенностей строения толщ аллювиальных отложений, проведенный по описаниям из производственных отчетов, показывает, что формирование долинного комплекса осадков района Оленекского поднятия существенно отличается от классических представлений о формировании аллювия и происходило под влиянием флювиогляциальной седиментации. Об этом свидетельствуют трапециевидная форма долин и особенности состава осадков – гранулометрического (несортированный галечно-щебнисто-гравийно-песчано-глинистый материал) и вещественного (экзотическая галька, присутствие в составе тяжелой фракции шлихов дальнеприносного материала). Отмеченные факты указывают на то, что при формировании данных долинных осадков происходило достаточно дальнее перемещение обломочного материала, что надо учитывать, при рассмотрении вопросов о генезисе россыпей.

Следует отметить: в отчетах при описании особенностей строения долин рек, состава отложений, слагающих террасы, указываются признаки, которые могут свидетельствовать о том, что долины рек были заложены в период дегляциации территории. Обращает на себя внимание также тот факт, что в описаниях русловых отложений отмечена крайне низкая степень сортировки материала, не свойственная отложениям, формирующимся в условиях обычного аллювиального типа седиментогенеза. Русловые отложения всех террас представлены обычно гравийно-галечным материалом, связанным глинисто-алевритовым заполнителем или суглинком. Подобный тип отложений формируется обычно из потоков, перегруженных обломочным материалом. Далее в верховьях рек отмечаются аккумулятивные формы рельефа, выраженные в виде каменных рек. Отложения подобного типа широко распространены в ледниковых областях и представляют собой отложения гляциоселей, при этом материал переносится на значительные расстояния.

В 2022 году были выполнены опытно-методические работы на участке истоков бассейна р. Усунку. Здесь, по данным ГСР, известны широкие области распространения песчаных отложений зырянского горизонта Q_{III2}. Возраст песчаной толщи определяется по костным остаткам мамонтов, а также по присутствию пресноводных диатремовых водорослей, отвечающих условиям слабопроточного бассейна с очень низкотемпературным режимом, и соответствует эпохе верхнечетвертичного оледенения. Мощность отложений варьирует от 3–5 м на водораздельных пространствах до 35 м в долинах (Кютингде). Отложения зырянского горизонта представлены кварц-полевошпатовыми песками со светло-серыми, серыми и желтовато-серыми окрасками. Пески от тонко- до среднезернистых, хорошо сортированные, с горизонтальной и косой слоистостью. Зерна песка характеризуются хорошей окатанностью. По составу тяжелой фракции, окатанности зерен и сортированности зырянские пески резко отличаются от подстилающих их песчаных отложений перми и юры. Состав тяжелой фракции до 60 % состоит из роговой обманки, пироксена и эпидота. В то же время в составе подстилающих пермских пород пироксен и эпидот не превышает 2 %, в юрских – 9 %, при полном отсутствии роговой обманки. В основании зырянского горизонта почти повсеместно отмечаются галечники с редкими валунами, размером до 15 см. Петрографический состав обломочного материала – кварц, кремень, кварцит, долерит, пегматит с постоянным присутствием гальки и щебенки местных пород [1].

В ходе проведения опытно-методических работ решались следующие задачи:

- изучение комплекса осадков, выполняющих долины рек;
- выявление геоморфологических признаков строения долин, для которых характерно появление алмазов в составе грубообломочных отложений, выполняющих эти долины;
- выявление специфики транспортировки минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) и алмазов в процессе формирования долинных комплексов рек.

При проведении геолого-геоморфологических маршрутов установлено, что отложения зырянского оледенения распространены на участке работ практически повсеместно. Отложения представлены мелкозернистыми и тонкозернистыми песками коричневато-серого цвета, хорошо сортированными, наблюдается разнонаправленная слоистость: горизонтальная, косая, реже волнистая, выраженная с разной степенью четкости. В основании горизонта зачастую залегают галечники, состоящие из гравия и гальки с заполнителем из разнозернистого песка темно-желтого цвета. В грубообломочном материале преобладает галька размером 2–5 см, но иногда наблюдаются

и небольшие валуны размером до 20 см. В составе зырянских галечников преобладают местные породы, представленные песчаниками, алевропесчаниками, алевролитами, долеритами, туфами, а также экзотическими породами (кварц, кварцит, кремень, гранит, яшма и др.). Галечный материал наблюдается в бортах долин водотоков, ближе к урезу воды. Наблюдаемая мощность галечников от 0,1 до 1,5 м. Выходы зырянских галечников сопровождаются появлением гравийно-галечного материала в аллювии водотоков. Мощность гравийно-галечных отложений в аллювии рек не превышает 20 см, глубже отложения представлены темно-серой глиной.

В процессе проведения геолого-геоморфологических маршрутов шло шлиховое опробование грубообломочного материала. Шлиховые пробы отбирались из русла реки и бортов. В отобранных шлиховых пробах в гранулометрическом составе преобладает разнозернистый песок кварц-полевошпатовый коричневого, коричневато-серого цвета; доля гальки и гравия составляет от 40 до 60 %, глины – до 30 %. Галька и гравий представлены на 70–90 % туфами/алевропесчаниками (в зависимости от размываемых пород) 0–2 и 3–4 классов окатанности (в зависимости от дальности транспортировки), на 10-30 % долеритами 3–4 класса окатанности, единичными находками яшмы, кремней, кварцита и кварца 3–4 класса окатанности. В зырянских отложениях часто встречаются гальки, представленные идеально окатанными шарами. Такая степень окатанности образуется в эворзионных котлах при вращении валунов и гальки водой.

В результате проведенных опытно-методических работ на участке Усунку, а также минералогического анализа шлиховых проб, установлено следующее.

1. Долины, по которым текут крупные современные водотоки, имеют трапециевидный поперечный профиль с неровным продольным профилем, в рельефе это выражается в виде большого количества вытянутых в различных направлениях и изометричных холмов, бугров в днище долины, которые промываются современными водотоками. Ширина долины р. Усунку на изученном участке реки варьирует от 300 м в верховьях до 1200 м ниже по течению.

2. Днища крупных долин заполнены несортированным галечно-щебнисто-гравийно-песчаным материалом, в котором встречаются эрратические валуны размером до 20 см. В составе грубообломочного материала преобладают местные породы, представленные песчаниками, алевропесчаниками, алевролитами, долеритами, туфами, в меньшей степени отмечаются хорошо окатанные (3–4 класс) экзотические породы (кварц, кварцит, кремень, гранит, яшма), что указывает на формирование данных осадков потоком, для которого характерна большая дальность транспортировки обломочного материала и алмазов в его составе.

3. В составе тяжелой фракции шлиховых проб, отобранных из зырянских галечников, наблюдается существенное количественное преобладание зерен МИК над пробами, отобранными из аллювиальных отложений.

4. В составе тяжелой фракции присутствуют дальнеприносные минералы (ставролит, турмалин, сфен), которые могут быть снесены с участка развития пород эекитской серии раннего протерозоя (PR_1ek) зеленосланцево-метаморфических образований (сланцы, филлиты, метаалевролиты, метапесчаники) и гранитов архейского возраста района Сололийского выступа, расположенного в 50 км севернее места пробоотбора.

5. В составе тяжелой фракции в современном аллювии и зырянских отложениях из МИК преобладает пикроильменит (в количестве до сотен, иногда – тысяч знаков на шлих), встречаются также пироп и циркон (до десятков знаков). Выявленные МИК практически во всех пробах имеют III-IV класс износа, что может указывать на их дальнюю транспортировку.

В северо-американской литературе описаны процессы, в ходе которых при дегляциации происходит перенос грубообломочного материала на расстояния до нескольких сотен км. Подобные процессы обусловлены последовательными спусками временных ледниковых озер, являющимися временными базисами эрозии, формирующимися при прогрессирующем таянии ледникового покрова.

За основу интерпретации данных нами была взята модель разноса материала потоками катастрофических спусков временных ледниковых озер (на примере озера Агассис). Отложения, сформированные такими потоками, получили название спиллвеев. (Алан Э. Кехью, Университет Западного Мичигана; Марк Л. Лорд, Университет Западной Каролины. https://serc.carleton.edu/vignettes/collection/36631.html). Формирование спиллвеев происходит при разрушении в про-

цессе таяния ледниковых бортов озера со сбросом воды по типу селевого потока. При сбросе воды мобилизуются осадки, выполняющие дно озера, представленные моренным материалом и отложениями самого озера. Протяженность спиллвеев составляет сотни километров. Ширина наиболее углубленного внутреннего канала колеблется от 0 до 5 км, поток воды растекается над водораздельными пространствами на ширину до 10 км. Отложения спиллвеев представлены несортированным гравийно-галечно-валунным материалом с песчаным заполнителем. Какая-либо слоистость отсутствует. Для долин спиллвеев характерна трапециевидная форма. Подобная форма долины отмечается у р. Усунку.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что происхождение зырянских осадков озерно-ледниковое. В процессе дегляциации территории шло активное образование озер на поверхности льда, на что указывает хорошая сортировка, горизонтальная слоистость отложений, светло-серая, серая и желтовато-серая окраска песков, присутствие пресноводных диатремовых водорослей. При прорыве стенок льда происходил катастрофический сброс воды с формированием трапециевидных долин, которые наследуют современные водотоки. Места, где происходил прорыв воды с мобилизацией донных осадков, характеризуются резким преобладанием грубообломочного материала над песчаным. Именно с такими отложениями связывается АО «Алмазы Анабара» появление алмазов (связь между алмазами и зырянскими отложениями). Положение песков на водораздельных пространствах, которые перекрывают алмазоносные галечники, объясняется тем, что часть озерных осадков при полной дегляциации территории была спроецирована на поверхность.

Таким образом, на основе анализа полевых наблюдений, а также минералогического анализа шлиховых проб бассейна р.Усунку можно сделать следующие предварительные выводы:

1. В ходе проведения геолого-геоморфологических маршрутов установлены признаки того, что для бассейна р. Усунку применима модель переноса грубообломочного материала, разработанная для озера Агассис. Данная модель предполагает перенос грубообломочного материала на значительные расстояния. Вместе с грубообломочным материалом могут переноситься на значительные расстояния и алмазы.

2. Опыт проведения поисковых работ ФГБУ «ЦНИГРИ» в различных ландшафтных обстановках севера РФ (Архангельская область, Республика Карелия, Мурманская область, север Оленекского поднятия) показывает, что современные водотоки наследуют палеодолины. Гранулометрические особенности строения толщ аллювиальных отложений, низкая степень сортировки материала, трапециевидная форма долин, наличие экзотического материала указывают на то, что долины формировались (моделировались) в период дегляциации территорий. Отложения подобного типа широко распространены в ледниковых областях и представляют собой отложения потоков, перегруженных обломочным материалом (гляциоселей).

3. Для гляциоселей характерно формирование ореолов рассеяния МИК, в том числе и алмазов, дальнего сноса.

4. Современные аллювиальные россыпи формируются за счет перемыва комплекса долинных осадков, сформированного потоками гляциоселевого типа.

В ходе дальнейших работ будет проведено геоморфологическое дешифрирование территории с целью выделения возможных положений временных ледниковых озер, а также долин, по которым происходил спуски этих озер, это позволит провести трассировку направлений движения МИК и алмазов и определить возможное положение источников алмазов.

Список литературы:

1. Битерман И. М., Горшкова Е. Р. Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200 000, серия Анабарская, листы R-51-XV, XVI. – М. : ВАГТ, 1970. – 78 с.

Голубев Ю. К., Прусакова Н. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОТКРЫТИЕ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ

Рассмотрено состояние МСБ алмазов Архангельской области. Отмечено, что последнее открытие алмазного месторождения – трубки им. В. Гриба – произошло в 1996 г. С этого времени несмотря на значительные объемы ГРР, новые месторождения не были обнаружены. В 2007 г. прекращается добыча алмазов на месторождении им. В. Гриба, общая добыча алмазов в Архангельской области уменьшается более чем в два раза. Изложены проблемы, с которыми сопряжены поиски новых месторождений, и обозначены возможные направления решения этих проблем.

Ключевые слова: Архангельская область, МСБ алмазов, кимберлиты, поиски.

Состояние МСБ алмазов. В настоящее время в Архангельской области ведется разработка двух коренных месторождений алмазов: им. М. Ломоносова (Лицензия АО «Севералмаз», входит в состав группы компаний АК «АЛРОСА» (ПАО)) и трубка им. В. Гриба (Лицензия «АГД Даймондс»). Данные месторождения расположены в пределах Зимнебережного района в 100 км севернее г. Архангельска.

В состав месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова входят шесть кимберлитовых трубок: Архангельская (по состоянию на 2021 г. запасы $АВС_1$ – 39 878,2 тыс. кар), им. Карпинского-1 (по состоянию на 2021 г. запасы $АВС_1$ – 18566,6 тыс. кар), им. Карпинского-2 (запасы АВС1 – 14059,0 тыс. кар), Пионерская (запасы $АВС_1$ – 27667,4 тыс. кар, забалансовые – 26 359,1 тыс. кар), им. Ломоносова (запасы $АВС_1$ – 47 878,0 тыс. кар; $С_2$ – 4 340,0 тыс. кар), Поморская (забалансовые – 2281,0 тыс. кар).

Месторождение им. В. Гриба представлено одноименной трубкой. По состоянию на 2021 г. для открытой разработки: запасы $АВС_1$ – 23 839,8 тыс. кар; $С_2$ – 2 554,0 тыс. кар, забалансовые – 513,8 тыс. кар.

В настоящее время добыча алмазов на месторождении им. М. В. Ломоносова осуществляется на трубках Архангельская и Карпинского-1. В 2021 г. она составила 3 847,6 тыс. кар. Срок окончания отработки трубок: Архангельской – 2031 г., им. Карпинского-1 – 2028 г.

На месторождении им. В. Гриба добыча алмазов в 2021 г. составила 4 859,0 тыс. кар. Срок окончания отработки месторождения – 2027 г.

За счет вывода из разработки в 2027 г. месторождения им. В. Гриба добыча алмазов в Архангельской области сократится более чем в два раза. В настоящее время воспроизводство запасов возможно только за счет введения в эксплуатацию алмазоносных трубок, входящих в состав месторождения им. М. В. Ломоносова. В 2028 г. планируется начало работ на трубке им. Карпинского-2, в 2032 г. – на трубке Пионерская. Однако введение этих объектов в эксплуатацию не позволяет воспроизвести добычу сегодняшнего времени.

Новых объектов под разведку нет. Последним открытием было обнаружение алмазоносной трубки им. В. Гриба в 1996 г., запасы трубки были утверждены в ГКЗ в 2005 г.

В Архангельской области в последние пять лет за счет средств госбюджета был выполнен один госконтракт «Поисковые работы на алмазы в пределах Ручьевской площади (Архангельская область)» (2020–2022 гг.) с плановым финансированием 183,0 млн руб., по факту было освоено 179 626 525 руб. Задание по оценке прогнозных ресурсов алмазов категории $Р_2$ (94 млн карат) не было выполнено. Задача воспроизводства МСБ алмазов в Архангельской области решается в основном за счет средств недропользователей. При этом основные работы проводятся в Зимнебережном районе. В последнее время работы велись по девяти лицензиям. При этом начиная с 2018 по 2021 гг. наблюдалось постепенное увеличение финансирования со 137, 6 млн руб. в 2018 г. до 323,8 млн руб. в 2021 г. На 2022 г. было запланировано освоение 659,8 млн руб. Общий объем буровых работ составил 40,5 тыс. м, в последние два года объем бурения вырос с 6 до 9–14 тыс. м. в год. В 2022 г. было выдано дополнительно 16 новых лицензий на геологическое изучение и поиски алмазных месторождений.

Прогнозные ресурсы. Для территории Архангельской области в настоящее время прогнозные ресурсы алмазов высоких категорий практически отсутствуют за исключением трубки ЦНИГРИ-Архангельская, для которой оценены ресурсы категории P_2 20 млн кар. Но данные ресурсы отнесены к категории некондиционных вследствие непромышленных содержаний алмазов в кимберлите. В то же время для Архангельской области сохраняется высокая оценка прогнозных ресурсов категории P_3. Так, для Зимнебережного района, где располагаются оба месторождения алмазов, оценка P_3 составляет 484 млн кар. Для площадей южнее Зимнебережного района оценка категории P_3 составляет 258 млн кар.

Перспективы открытия новых месторождений. После открытия месторождения им. В. Гриба при проведении поисковых работ кимберлитовые трубки с промышленными содержаниями алмазов не были обнаружены. В связи с этим главными вопросами для Архангельской области являются: где и как искать новые месторождения алмазов, какие методы при этом применять. Необходимость решения этих вопросов вытекает в том числе из анализа обоснований площадей на постановку поисковых работ на алмазы, представлявшихся в последние годы на рассмотрение НТС Роснедр. Список этих площадей крайне небольшой: Солзенская, Рочевская, Мяндозерская, Койдинская. При этом Программой ГРР Роснедр до 2025 г. в Архангельской области предусмотрен один объект «Поисковые работы на коренные алмазы в пределах Рочевской площади (Архангельская область)». Степень обоснованности остальных площадей на обнаружение месторождений алмазов неоднозначна.

Основные перспективы на обнаружение месторождений алмазов, несмотря на отрицательные результаты ГРР, по-прежнему связываются с Зимнебережным районом, где и сосредоточены основные объемы работ недропользователей. С нашей точки зрения, исходя из достаточно высокой степени опоискованности, можно говорить лишь об остаточных его перспективах. При этом открытие крупных месторождений алмазов не прогнозируется.

Причина неудач в работах по поискам месторождений алмазов в Архангельской области, по нашему мнению, связана в первую очередь с крайне сложной поисковой обстановкой, затрудняющей эффективное использование всего комплекса поисковых методик, которые обычно используются при поисках алмазных месторождений. Хорошо известно, что все кимберлитовые трубки в Зимнебережном районе были открыты только на основании выделения геофизических аномалий трубочного типа с последующей их заверкой бурением. К настоящему времени заверено колоссальное количество аномалий, большинство из которых ложные. Кроме того, магнитная аномалия, как это показано на примере трубки им. В. Гриба, может быть не связана непосредственно с самой трубкой. В настоящее время можно констатировать, что продолжение поисков алмазоносных тел с упором исключительно на заверку геофизических аномалий ведет к резкому увеличению стоимости проведения этих работ, а часто и с отрицательным результатом. При этом следует отметить, что шлихо-минералогический метод поисков при традиционном его применении не показывает какой-либо эффективности в поисковых обстановках Архангельской области.

Выход из сложившегося положения, применительно к Зимнебережному району, нам видится в следующем.

Поиски следует вести исключительно в пределах локализованных кимберлитовых полей, об этом свидетельствует опыт работ в алмазоперспективных территориях РФ и в том числе в Зимнебережном районе. Данное положение иллюстрируется результатами работ на Ручьевской площади. Заверка геофизических аномалий была начата на Вайзицком участке, который рассматривался как перспективный на вскрытие кимберлитовых тел только на основании наличия пиропов в составе терригенных отложений карбона. В то же время данный участок оказался вне кимберлитового поля, выделенного по комплексу геолого-геофизических критериев прогнозирования. В пределах этого участка кимберлитовые тела не были вскрыты.

1. В пределах Зимнебережного района ранее по данным различных исследователей были намечены перспективные участки, в пределах которых наиболее вероятно выявление алмазоносных кимберлитов. В пределах данных участков целесообразно пересмотреть результаты проведенных ранее заверочных работ.

2. Поисковым работам (с учетом накопленного опыта) должны предшествовать исследования, направленные на уточнение позиции локальных участков прогнозируемого положения

кустов кимберлитовых тел. В пределах этих участков необходимо концентрировать поисковые работы.

3. Керн заверочных скважин необходимо тщательно исследовать на предмет выявления признаков наличия кимберлитового тела вблизи пройденной скважины. В том числе следует обращать внимание на наличие сапонита, который может сохраняться в осадке только на незначительном расстоянии от кимберлитовой трубки.

4. Для территории Зимнебережного района необходимо проведение переоценки прогнозных ресурсов категории P_3 на основе результатов выполненных поисковых работ с созданием карты прогноза и локализацией участков, где с наибольшей степенью вероятности возможно выявление алмазоносных кимберлитов.

Для южной части Архангельской области выделение поисковых площадей ранга прогнозируемого кимберлитового поля затруднено, что связано с недостаточной геолого-геофизической изученностью территории. Кроме того, все эти площади объединяет то, что для них характерна очень сложная поисковая обстановка. Срез кимберлитовмещающих пород перекрыт сложнопостроенной толщей ледниковых отложений мощностью до 40–60 м. Ореол рассеяния минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) ближнего сноса, т. е. однозначно связанных с этими площадями, неизвестен. В их пределах наблюдаются ореолы рассеяния МИК, которые с наибольшей степенью вероятности потеряли связь с источником. К вопросу о постановке в пределах этой территории поисковых работ будет целесообразно вернуться после проведения прогнозно-минерагенических работ на алмазы. Необходимо разработать прогнозно-поисковый комплекс, обеспечивающий получение положительных результатов поисковых работ. Определенные рекомендации по составу этого комплекса изложены в «Методических рекомендациях по ведению алмазопоисковых работ», составленных ЦНИГРИ в рамках работ по госзаданию.

Гонгальский Б. И.

ИГЕМ РАН, г. Москва

СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УДОКАН-ЧИНЕЙСКОГО РАЙОНА

Работа выполнена по Государственному заданию ИГЕМ РАН.

Месторождения Удокан-Чинейской рудообразующей системы палеопротерозоя залегают в магматических и осадочных породах. Главными элементами рудных тел являются медь, железо и сера. Сульфидные руды образуют промышленные рудные залежи в контактовых зонах (Рудное, Верхнечинейское, Сквозное, Контактовое месторождения) среди как габброидов (эндоконтактовые руды), так и вмещающих терригенных пород, а также образуют штокверки в ранее закристаллизованных габброидах. Моделирование распределения плотностей под Удоканским и Чинейскими месторождениями указывает на высокоплотную аномалию, соответствующую верхней части Майлавского плутона ультрамафит-мафитовых пород. Фракционирование большого объема расплавов привело к концентрированию меди и других металлов и отложению их в осадочных (Удокан, 26,7 млн т Cu) и магматических (Чиней, более 15 млн т Cu) породах.

Ключевые слова: Удокан, Чинейский, сульфидные руды, медь, титаномагнетит, SMR1MP-II.

Одна из крупнейших на планете меденосных провинций (более 50 млн т меди) расположена в южной краевой части Сибирской платформы. Ее формирование сопоставляется по времени с внутриконтинентальным рифтогенезом суперконтинента Колумбии (1890–1880 млн лет) с образованием крупнейших медно-никелевых месторождений в Канаде, Австралии и на других континентах. Основу геологического строения Кодаро-Удоканского региона представляют блоки архейских пород, разделенные субмеридиональными позднеархейскими зеленокаменными поясами, перекрытыми карбонатно-терригенными нижнепротерозойскими отложениями. Они сохранились в крупном Кодаро-Удоканском прогибе и ряде мелких грабенов. Магматические породы палеопротерозоя представлены крупными массивами гранитоидов кодарского комплекса (Кодарский, Кеменский и др.) и ультрамафит-мафитовыми массивами чинейского комплекса

(Чинейский, Луктурский, Майлавский и др., рис. 1). Вертикальные перемещения блоков на этом участке земной коры достигали нескольких километров, на поверхности оказались разноглубинные составляющие вулкано-плутонических и рудно-магматических систем: расслоенные массивы и дайки, магматические, гидротермальные и осадочные месторождения меди и других металлов. Моделирование глубинного строения по программе COSKAD 3D показывает, что расслоенные массивы чинейского комплекса представляют собой верхние части магматических колонн, которые на глубине порядка 20 км соединяются в крупную магматическую камеру [3]. Выходящие на поверхность Чинейский и Луктурский массивы, а также перекрытый гранитами позднепалеозойского возраста и базальтами неоген-четвертичного возраста Удоканского лавового плато Майлавский массив сформированы высоко- и низкотитанистыми магмами.

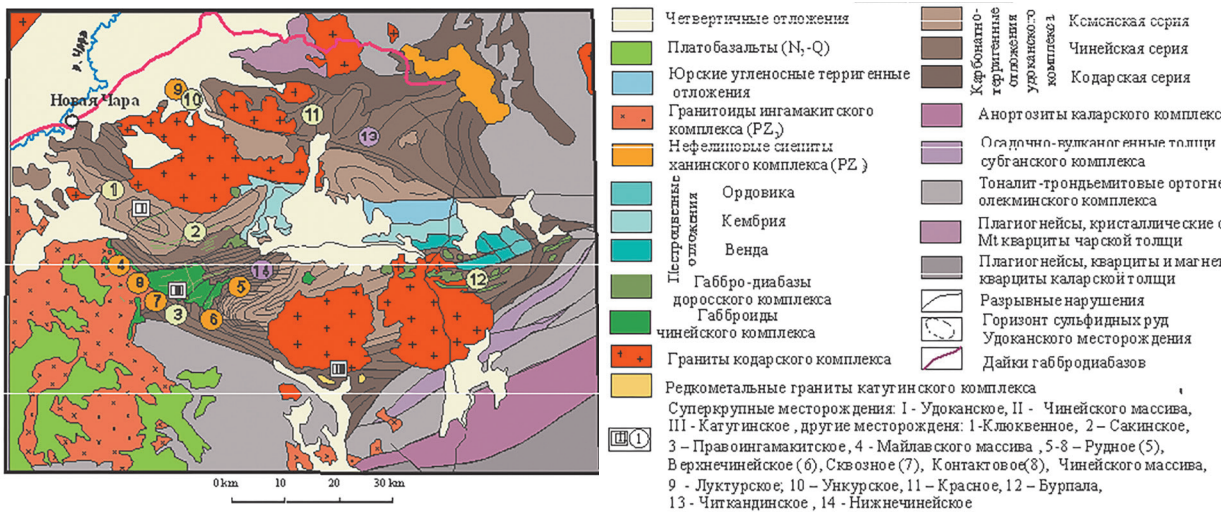


Рис. 1. Геологическая карта Удокан-Чинейского района

Это уникальный рудный район с суперкрупными месторождениями серебра и меди (Удокан), железа, титана, ванадия, меди, благородных металлов (Чиней), урана, редких и редкоземельных элементов (Катугин) [1, 2]. Достаточно многочисленны менее изученные месторождения, как перечисленных типов, так и новых: Fe-Au-Ag-Cu месторождения в осадочных породах (Ункур, Красное, Правоингамакитское, Бурпала и др.), уран-редкометалльных проявлений Чинейского массива. В строении Чинейского массива принимают участие несколько групп пород, между которыми наблюдаются секущие контакты. К ранним образованиям относятся ксенолиты и пластины измененных пород (пироксениты, габбро, анортозиты) в породах последующих этапов формирования. Второй этап связан с кристаллизацией высокотитанистых, а третий – низкотитанистых магм.

В породах обеих групп выделяются серии, макроритмы, микроритмы, обладающие однотипным строением: снизу вверх происходит постепенное снижение магнезиальности пород, накопление SiO_2 и щелочей. В строении массива участвуют дайки мелко- тонкозернистых габброноритов, магматические брекчии с лампрофировым и габброноритовым цементом.

Возраст осадочных пород удоканской супергруппы (читкандинская свита чинейской серии) определен по титаниту в кварцевых прожилках из карьера участка Медный Удоканского месторождения (1896,20 ± 6,2 Ma) [7]. Изотопные возрасты магматических пород Чинейского массива получены разными методами и отвечают палеопротерозою: для краевых частей Чинейского массива 1880 ± 16 млн лет – Ar-Ar изотопная система [4]; 1867 ± 3 млн лет – U-Pb изотопная система [5], для центральной части – 1850 ± 90 млн лет – Sm-Nd изотопная система [3]. По цирконам, полученным на SMR1MP-II во ВСЕГЕИ (аналитик А. Н. Тимашков), изотопный возраст высокотитанистых габброидов Чинейского массива составляет 1858 ± 17 млн лет; низкотитанистых габброидов – 1811 ± 27 млн лет. Одной из особенностей рассматриваемых габброидов является присутствие двух популяций цирконов, охватывающих интервалы позднего архея – начала протерозоя (2676 ± 42 – 2919 ± 80) и верхних частей раннего палеопротерозоя (1699 ± 34

до 1884 ± 31) [6]. Древние цифры отвечают нижней или средней земной коре, где происходила ассимиляция корового материала в глубинных магматических камерах.

Сульфидные руды образуют промышленные рудные залежи в контактовых зонах (Рудное, Верхнечинейское, Сквозное, Контактовое месторождения) среди как габброидов (эндоконтактовые руды), так и вмещающих терригенных пород, а также образуют штокверки в ранее закристаллизованных габброидах [6]. Эндоконтактовые руды на указанных месторождениях приурочены к разным типам пород в приподошвенной части массива – к лейкократовым габбро, кварцевым диоритам и монцодиоритам, где отмечается вкрапленность сульфидов, а также согласные с расслоенностью и секущие прожилки. Экзоконтактовые руды преимущественно халькопиритового состава присутствуют на всех месторождениях, наиболее богатые из них установлены в юго-восточном обрамлении Чинейского массива. Руды залегают в виде сплошных жил или линз, часто брекчированных тел (рис. 2, б). Они выполняют систему субгоризонтальных трещин в приподошвенной части массива, но встречаются и секущие жилы. На Рудном месторождении маломощные прерывистые прожилки халькопиритового состава с метасоматическими ореолами прослеживаются до 500 м вниз от контакта габброидов.

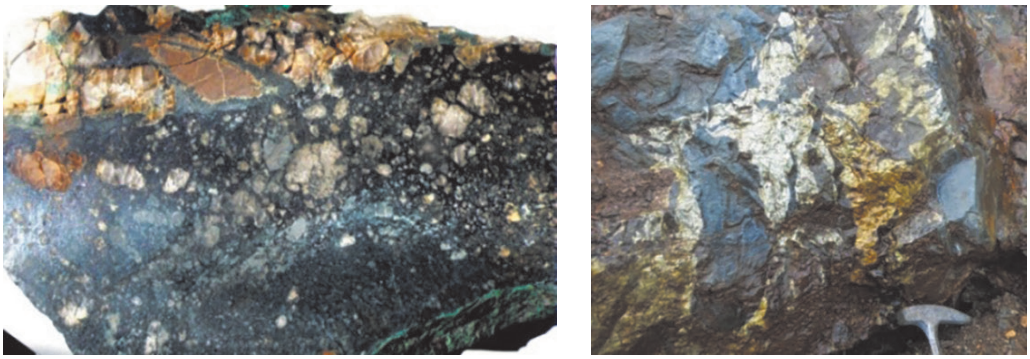


Рис. 2. Брекчии с цементом халькозин-борнитового состава руд Удоканского (а) и халькопиритовых руд Чинейских месторождений (б)

В микроритмах раннемагматические титаномагнетититы сменяются пироксенитами с уменьшением в их составах титаномагнетита. Начало кристаллизации плагиоклаза привело к образованию меланоритов, далее габбро и лейкогаббро вплоть до анортозитов. Завершение кристаллизации минералов из остаточного расплава сопровождалось возрастанием концентраций кварца, биотита, амфиболов, сульфидов в виде единичных вкраплений, гнезд и линз. В центральной части интрузива, в пределах титаномагнетитовых руд, также выделяются зоны сульфидной минерализации с промышленными концентрациями меди, платины, палладия и золота, которые имеют секущий или субсогласный характер по отношению к расслоенности. Отделившиеся при кристаллизации габброидов флюиды, смешиваясь с метеорными водами, образовывали гидротермальные системы, происходило отложение руд в осадочных породах.

Формирование месторождений Кодаро-Удоканского района может быть представлена в виде модели, связывающей формирование разноглубинных промежуточных магматических очагов (магматических камер – расслоенных массивов) с образованием магматических оксидных (титаномагнетитовых) и сульфидных (медно-никелевых, благороднометалльных) руд магматического этапа рудообразования. Остаточные расплавы, обогащенные флюидами и рудными компонентами, перемещались во вмещающие породы, ликвировали с образованием сульфидных расплавов (сплошные халькопиритовые руды в экзоконтактах массивов) и гидротермальных растворов, которые, смешиваясь с растворами вмещающих пород, формировали гидротермальные системы и соответствующие рудные тела в осадочных породах. Смешение гидротермальных растворов с поверхностными водами приводило к формированию осадочных руд типа медистых песчаников. Поскольку внедрение магм было многократным, то и формирование месторождений было более сложным, что объясняет факты телескопирования руд, совмещения в пространстве разноформационных месторождений.

Крупные глобальные тектонические перестройки отражены в геологическом строении Удокан-Чинейского района массивами и дайками габброидов в палеопротерозое, неопротерозое, базальтами вулканических прогибов мезозоя и Удоканским лавовым плато неоген-четвертичного возраста. Фракционирование магм в разноглубинных магматических камерах приводило к перераспределению и телескопированию рудных компонентов в палеопротерозое, что предопределило формировании крупной металлогенической провинции в Северном Забайкалье. Уникальной отличительной особенностью месторождений Чинейского массива от классических аналогов является присутствие промышленных концентраций Fe-Ti-V; Ni-Co-Cu с PGE, Au, Ag; U-REE руд.

Список литературы:

1. Архангельская В. В., Быков Ю. В., Володин Р. Н. [и др.]. Удоканское медное и Катугинское редкометалльное месторождение Читинской области России. – Чита, 2004. – 520 с.
2. Гонгальский Б. И. Медные и урановые месторождения Кодаро-Удоканского района // Разведка и охрана недр. – 2023. – № 2. – С. 12–20.
3. Гонгальский Б. И. Месторождения уникальной металлогенической провинции Северного Забайкалья. – М. : ВИМС, 2015. – 248 с.
4. Поляков Г. В., Изох А. Э., Кривенко А. П. Платиноносные ультрамафит-мафитовые формации подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 12. – С. 1227–1241.
5. Попов Н. В., Котов А. Б., Постников А. А. [и др.]. Возраст и тектоническое положение Чинейского расслоенного массива (Алданский щит) // Доклады Российкой академии наук. – 2009. – Т. 242, № 4. – С. 517–521.
6. Gongalsky B., Krivolutskaya N. World-Class Mineral Deposits of Northeastern Transbaikalia, Siberia, Russia. – Springer, 2019. – 321 p.
7. Perell´o J, Sillitoe R. H, Yakubchuk A. S. [et. al.]. Age and tectonic setting of the Udokan sediment hosted copper-silver deposit, Transbaikalia, Russia // Ore Geology Reviews. – 2016. – № 86. – P. 856–866.

Гончар А. Д., Соатов Н. Т.

Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева, г. Ташкент;
Министерство горнодобывающей промышленности и геологии РУз, г. Ташкент

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЯХ УЗБЕКИСТАНА

На протяжении многих лет (с 1959 г.) на базе Кафедры литологии осадочных формаций и осадочных руд Геологического факультета Ташкентского государственного университета работала проблемная лаборатория осадочных формаций и полезных ископаемых. Это удачно соединяло преподавательский процесс с выполнением производственных заданий. При выполнении хоздоговорных тем проводились работы в разных районах Узбекистана – от пустыни Кызылкум до гор Памира. Ежегодно поступало до двух групп студентов европейского и национального потока, с обучением на родном языке. Многие студенты проходили практику в полевых отрядах проблемной лаборатории, участвовали и в подготовке отчетов.

Ключевые слова: В. И. Попов, осадочные формации Узбекистана, перспективы научного поиска полезных ископаемых.

Многие научные геологические организации Республики Узбекистан берут свое начало от Научно-исследовательского геологического института Комитета наук УзССР. В. И. Попов (23.02.1907–23.02.1998) активно занимался становлением литологии осадочных формаций региона, его маршруты прошли по многим горным районам Дарваза, Памира, Ферганы, Чаткало-

Курамы, Кызылкумов. Собранный фактический материал воплотился в многочисленных книгах, статьях, докладах на Всесоюзных и Республиканских научных конференциях. Они стали основой для первых обобщений и прогнозов по формированию и размещению полезных ископаемых в осадочных формациях региона. С 1937 г. В. И. Попов стал заведующим кафедрой геологии и палеонтологии Среднеазиатского государственного университета, на долгие годы занявшись подготовкой молодых геологов. Его заслуги в деле развития минерально-сырьевой базы Республики были неоднократно отмечены Правительством и Верховным Советом УзССР, международным геологическим сообществом, он часто становился членом специальных правительственных комиссий по выявлению перспектив рудных месторождений Узбекистана.

С 1956 г. им организована первая кафедра литологии осадочных формаций Геолфака ТашГУ. В 1959 г. при кафедре была создана проблемная лаборатория осадочных формаций и осадочных руд, объединившая способных молодых специалистов и выпускников геологического факультета. Проводились регулярные конференции по различным проблемам развития литологии, в работе которых участвовали представители научных и производственных организаций Средней Азии и других республик страны. Особенно были популярны полевые экскурсии на объекты в горных районах Ферганы, где были и участники Международных конгрессов по геологии. Происходил живой и непосредственный обмен и обсуждение опытом и методиками. Создание при кафедре Научного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций способствовало росту научных кадров, выпускников кафедры. Список объектов и открытий, сделанных сотрудниками кафедры и ее проблемной лаборатории, не уместится в объем тезисов, но он существенно пополнил минерально-сырьевую базу Узбекистана. В 1998 г. за большие заслуги в развитии литологии и педагогической подготовке молодых кадров представители коллектива кафедры и проблемной лаборатории были удостоены Государственной премии Республики Узбекистан имени А. Р. Беруни. Во многом достигнутые результаты были связаны с разработкой глубоко научных положений по стадийному принципу развития осадка в различных фациальных поясах – от области сноса до удаленных частей бассейнов седиментации. Это позволяло уже в поле определить фациальную природу изучаемых отложений и признаки локализации в них полезных компонентов.

К сожалению, на рубеже столетий произошла естественная смена поколений, ушел из жизни бессменный лидер – академик В. И. Попов, произошли кадровые и структурные перестройки. Институт геологии и геофизики из системы Академии Наук Узбекистана был передан в Комитет геологии. Так завершилась эра расцвета литологии в республике и Ташкентской литологической школы. Непрерывно растет полевая техника и лабораторная база, но научные методики могут шлифоваться и совершенствоваться в своем развитии. Воистину, все новое может быть хорошо забытым старым. Находки ежегодно открываемых месторождений полезных ископаемых в Узбекистане показывают, что потенциал недр еще не исчерпан. Есть еще много труднодоступных площадей в высокогорных районах, ждущие своих исследователей.

Граханов О. С., Кошкарев Д. А.
АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

О ВЫБОРЕ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В ЛЕНО-АНАБАРСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ СУБПРОВИНЦИИ

Лено-Анабарская алмазоносная субпровинция (северо-запад Республики Саха (Якутия)) характеризуется уникальной россыпной алмазоносностью, однако, несмотря на значительный объем выполненных поисковых работ, до настоящего времени остается не решенным вопрос о коренных источниках, ответственных за формирование россыпей. Выявленные в регионе многочисленные разновозрастные проявления кимберлитового магматизма отличаются убогими концентрациями алмазов или вовсе их отсутствием. Тем не менее, именно территория субпровинции многими исследователями рассматривается как наиболее перспективный регион на выявление коренных месторождений алмазов. При этом, на фоне широко проявленных косвенных минералогических

признаков кимберлитов и низкой разрешающей способности имеющейся критериальной базы, основной проблемой на этой обширной территории является локализация перспективных участков для постановки поисковых работ.

Ключевые слова: алмаз, кимберлитовая трубка, перспективная территория, поиски.

Лено-Анабарская субпровинция (ЛАС), охватывающая обширные территории в междуречье рр. Анабар и Лена, является одним из наиболее перспективных в плане выявления коренных месторождений алмазов регионов Сибирской платформы [1–5]. Это связывается с широким распространением россыпной алмазоносности, а также масштабным проявлением кимберлитового магматизма различного возраста (21 поле): установлена убогая алмазоносность десятков кимберлитов и лишь в трубке Малокуонамская (Куранахское поле) близкая к промышленной концентрация алмазов.

В настоящее время поисковые работы на коренные источники алмазов в регионе практически остановлены. Одними из основных причин, по которым ЛАС не рассматривается в качестве первоочередной территории для постановки исследований как недропользователями, так и государственными ведомственными геологическими структурами являются:

- значительные объемы геолого-геофизических исследований, выполненных за последние 60 лет, не увенчались выявлением промышленно значимых объектов;
- отсутствовала какая-либо единая стратегия изучения региона, в результате чего до настоящего времени не создана региональная геолого-геофизическая основа прогнозирования;
- остались не решеными вопросы о возрасте и генезисе прогнозируемых коренных источников;
- выделение перспективных площадей и участков на территории Сибирской платформы традиционно проводится по комплексу критериев, разработанных для кимберлитов Центрально-Сибирской субпровинции (ЦСС) и апробированных в процессе многолетней практики прогнозно-поисковых работ [5]. На территории ЛАС площади локализованы преимущественно на основе косвенных минералогических признаков, характерных для среднепалеозойских кимберлитов ЦСС. При этом в пределах региона установлены критерии, указывающие на присутствие докембрийских, среднепалеозойских, мезозойских и, возможно, кайнозойских «специфических коренных источников» [2, 4, 6], для которых прогнозно-критериальная база до настоящего времени не создана.

В результате такого подхода выделенные в ЛАС перспективные площади в ранге прогнозируемых кимберлитовых полей с апробированными ресурсами категории P_3 характеризуются значительными размерами (более 5000 км^2), зачастую с противоречащими друг другу поисковыми критериями и, как результат, «не ясными перспективами» в плане выявления коренных месторождений алмазов.

В связи с истощением месторождений в ЦСС и высокой степенью опоискованности перспективных участков в Малоботуобинском, Среднемархинском и Алакит-Мархинском алмазоносных районах, по мнению авторов, именно территория ЛАС может рассматриваться в качестве региона восполнения минерально-сырьевой базы коренных алмазов. Но в связи с проблемой наличия существенных площадей перспективных участков (тысячи км^2), которые вряд ли могут заинтересовать недропользователей, крайне актуально проведение обобщающих региональных работ силами государственных подведомственных институтов, в идеальном варианте, с участием самих недропользователей. Актуальность данной задачи значимо повышается с принятием в 2021 г. правительством Российской Федерации государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» (постановление № 484 от 30.03.2021 г.).

Проведение таких работ, на наш взгляд, должно осуществляться поэтапно, с соблюдением стадийности поискового процесса, что позволит в значительной степени повысить эффективность поисков. Начать исследования предлагается с этапа «подготовки» площадей, включающей:

- создание мелкомасштабной геофизической и структурно-тектонической основы прогнозирования по данным обобщения всей имеющейся на сегодняшний день информации, включая выполнение на слабо изученных участках региональных геофизических работ на новом аппаратном уровне (АМС-25-50, МТЗ, сейсморазведка);

• минералогическое районирование территории с учетом возраста и генезиса прогнозируемых коренных источников, в том числе доизучение минералогии уже известных кимберлитов (большая часть которых до настоящего времени не имеет минералого-петрографической характеристики), включая проведение маршрутных работ на «ключевых участках» для получения коллекций кимберлитовых минералов;

• уточнение критериальной базы прогнозирования различных генетических типов коренных источников;

• ревизия ранее выделенных перспективных площадей, уточнение их значимости в плане выявления коренных источников различного генезиса и возраста с последующей разбраковкой по степени перспективности и набору прогнозно-поисковых критериев, ранжирование площадей по очередности опоискования.

На следующем этапе, в целях локализации прогнозируемых коренных источников для вновь выделенных перспективных участков ЛАС, необходимо разработать рациональный (эффективный) комплекс поисковых методов. Набор методов должен определяется исходя из следующих факторов:

• стадии и задачи работ, для которых должен быть определен объект поисков. Отсутствие четкой количественной и качественной формулировок объекта поисков может приводить на практике либо к полному, либо к весьма существенному перекрытию площадей, изучаемых на этой и последующих стадиях;

• всесторонняя оценка геологического строения планируемой к изучению территории, позволяющая определиться с набором наиболее информативных поисковых методов и включающая: уточнение типа и возраста искомого коренного источника; генезис выявленных ореолов ИМК; уровень эрозионного среза кимберлитов; мощность перекрывающего комплекса отложений, его состав и физические свойства и пр. При этом необходимо располагать информацией о возможностях каждого из методов в обстановках, аналогичных условиям проектируемых поисковых работ;

• геолого-экономические показатели эффективности методов. Вследствие разнообразия природных обстановок и условий проявления кимберлитового магматизма каждый новый поисковый метод вносит некоторую долю дополнительных сведений в общую сумму полезной информации. Однако применение каждого дополнительного метода не всегда оправдывает затраты времени и средств на его проведение. В оптимальном варианте объем геологоразведочных работ должен быть минимальным по затратам времени и труда, но достаточным для уверенного решения поставленных задач. В связи с этим в комплекс целесообразно включать только те методы, которые позволяют получать дополняющие друг друга полезные сведения об объектах исследований.

Кроме того, в алмазной геологии в настоящее время остро стоит задача повышения информативности (надежности) двух основных поисковых методов – минералогического и магнитометрического. Это связано с рядом причин, требующих решения или минимизации:

• широкое развитие пород трапповой формации, в пределах которых методы работают крайне неэффективно;

• слабая информативность фаций бассейнов и транзитных водотоков в минералогическом плане, широкое развитие на водораздельных пространствах алмазоносных водно-ледниковых отложений;

• низкие вещественно-индикационные характеристики отдельных кимберлитов (малоспутниковые и слабомагнитные).

Типовые комплексы поисковых методов для каждой стадии ГРР должны быть сформированы с учетом опыта разномасштабных геолого-геофизических исследований, выполненных за последние десятилетия в различных регионах Сибирской платформы, обладать тремя основным свойствами: высокой разрешающей способностью, мобильностью и экономичностью. Также важное значение имеет внедрение новых поисковых технологий, разработка которых должна осуществляется с привлечением ведущих российских научных центров.

Таким образом, подытоживая изложенное, можно констатировать, что для локализации коренных источников алмазов различного генезиса и возраста в Лено-Анабарской субпровинции



Схема закономерностей размещения кореных источников алмазов Лено-Анабарской субпровинции:
геотипы площадей: 1 – открытого типа, 2 – закрытого типа с мощностью перекрывающего комплекса менее 200 м, 3 – закрытого типа с мощностью перекрывающего комплекса более 200 м; 4 – мегаблоки фундамента (А – Анабарский, О – Оленекский); 5 – разломы, разграничивающие мегаблоки фундамента; структуры, характеризующие рельеф кровли фундамента: 6 – структуры I порядка (Ан, Ол, Мн – Анабарское, Оленекское и Мунское поднятия, Сх – Суханский прогиб), 7 – структуры II порядка и их названия (а – поднятия, б – впадины), 8 – грабены, грабенообразные прогибы, 9 – структуры III порядка (а – поднятия, выступы, горсты, б – впадины, грабены); 10 – Уджинско-Моторчунский континентальный рифт; 11 – пограничные разломы складчато-блоковых структур I порядка; 12 – разломы в фундаменте, контролирующие крупные антиклинории и синклинории (а – основные, б – второстепенные); 13 – разломы, отвечающие условным границам зон разломов I порядка, контролирующих проявления траппового и кимберлитового магматизма (МП – Молодо-Попигайской, ДО – Далдыно-Оленекский); 14 – разломы в фундаменте (а – региональные, б – второстепенные); 15 – поля кимберлитов (8 – Западно-Укукитское, 9 – Восточно-Укукитское, 11 – Верхнемоторчунское, 12 – Мерчимденское, 13 – Куойско-Молодинское, 14 – Толуопское, 21 – Лучаканское); 16 – кимберлитовые трубки, дайки; 17 – трубки кимберлитоподобных пород; 18 – массив щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов Томтор; 19 – дайки долеритов; 20 – Томторское поле интрузий различного состава; 21 – контуры прогнозируемых кимберлитовых полей (НМ – Нижнемунское, С – Сюнгюдинское, СМ – Среднемолодинское, К – Кютюнгдинское, ВУ – Верхнеуджинское); 22 – участки земной коры с неоднородным физико-геологическим строением (сходным с таковым в известных кимберлитовых полях); 23 – россыпи, россыпепроявления алмазов; 24 – контуры предлагаемых для изучения площадей (Ук – Укукитская, Уд – Уджинская)

требуется реализации не только региональных геолого-геофизических работ, но и уточнение методики проведения разномасштабных исследований, которые позволят реализовать перспективы данного региона. Для этого предлагается принятие комплексной *«Программы регионального геолого-геофизического изучения Лено-Анабарской субпровинции в целях локализации площадей, перспективных для поиска коренных источников алмазов различных генетических типов»* на федеральном уровне.

Реализация комплексного подхода к локализации участков, на основе обобщения всех имеющихся данных по территории ЛАС, позволило геологической службе АК «АЛРОСА» выделить две площади, на которых, по нашему мнению, возможна постановка поисковых работ в ближайшее время в целях выявления алмазоносных коренных источников различного возраста – Уджинская и Укукитская, располагающиеся в Среднеоленекском алмазоносном районе (рисунок). Основными критериями выбора являлись: низкая изученность; концентрация комплекса поисковых критериев различного масштаба; относительная простота геологического строения, которая позволит не нагружать будущий проект сложным дорогостоящим комплексом ГРР; положение площади в нераспределенном фонде. Несмотря на значимые отличия двух площадей по многим параметрам, они несомненно представляют поисковых интерес.

Список литературы:
1. Афанасьев В. П., Лобанов С. С., Похиленко Н. П. и др. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 3. – С. 335–353.
2. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П. Докембрийская алмазоносность Сибирской платформы: признаки и масштабы // Отечественная геология. – 2019. – № 4. – С. 54–65.
3. Голубев Ю. К. Прусакова Н. А., Голубева Ю. Ю. Проблемы воспроизводства минерально-сырьевой базы алмазов РФ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2022. – № 2. – С. 27–34.
4. Граханов С. А., Шаталов В. И., Штыров В. А., Кычкин В. Р., Сулейманов А. М. Россыпи алмазов России. – Новосибирск : ГЕО, 2007. – 457 с.
5. Подчасов В. М., Минорин В. Е., Богатых И. Я. и др. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки коренных месторождений алмазов. Книга 1. Коренные месторождения. – Якутск : Издательство СО РАН, 2004. – 548 с.
6. Розен О. М., Манаков А. В., Зинчук Н. Н. Сибирский кратон: формирование, алмазоносность / Научный редактор С. И. Митюхин. – М. : Научный мир, 2006. – 212 с.

Гриценко Ю. Д.[1, 2], Юдовская М. А.[3, 4], Кондрикова А. П.[3], Гильбрихт С.[5], Шонвельд Л.[6], Барнс С. Дж.[6], Годель Б. М.[6], Служеникин С. Ф.3, Петренко Д. Б.7, Сейферт Т.[5]

[1] МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; [2] Минмузей РАН, г. Москва; [3] ИГЕМ РАН, г. Москва; [4] CIMERA «Университет Витватерсранда», г. Иоханнесбург, ЮАР; 5 TU «Фрайбергская горная академия», г. Фрайберг, Германия; [6] CSIRO «Австралийский исследовательский центр», г. Кенсингтон, Австралия; [7] ГИН РАН, г. Москва

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ (МПГ), РОЛИ МАГМАТИЧЕСКОЙ ДЕГАЗАЦИИ И ФЛЮИДНОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ МПГ В МАЛОСУЛЬФИДНЫХ РУДАХ НОРИЛЬСКИХ ИНТРУЗИВОВ

Исследования проведены при поддержке Российского Научного Фонда (грант РНФ № 21-17-00119).

Малосульфидные руды в верхнем экзоконтакте Норильских интрузивов отличаются от основных массивных и вкрапленных сульфидных руд высоким содержанием элементов платиновой группы (ЭПГ) до 1300–1700 г/т ЭПГ+Au в 100 % сульфидов, низким отношением Cu / Pd (~ 100–300) и повышенным Pt / Pd (~ 0,2–2). Эти особенности ранее считались либо результатом сбора сульфидной жидкости при чрезвычайно высоком R-факторе (массовое отношение силикатного и сульфидного расплавов), либо постмагматическим удалением сульфидов. Для определения механизмов концентрирования платиноидов распределение минералов платиновой группы (МПГ) и их пространственные взаимоотношения с сульфидными и силикатными ассоциациями были изучены с помощью автоматизированных методов минералогии (MLA) в сочетании с рентгеновской микротомографией и лабораторным синхротронным микролучевым рентгеновским флуоресцентным картированием. Было обнаружено и диагностировано ~ 6600 зерен МПГ, показано, что минералы палладия (антимониды, висмутиды, теллуриды и арсениды) преобладают над минералами платины, зерна МПГ преимущественно заключены во вторичных силикатах с долей их взаимных границ ~ 50 отн. %, значительна приуроченность зерен МПГ к хромититам, пространственная связь МПГ с Cu-Ni сульфидами (~ 20 отн. %) заметно выше, чем доля сульфидов в породах (1,8–2,8 %), что интерпретируется как количественное доказательство когенетичной связи МПГ с сульфидами. Мы предполагаем, что исходный состав сульфидной жидкости был изменен за счет выделения серы во флюидную фазу в ходе ранней магматической дегазации. Следовательно, высокий тенор ЭПГ является не только результатом сульфидно-силикатного обмена, но, вероятно, был усилен ранней магматической потерей серы во время дегазации и переноса ЭПГ флюидами.

Ключевые слова: норильские интрузивы, малосульфидный горизонт, минералы элементов платиновой группы, методы автоматической минералогии, микролучевое рентгеновское флуоресцентное картирование, магматическая дегазация.

Магматические месторождения Норильского региона уникальны по запасам Cu-Ni-PGE [1, 3, 4, 7] и содержат разнообразные типы руд. Малосульфидный горизонт приурочен к хромитоносным оливинсодержащим такситовым габбродолеритам в кровле интрузивов и характеризуется высоким обогащением ЭПГ при низком содержании серы, обычно менее 3 мас. % S [7]. Этот тип минерализации напоминает рифы платиноидов крупных расслоенных интрузивов по содержаниям платиноидов и очень высоким отношениям платиноидов к сере. Исключительно высокие теноры ЭПГ (содержание металла в 100 % сульфидах) в малосульфидных ЭПГ рудах преимущественно объясняются на основе представлений о R-факторе [5] или многостадийном растворении-переосаждении. Некоторые авторы отдают предпочтение значительной роли флюида либо на магматической [6], либо на постмагматической стадии [2].

Были изучены образцы из пяти скважин интрузива Норильск-1 и из пяти скважин Талнахского и Хараелахского интрузивов, а также 20 проб тяжелого концентрата. Минеральные ассоциации изучались на поверхности полированных шлифов и шашек, содержащих тяжелый концентрат с использованием анализа выделения минералов и интегрированного анализа минералов FEI MLA и TIMA TESCAN в сочетании с рентгеновской микротомографией (XFM) и лабораторным синхротронным микролучевым рентгеновским флуоресцентным картированием, проведенным на штуфах и толстых шлифах.

По данным FEI MLA-картирования, первичные силикаты составляют 5–48 % площади шлифов в малосульфидных рудах Норильска-1 и 7–50 % площади – в малосульфидных рудах Талнах-Хараелахского рудного узла (рис. 1). Доля вторичных силикатов колеблется в пределах 35–85 % площади для Норильска-1, и 43–91 % площади в Талнахско-Хараелахских интрузивах (см. рис. 1).

На основании представительной статистики ~ 6600 идентифицированных зерен МПГ как из шлифов, так и из тяжелых концентратов, установлено, что минералы платиновой группы представлены 15 минералами Pd, 7 минералами Pt и самородным золотом (таблица), причем многие из них являются промежуточными членами изоморфных рядов. Минералы палладия преобладают над минералами Pt во всех трех интрузивах. (Норильск-1, Талнах и Хараелах) (см. рис. 1). Минералы палладия представлены в основном антимонидами, висмутидами, теллуридами и арсенидами (рис. 2; см. таблицу). Среди платиновых минералов в интрузиве Норильск-1 сперрилит и Pt-Fe сплавы встречаются в равной пропорции, тогда как в Талнахско-Хараелахских малосульфидных рудах Pt-Fe сплавы исключительно редки (см. рис. 2).

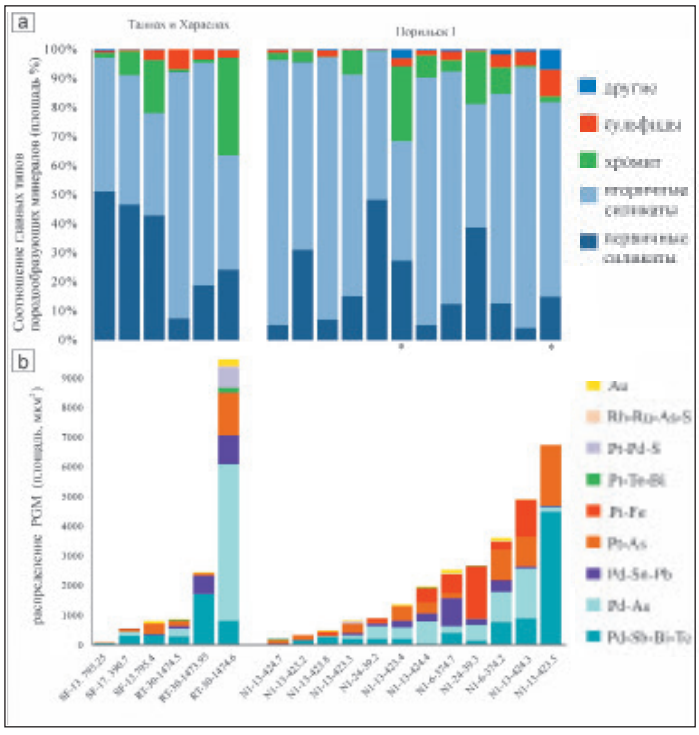


Рис. 1. Соотношение различных групп минералов (площадь, %) (a) и соотношение основных групп МПГ (*n* = 2765) (b) в малосульфидных рудах интрузивов Норильск-1 и Талнахско-Хараелахской группы по сводным данным FEI MLA и TIMA

Пространственная связь МПГ с минералами других классов оценивалась по длине их взаимной границы и относительному проценту от общей длины.



Рис. 2. Соотношение МПГ (площадь, %) в малосульфидных рудах интрузивов Норильск-1 и Талнахско-Хараелахских интрузивов по данным FEI MLA и TIMA на полированных шлифах и тяжелых фракциях, n – число зерен

Зерна МПГ преимущественно заключены во вторичных силикатах с долей их взаимных границ ~ 50 отн. % в соответствии с высоким содержанием вторичных силикатов в породах (35–90 % площади) (рис. 3; см. рис. 1). Корреляции между долей вторичных силикатов и МПГ, а также со степенью их пространственной близости, не установлено. В исследованных образцах наблюдается преимущественная приуроченность зерен МПГ к вкрапленным хромитовым шлирам, хотя среди МПГ только сульфиды Pt демонстрируют значительную пространственную близость с хромитом (15–34 отн. % взаимных границ). Пространственная ассоциация МПГ с сульфидом (~20 %) примерно в десять раз выше ожидаемой для случайного распределения с учетом приблизительной модальной доли (~ 2 %) сульфидов в породах (см. рис. 3). Это может интерпретироваться как количественное доказательство когенетичной связи МПГ с сульфидами. При этом значительное отслоение зерен МПГ от сульфидных глобул в миллиметровом масштабе сохраняется во всех минерализованных породах. Однако только 20–40 % зерен МПГ контактируют с Fe-Cu-Ni-сульфидами по оценкам MLA и XFM. Частично это связано с почти 50-процентным метасоматическим замещением сульфидов гидросиликатами и, частично, с исходной приуроченностью зерен МПГ к краям и углам сульфидных капель.

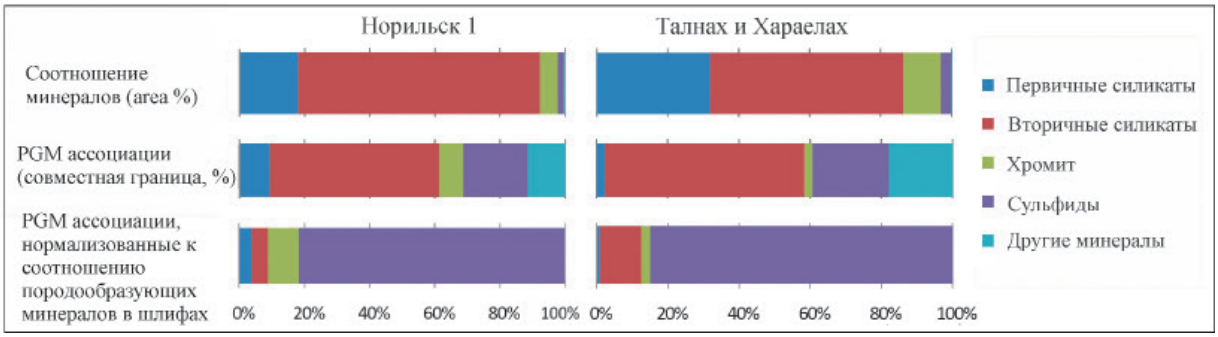


Рис. 3. Соотношение породообразующих минералов, их пространственные связи с МПГ и ассоциации, нормированные на пропорции породообразующих минералов. График основан на относительных процентах длины взаимной границы зерен МПГ от общей длины границы в полированных шлифах, определенных комбинированным анализом FEI MLA и TIMA

Минералы золота и элементов платиновой группы, обнаруженные в малосульфидных рудах интрузивов Норильск-1, Талнах и Хараелах по данным FEI MLA и TIMA на аншлифах. Формулы минералов даны по [4]

Норильско-Талнахско-Хараелахские малосульфидные руды богаты миндалинами, которые могут составлять 15 % площади пород (С. Ф. Служеникин и др., 2020). Миндалины имеют сферическую или субсферическую форму и образуются в процессе ранней магматической дегазации до кристаллизации основной массы силикатов.

	Группа	Формула	Минерал	Норильск-1			Талнах-Хараелах		
				n	*S*, μm²	*S*, %	*n*	*S*, μm²	*S*, %
Pd минералы	Pd-Sb-Bi-Te	$Pd_{5+}xSb_{2-x}$	Стибиопалладинит	86	8087	24,1	84	4873	17,1
		Pd(Te,Bi)	Котульскит	45	639	1,9	78	1642	5,7
		Pd_9Te_4	Теллуропалладинит	2	4	0,0	2	4	0,0
		PdBi	Соболевскит	35	358	1,1	14	90	0,3
		$Pd_8(Sb,As)_3$	Мертиит-II	0	0	0,0	32	580	2,0
	Pd-As	Pd_2As	Палладоарсенид	132	3091	9,2	212	2225	7,8
		$Pd_8As_{2,5}Sb_{0,5}$	Арсенопалладинит	86	3774	11,2	203	9755	34,1
		$(Pd,Pt)_3(As,Sb)$	Винцентит	30	572	1,7	0	0	0,0
		$Pd_{11}As_2Te_2$	Торнерозит	66	869	2,6	42	371	1,3
	Pd-Sn-Pb	Pd_2Sn	Паоловит	170	3224	9,6	125	2144	7,5
		$Pd_3(Pb,Sn)$	Звягинцевит-атокит	1	12	0,0	0	0	0,0
		Pd_3Pb_2	Плюмбопалладинит	1	10	0,0	0	0	0,0
		$Pd_5(Sn,As)_2$	Паларстанид	4	152	0,5	1	30	0,1
Pt минералы	Pt-As	$PtAs_2$	Сперрилит	243	6012	17,9	719	5425	19
	Pt-Fe	Pt_3Fe	Pt-Fe сплавы	54	2321	6,9	1	10,25	0,0
		PtFe	Тетраферроплатина	34	3394	10,1	3	57	0,2
	Pt-Te-Bi	$PtTe_2$	Мончеит	5	233	0,7	17	217	0,8
Pt-Pd-sulfides	Pt-Pd-S	PtS	Куперит	0	0	0,0	6	62	0,2
		(Pt, Pd)S	Бреггит	4	22	0,1	6	386	1,4
		PdS	Высоцкит	5	8	0,0	0	0	0,0
Минералы Rh-Ru	Rh-Ru-As-S	RhAsS	Холлингвортит	10	161	0,5	24	108	0,4
		RuAsS	Руарсит	0	0	0,0	1	6	0,0
Минералы Au	Au-Ag	Au	Золото	123	648	1,9	59	582	2,0

Примечание. *S* – площадь, *n* – число зерен.

Методы картирования выявляют широко распространенные текстуры ранней магматической дегазации (такие как миндалины, сегрегационные везикулы, ореолы), характерные срастания МПГ с водосодержащими минералами и присутствие зерен МПГ на стенках бывших газовых пузырей. Все эти особенности отличаются от текстур постмагматических гидротермально-метасоматических изменений.

Чрезвычайно высокое содержание платиноидов (более 1000 ppm), высокий тенор ЭПГ и низкое отношение Cu / Pd (~ 100–300) являются не только результатом интенсивного сульфидно-силикатного обмена, но и усиливаются частичной потерей сульфидов во время ранней магматической дегазации из-за выделения серы во флюидную фазу во время дегазации и переноса ЭПГ флюидами.

Список литературы:

1. Генкин А. Д., Дистлер В. В., Гладышев Г. Д., Филимонова А. А., Евстигнеева Т. Л., Коваленкер В. А., Лапутина И. П., Смирнов А. В., Гроховская Т. Л. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. – М. : Наука, 1981. – 234 с.

2. Ames D. E., Kjarsgaard I. M., McDonald A. M., Good D. J. Insights into the extreme PGE enrichment of the W Horizon, Marathon Cu- Pd deposit, Coldwell Alkaline Complex, Canada: Platinum-group mineralogy, compositions and genetic implications // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 90. – P. 723–747.
3. Barnes S. J., Malitch K. N., Yudovskaya M. A. Introduction to a Special Issue on the Norilsk-Talnakh Ni-Cu-Platinum Group Element Deposits // Economic Geology. – 2020. – V. 115. – P. 1157–1172.
4. Cabri L. J., Wilson J. M. D., Distler V. V., Kingston D., Nejedly Z., Sluzhenikin S. F. Mineralogical distribution of trace platinum-group elements in the disseminated sulphide ores of Noril'sk 1 layered intrusion // Applied Earth Science. – 2002. – V. 111. – P. 15–22.
5. Campbell I. H., Naldrett A. J. A model for the origin of the platinum-rich sulfide horizons in the Bushveld and Stillwater Complexes // Journal of Petrology. – 1988. – V. 24. – P. 133–165.
6. Hanley J. J., Mungall J. E., Pettke T., Spooner E. T. C., Bray C. J. Fluid and halide melt inclusions of magmatic origin in the ultramafic and lower banded series, Stillwater complex, Montana, USA // Journal of Petrology. – 2008. – V. 49. – P. 1133–1160.
7. Sluzhenikin S. F., Yudovskaya M. A., Barnes S. J., Abramova V. D., Le Vaillant M., Petrenko D. B., Grigor'eva A. V., Brovchenko V. D. Low-sulfide platinum group element ores of the Norilsk-Talnakh Camp // Economic Geology. – 2020. – V. 115 (6). – P. 1267–1303.

Гуревич Д. В., Полонянкин А. А.
ООО Русская Платина

КОНДЁР–КЕТ-КАП: ДВА ГЛАВНЫХ ЭТАПА ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖЕНИЙ ЗОЛОТА И МПГ

Рассмотрена гипотеза о двух главных этапах формирования благороднометалльного оруденения восточной части Алданского щита. Первый этап связан с внедренем и кристаллизацией гранодиорит-порфиров облачного комплекса и ультраосновных пород Кондёрского комплекса – образований близодновременных, но с разной глубиной формирования исходной магмы. Второй этап связан с ремобилизацией металлов в системах циркуляции флюидов, образованных в результате внедрения сиенитов и монцонитовкеткапского комплекса.

Ключевые слова: массив Кондёр, ремобилизация, кеткапский комплекс, облачный комплекс, Кет-Кап, Алданский щит, щелочной метасоматоз, МПГ.

Одна из наиболее ярких особенностей металлогении Восточной части Алданского щита – наличие большого числа россыпных и коренных месторождений золота и МПГ, сформировавшихся в раннем мелу. Подавляющее число месторождений района располагается в пределах выделенной нами Майско-Омнинской купольно-кольцевой структуры (МОККС), расположенной в фокусе изгиба раннемеловой вулканической дуги Охотско-Чукотского пояса, который наследует здесь более древние структуры (рис. 1). По нашему мнению, наиболее плодотворной гипотезой, объясняющей эту встречу «в пространстве и времени», является предложенная ранее и частично подтвержденная данными сейсмологии гипотеза *слэбов* – пологозалегающих фрагментов океанической коры, «втиснувшихся» в поздней юре–раннем мелу под Алданский щит и северо-восточную часть Китая [7]. Роль слэба могла заключаться в транспортировке вглубь материка воды и летучих, необходимых для формирования магматических очагов. Кроме того, слэб мог экранировать течения в астеносфере, которые его перемещали, и, которые могли формировать восстающие потоки по краю слэба и в отдельных разрывах – «окнах». В описываемом регионе такие «окна» могли наследовать долгоживущие разломы северо-восточной ориентировки – Геранский (массив Чад), Чумиканский (Кондёр) и др. (см. рис. 1).

Работы, проведенные ООО «Амур Золото» в 2014 и 2015 гг. на массиве Кондёр, помимо «традиционных» проявлений Pt, связанных с сегрегациями хромитов в дунитах [3], выявили в центральной части массива Cu-Pt-Pd оруденение двух основных типов с ресурсами металлов в пер-

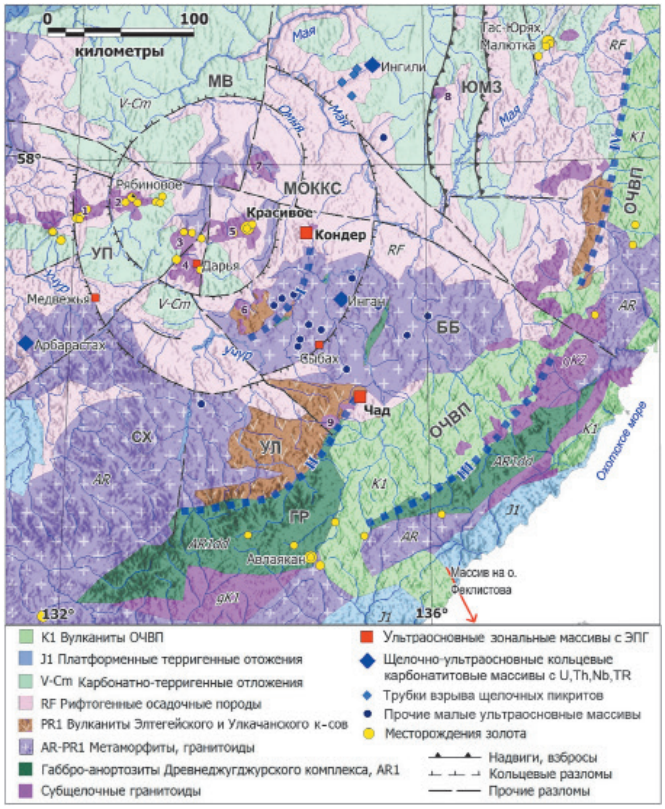


Рис. 1. Месторождения золота, ультраосновные и щелочно-ультраосновные массивы восточной части Алданского щита на геолого-структурной карте:
структурные единицы: УП – Учурский прогиб, УЛ – Улканский грабен, СХ – Становой хребет, МВ – Майская впадина, ЮМЗ – Юдомо-Майская зона складчастости, ББ – Батомгский блок, ОЧВП – Охотско-Чукотский вулканический пояс, МОККС – Майско-Омнинская ККС, ГР – Геранский массив; массивы Облачного и Кет-Капского комплексов: 1 –Юртовый, 2 – Улаханский, 3 – Юнский, 4 – Дарьинский, 5 – Даньский, 6 – Томптокан, 7 – Одолинский, 8 – Урахан, 9 – Сектоли; долгоживущие глубинные разломы: I – Чумиканский, II – Геранский, III – Джугджурский, IV – Билякчанский

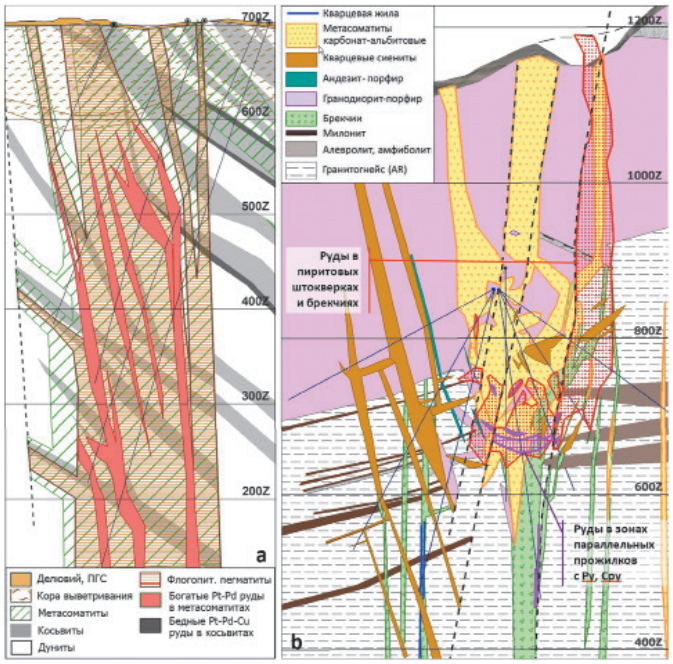


Рис. 2. Геологические разрезы: a – меридиональный разрез через зону Кондер Рудный (ПР 21); b – широтный разрез через месторождение Красивое (ПР 23)

вые десятки тонн [1, 2]. Первый тип с содержаниями в десятые доли г/т связан с ликвационными сульфидными обособлениями в косьвитах. Второй тип связан с эгирин-нефелин-цеолитовыми жилами и метасоматитами, развитыми по косьвитам, флогопитовым пегматитам и дунитам, для него характерны агрегаты сложной формы и состава (соединения МПГ с Cu, Bi, As, Te, Ag, S) со средними содержаниями $Pt+Pd_2$ – 4 г/т, максимальными – до 60 г/т. Оруденение этого типа прослежено до глубины 570 м (рис. 2). Содержания Na_2O в жилах и метасоматитах изменяются от 3 до 10 %, K_2O– от 1,5 до 2,5 %; средние показатели во вмещающих пегматитах – 1,7 % и 8,4 %, в косьвитах – 0,5 % и 0,47 % соответственно. Обнаружено большое количество минералогических признаков ремобилизации – формирования второго типа оруденения за счет первого [1, 2]. Выполненные В. М. Саватенковым определения возраста флогопита из косьвитов и метасоматитов (Rb-Sr метод) показали хорошую сходимость со средним 133,6 ± 1 млн лет. Это оказалось близко и к оценке возраста дунитов и Pt-Cr руд в 126–130 млн лет [6], и к оценкам возраста двух главных мезозойских комплексов Кет-Капа – облачного (учурского) икеткапского, которые сформировались в интервале 120–127 млн лет [5].

В 2020–2021 гг. ООО Амур Золото провела буровую разведку нижних горизонтов месторождения Красивое, расположенном в 25 км на запад от Кондёра (см. рис. 1). Руды со средним содержанием золота около 10 г/т были прослежены на глубину до 550 м, а суммарные ресурсы золота превысили 60 т. Были подтверждены данные АС АМУР [4] о приуроченности оруденения к кварц-пиритовому штокверку, расположенному в краевой части тела альбитовых метасоматитов, развитых по гранодиорит-порфирам облачного комплекса (силлы, внедрившиеся в осадочные породы рифея). Новым стало то, что около половины ресурсов «спустилось» в архейские метаморфиты фундамента, который ранее рассматривался как слабоперспективный. Два других важных наблюдения – это наличие двух морфологических типов золотого оруденения, а также присутствие в рудах теллуридов и висмутидов золота. Была установлена и минерализация, типичная для объектов порфирового типа, включая прожилки молибденита в гранодиорит-порфирах и брекчиях.

По результатам работ с учетом данных по многим десяткам других проявлений рудного района, было сделано предположение, что богатые руды месторождения Красивого могли сформироваться за счет ремобилизации бедной «порфировой» минерализации под действием карбонатно-натровых флюидов. Формирование флюидов могло произойти в результате внедрения интрузии сиенитов кеткапского комплекса, «пустые» апофизы которой рассекают оруденение. Натровая специализация флюидов могла быть обусловлена спецификой состава гранит-порфиров: по предварительным данным среднее содержание Na_2O в порфирах месторождения составляет 5,0 %, K_2O – 2,45 %, в карбонат-альбитовых метасоматитах – 6,72 % и 1,76 % соответственно. Практически все значимые проявления золота Кет-Капа, включая и «порфировые» типа Красивого и золото-скарновые в карбонатных толщах рифея, располагаются у контактов интрузий сиенитов или монцонитов, причем минерализация в интрузивы не заходит. Две интрузии монцонитов присутствуют и в составе кольцевого хребта Кондёр. Логично предположить, что их внедрение и здесь могло «запустить» циркуляцию карбонатно-натровых флюидов. Другая возможность – связь метасоматитов со щелочными породами дарьинского комплекса, дайки которых также участвуют в строении массива Кондёр. К сожалению, определение возраста мало может помочь: по [5] четыре K-Ar определения возраста дарьинских пород Кет-Капа варьируют от 106 ± 2 до 132 ± 3 млн лет. Другая проблема состоит в невозможности объяснить формирование золотоносных скарнов в изначально безрудных карбонатных породах за счет «пустых» интрузий. Эта проблема войдет в число задач НИР, которые будут выполняться в ходе ГРР в 2023 г.

Список литературы:

1. Гуревич Д. В., Белогуб Е. В., Петров С. В., Полонянкин А. В., Заботина М. В. Модель формирования Cu-Pt-Pd оруденения в массиве Урало-Аляскинского типа: массив Кондёр, Хабаровский Край, Россия // Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. – М., 2020. – С. 87–90.
2. Гуревич Д. В., Полонянкин А. А. Сульфидные полиминеральные Pt-Pd руды массива Кондёр, Хабаровский Край: геологическая позиция. Материалы конференции «Проблемы геологии и эксплуатации месторождений МПГ». – СПб. : Изд-во СпбГУ, 2016. – С. 27–46.
3. Гурович В. Г., Землянухин В. Н., Емельяненко В. П. и др. Геология, петрология и рудоносность Кондёрского массива. – М. : Наука, 1994. – 176 с.
4. Морин А. О. (отв. исп.). Отчет по поисковым и поисково-оценочным работам на рудное золото в междуречье Бол. Аим–Омня–Маймакан–Учур в 1997–2002 гг. ОАО «АС «Амур». – Хабаровск, 2002.
5. Полин В. Ф., Зверева Н. М., Травин А. В., Пономарчук А. В. Возраст золотого оруденения Кеткапско-Юнской магматической провинции // Тихоокеанская геология. – 2022. – Т. 41, № 5. – С. 3–19.
6. Саватенков В. М., Мочалов А. Г. Возраст и источники платиноносных дунитов массива Кондёр Алданского щита (Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные). Материалы конференции «Месторождения стратегических металлов». – М. : ИГЕМ РАН, 2015. – С. 300–301.
7. Хомич В. Г., Борискина Н. Г. Природа позднемезозойких рудномагматических систем Алданского щита // Литосфера. – 2016. – № 2. – С. 70–90.

Гурьянов В. А[1]**, Матвеев А. В.**[2]
[1] ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск; [2] АО «Дальневосточное ПГО», г. Хабаровск

НИКЕЛЕНОСНОСТЬ КУН-МАНЬЁНСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ОБРАМЛЕНИЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН ИТиГ ДВО РАН.

Обобщены результаты работ по никеленосности Кун-Маньёнской минерагенической зоны юго-восточного обрамления Сибирской платформы. Проанализированы материалы современных среднемасштабных гравиметрических и геохимических съемок. Дана краткая характеристика Cu-Ni с PGE руд месторождения Кун-Маньё одноименного рудного узла и потенциально перспективного на Cu-Ni с Pt оруденение Туксани-Кукурского района. Показан минеральный состав руд и выделены основные их типы. Рассмотрены перспективы.

Ключевые слова: Кун-Маньёнская минерагеническая зона, мафит-ультрамафиты, Пристановой коллизионный пояс, сульфиды, медно-никелевые руды.

Введение. Большинство промышленных Cu-Ni с ЭПГ месторождений связано с мафит-ультрамафитовым магматизмом крупных изверженных провинций. К ним можно отнести Cu-Ni с PGE рудные объекты Пристанового коллизионного орогена юго-восточного обрамления Сибирской платформы [1, 3]. Большой интерес в его пределах представляют ареалы силлов и даек мафит-ультрамафитов как с металлогенической точки зрения, являясь рудоносными объектами с сульфидным оруденением, так и с петрологической как палеопротерозойское звено в цепи эволюции магматизма обрамления платформы. Открытие крупного Cu-Ni с PGE месторождения Кун-Маньё [3, 4] на восточном фланге Пристанового коллизионного пояса свидетельствует об актуальности и важности данной проблемы и проводимых исследований.

Результаты исследования, их обсуждение. В результате обобщения и анализа фондовых и опубликованных материалов, а также новых данных, полученных при проведении полевых исследований в пределах восточной части Пристанового коллизионного пояса, выделены два потенциально перспективных на Cu-Ni с PGE оруденение района: Кун-Маньёнский и Туксани-Кукурский [1–4]. При картосоставительских работах в связи с открытием крупного по запасам Cu-Ni месторождения Кун-Маньё [4] эта территория рассматривается как Кун-Маньёнская минерагеническая зона (Ni, Cu, Co, Pt), которая по материалам современных среднемасштабных гравиметрических съёмок находит свое выражение и в гравитационных полях [2].

Кун-Маньёнский Cu-Ni рудный узел характеризуется многочисленными проявлениями сульфидных Cu-Ni с PGE руд, но детально изучено только месторождение Кун-Маньё в центральной части одноименного рудного поля. В плане рудное поле (шириной до 2–4 км) представляет собой линейно вытянутый в северо-западном направлении ареал (протяженностью 31 км) силлов и даек мафит-ультрамафитов с сульфидной Cu-Ni минерализацией (рис. 1). Возраст мафит-ультрамафитов, оцененный по U-Pb SHRIMP изотопии цирконов, от 1,75 до 1,69 млрд лет [1, 3].

Сульфидное Cu-Ni с PGE оруденение месторождения Кун-Маньё ассоциируется с силлами мафит-ультрамафитов: Малый Курумкан, Горное, Треугольник, Шляпа, Фалкон, Икэн, Кубук, расположенных в центральной части Кун-Маньенского ареала (см. рис. 1). Сульфидные руды оконтуриваются в виде пластообразных залежей, повторяя контуры материнских тел (силлов). Протяженность рудных залежей варьирует от 0,4 до 2,7 км при мощности от 5–10 до 25–30, реже до 119 м [3, 4].

Минеральный состав руд месторождения Кун-Маньё характеризуется парагенезисом пирротина, пентландита и халькопирита, составляющими в сумме около 80–90 % от общего количества рудных минералов. Кроме них в составе руд установлены: пирит, магнетит, ильменит, виоларит, кубанит, миллерит, никелин, борнит, халькозин, бравоит, марказит, герсдорфит, сфалерит, глаукодот, хизлевудит, палладиевый мелонит, меренскит, ирарсит, сперрилит, галенит, гессит, штютцит, самородные серебро и золото, теллуриды серебра, майченерит ((Pd,Pt) BiTe), мончеит ($Pt(Te,Bi)_2$), котульскит (PdTe), эрлихманит (OsS_2)-лаурит (RuS2), холингуортит ((Rh,Pt,Pd)AsS) [1, 3]. Из породообразующих минералов в составе руд присутствуют: амфиболы

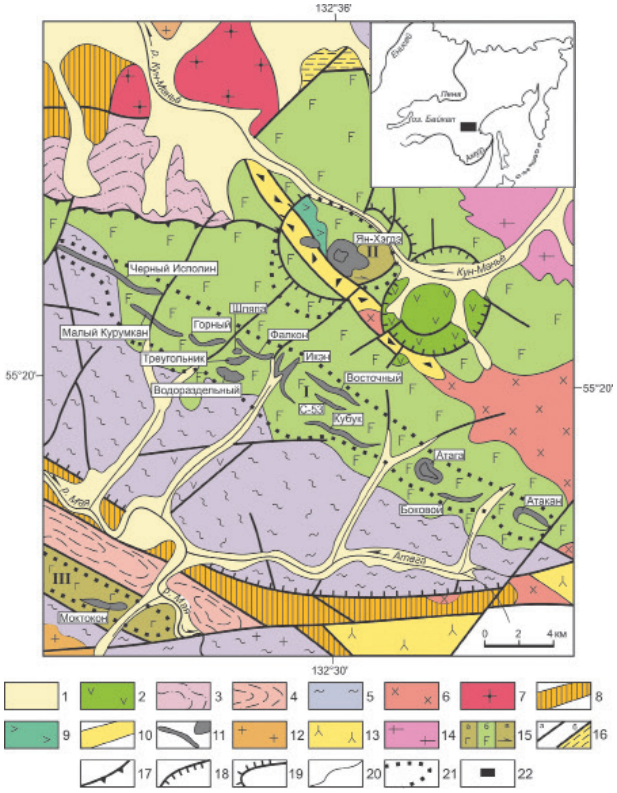


Рис. 1. Схематическая геологическая карта междуречья Кун-Маньё и Мая-Удская [1, 3]: 1 – четвертичные отложения; 2 – меловые эффузивы; 3 – верхнеюрские осадочные образования; 4 – толща палеопротерозойских зеленых сланцев; 5 – архейские гнейсы и кристаллосланцы (гранулиты); 6 – меловые гранитоиды; палеопротерозойские образования: 7 – гранитоиды, 8 – диафториты и динамометаморфиты зон разломов (на юге – зона Майского глубинного разлома), 9 – лейкониты, 10 – приразломные бластокатаклазиты, 11 – тела мафит-ультрамафитов кун-маньёнского комплекса с сульфидной Ni-Cu минерализацией; неоархейские породы: 12 – граниты; 13 – плагиограниты; архейские породы: 14 – гранитогнейсы, 15а – габбро, 15б – метагаббро; 16 – разрывные нарушения (а) и зоны рассланцевания (б); 17 – надвиги; 18 – сбросы; 19 – взбросы; 20 – геологические границы; 21 – контуры ареалов тел мафит-ультрамафитов: I – Кун-Маньёнский (оконтурено рудное поле, темно-серый цвет – рудные тела и их названия), II – Ян-Хэгдэ, III – Моктокон; 22 – район исследований

(тремолит и актинолит от 10 до 40 %), хлорит (от 5 до 35 %), серпентин (от 1–3 до 50 %), тальк (до 30 %); в меньшей мере роговая обманка (керсутит), флогопит, реликты ромбического и моноклинного пироксенов, оливина; в небольших количествах полевые шпаты, кварц, шпинель; редко – титаномагнетит, апатит и рутил. В зонах окисления – гидроокислы железа, ковеллин, халькозин, борнит и редкие прожилки кварц-сульфидного состава, часто с карбонатом и хлоритом, мощностью до 5 мм [3].

Рудные залежи сложены в основном вкрапленными рудами, имеющими переходы от тонко-вкрапленных до гнездово-вкрапленных и прожилково-вкрапленных [3]. *Массивные руды* – тела жильного типа в плоскостях отслоения рудных залежей, реже прожилки во вмещающих породах. *Брекчиевые руды* в генетическом отношении представляют собой оруденелую тектоническую брекчию, в которой роль обломков играют измененные ультрамафиты, роль цемента – сульфиды, к которым тяготеют скопления сульфоарсенидов с миллеритом и меренскитом. *Прожилково-вкрапленные и густовкрапленные руды* имеют облик брекчиевидной метасоматической породы, обогащенной сульфоарсенидами Ni, арсенидами Pt, теллуридами Pd и Bi, содержат самородные Au и Ag. В *тонковкрапленных рудах* преобладает пирротин; менее распространены халькопирит, пентландит; единичны зерна магнетита, титаномагнетита.

Балансовые запасы месторождения Кун-Манье по категориям $B + C_1$ составляют: 172,12 млн т руды, 1,22 млн т Ni, 342 тыс. т Cu, 25 тыс. т Co, 24,8 т Pt, 26,8 т Pd [3, 4]. Средние содержания компонентов (в %) в рудных залежах варьируют: Ni – 0,59–0,84, Cu – 0,16–0,22, Co – 0,01–0,02, S – 1,17–1,67, Pt – 0,13–0,23 г/т, Pd – 0,14–0,27 г/т, Au – 0,07 г/т, Ag – 0,73-1,74 г/т [3]. Доля богатых руд (Ni более 2 %) составляет не менее 5 %. Рассчитанные средние содержания основных компонентов в рудных телах месторождения оцениваются (в мас. %): SiO_2 – 45,11, Al_2O_3 – 8,74, Fe_2O_3 – 13,53, MgO – 18,34, CaO – 5,76 [3, 4].

Туксани-Кукурский район исследований. На гравиметрической карте (рис. 2) четко прослеживается контрастная положительная аномалия шириной около 40 км, протягивающаяся в северо-западном направлении более чем на 200 км. Эта аномальная зона является северо-западным продолжением Кун-Маньёнского Cu-Ni рудного узла [2]. В целом Кун-Маньёнской минерагенической зоне свойственны интенсивные поясовые гравитационные и магнитные аномалии [1, 2].

Кун-Маньёнская зона контролируется Туксанийским (на востоке – Майским) глубинным разломом. По профилям наземных гравиметрических наблюдений, совмещенных с геолого-поисковыми маршрутами, установлено, что в ее пределах положительные гравиметрические аномалии соответствуют на местности дайко- и силлообразным телам вебстеритов и кортландитов, часто с вкрапленностью (1–3 %) сульфидов (пирротин, пентландит). На северо-восточном борту глубинного разлома установлены протяженные (до 3 км) силлообразные тела серпентинизированных ультрамафитов с тонкой вкрапленностью сульфидов (Ni – 0,28–0,6 мас. %, Co до 0,1 мас. %; Cr – до 1,0 мас. %; Pt – 0,715 и 10 г/т; Казмин, 1960 г.; Матвеев, 2015 г.), слабо фиксируемые редкой сетью гравиметрических наблюдений. К юго-западу от разлома локальные гравиметрические аномалии обусловлены изометрическими в плане телами мафит-ультрамафитов с сульфидной вкрапленностью (Ni 0,1–0,68 мас. %, Cu 0,10,36 мас. %; Матвеев, 2015 г.) [1]. Наиболее контрастная аномалия установлена в бассейне р. Авгенкур (лист N-52-IV), где в ультрамафитах одноименного массива прослежены на глубину до 3–5 м интервалы вкрапленных сульфидных (Ni до 0,76 мас. %, Pt до 0,61 г/т, Pd – до 0,4 г/т) руд (В. Д. Габышев, 1981 г.). В пределах Туксани-Кукурского района выделены пять перспективных площадей, которые рекомендованы для постановки поисковых работ на сульфидное платиноидно-медно-никелевое оруденение: Аюмканская, Авгенкурская, Купуринская, Утанахская, Борогонская (см. рис. 2). При выделении площадей учитывались и геохимические критерии – потоки рассеяния Ni, Co, Cu Cu, Pt и Pd, выявленные предыдущими исследованиями (Домчак и др., 1996 г.). В штуфных пробах из сульфидизированных пород по результатам геолого-поисковых работ (N-52-VI, см. рис. 2) содержания Ni достигают 1,11 %, Cu – 0,33 %, Co – 0,1 %, Cr – 0,5 %, Pt – 0,6–1,45 г/т, Pd – 0,4 г/т, Au – 0,05 г/т (метод ICP-MS, ХИАЦ ИТИГ ДВО РАН; Гурьянов, 2007 г., 2016 г.; Матвеев, 2015 г.). Эталонным объектом для прогнозной оценки Туксани-Кукурского района было выбрано Cu-Ni с PGE месторождение Кун-Маньё. Согласно произведенным расчетам для пяти перспективных площадей суммарные прогнозные ресурсы категории P_3 Туксанийского рудного района площадью 2700 км^2 составили: Ni – 3088 тыс. т, Cu – 1235 тыс. т, Pt и Pd – 309 т (А. В. Матвеев, «Пояснительная записка к паспорту Туксанийского рудного района…», ОАО «Дальгеофизика», 2015 г.) [2].

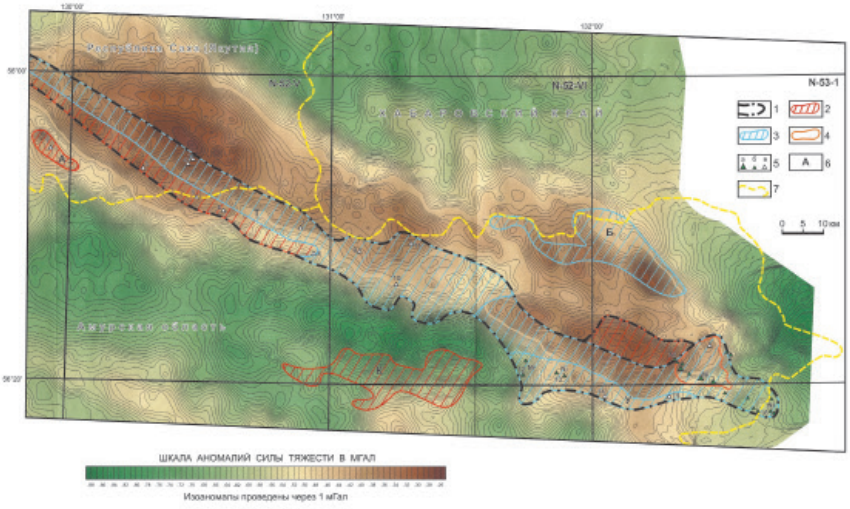


Рис. 2. Гравиметрическая карта в редукции Буге (б = 2,67 г/см, уровень условный) Кун-Маньёнской минерагенической зоны [2]:

1 – контур Cu-Ni с PGE минерагенической зоны; области распространения интрузий мафит-ультрамафитов, фиксируемых в поле силы тяжести: 2 – крупных тел, 3 – силлов и даек; 4 – литохимические аномалии Ni, выявленные на эталонных объектах при проведении ГС-200; 5 – а – месторождение Кун-Маньё, б – проявления Ni и Cu Кун-Маньёнского рудного поля, в – проявления и пункты минерализации Ni и Cu в мафит-ультрамафитах Кун-Маньёнской минерагенической зоны; 6 – перспективные площади, рекомендуемые для постановки поисковых работ на сульфидное Cu-Ni с Pt оруденение: Т – Аюмканская, У – Утанахская, К – Купуринская, А – Авгенкурская, Б – Борогонская; 7 – административные границы

Заключение. Ареалы интрузий мафит-ультрамафитов с сульфидной Cu-Ni минерализацией приурочены, как правило, к зонам влияния глубинных разломов приосевой восточной части Пристанового коллизионного орогена. Принципиально важным аспектом формирования проявлений сульфидной медно-никелевой минерализации в пределах перспективных рудных полей является многоярусный характер локализации интрузий мафит-ультрамафитов. Анализ имеющейся информации по юго-восточному обрамлению Сибирской платформы свидетельствует, несомненно, о высокой степени перспективности Кун-Маньёнской минерагенической зоны на Ni, Cu, Co и PGE. Минерально-сырьевой потенциал только Кун-Маньёнского месторождения, без учета прилегающих территорий, составляет более одного млн т никеля, что может послужить базой для строительства крупного горнодобывающего или горно-металлургического предприятия со сроком существования не менее 25–30 лет.

Список литературы:

1. Гурьянов В. А., Приходько В. С., Песков А. Ю. [и др.]. Платиноносность никеленосных мафит-ультрамафитов Пристанового коллизионного пояса (юго-восток Сибирской платформы) // Отечественная геология. – 2014. – С. 48–55.
2. Гурьянов В. А., Матвеев А. В. К вопросу о поисковой эффективности региональных гравиметрических работ на примере Кун-Маньёнской минерагенической зоны (юго-восток Сибирской платформы) // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Пятая Всероссийская научная конференция с международным участием: сборник докладов. – Благовещенск : ИГиП ДВО РАН, 2018. – Т. 1. – С. 103–106.
3. Гурьянов В. А., Петухова Л. Л., Абражевич А. В. [и др.]. Геологическая позиция, минералы редких и благородных металлов в рудах медно-никелевого месторождения Кун-Маньё (юго-восточное обрамление Сибирской платформы) // Тихоокеанская геология. – 2022. – Т. 41, № 6. – С. 3–23.
4. https://amurminerals.com/kun-manie-nickel-cupper-sulphide-teo-results/

Дамдинов Б. Б., Викентьев И. В., Дамдинова Л. Б., Минина О. Р.
ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕЗИСА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЗЕРНИНСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ, грант №22-17-00106.

В пределах Озернинского полиметаллического рудного узла сосредоточено достаточно большое количество месторождений (более 20), однако не все они являются собственно свинцово-цинковыми. К Pb-Zn относится крупнейший объект рудного узла – Озерное месторождение, его ближайший аналог – Ульзутуйское месторождение. Проведенные нами исследования показали, что многие морфологические признаки руд неоднозначны. Широко развиты процессы эпигенетических преобразований первичных руд. Также в пределах рудного узла присутствуют комплексные золотополиметаллические Назаровское и Светкинское месторождения и известно относительно большое количество железооксидных (гематит-магнетитовых) месторождений. Такие месторождения в разных случаях могут содержать разные попутные полезные компоненты – бор (месторождение Солонго), фосфор и РЗЭ (месторождения Гурвунурское и Северо-Гурвунурское), медь, барий (Гундуйское, Аришинское и др.) в промышленных концентрациях. В связи с широким развитием экзогенных месторождений золота существует необходимость оценки золотоносности разных типов полиметаллических руд. Несмотря на достаточно длительный период исследований Озернинского рудного узла, многие вопросы, касающиеся соотношений разных типов минерализации, возраста, генезиса руд, геодинамических обстановок формирования месторождений, до сих пор остаются предметом дискуссий. Не решен вопрос и о связи оруденения с этапами геодинамического развития и/или с периодами

тектоно-магматической актививизации региона, поскольку до настоящего времени концепции эволюции Удино-Витимской зоны достаточно противоречивы, и ряд их положений требует дополнительного обоснования.

Ключевые слова: Озернинский рудный узел, полиметаллы, проблемы генезиса.

Озернинский рудный узел, расположенный в Западном Забайкалье, представляет собой уникальный объект, характеризующийся развитием генетически разных типов оруденения в пределах единой рудоносной мегаструктуры. В пределах Озернинского полиметаллического рудного узла сосредоточено достаточно большое количество месторождений (более 20), однако не все они являются собственно свинцово-цинковыми (Гордиенко, Нефедьев, 2015 г.). К Pb-Zn относится крупнейший объект рудного узла – Озерное месторождение, его ближайший аналог – Ульзутуйское. Руды этих месторождений стратиформные, слоисто-полосчатые и брекчиевые, часто подвержены эпигенетическим изменениям – перекристаллизации, динамометаморфизму. Встречаются кварц-сульфидные жилы и прожилки. Главные минералы руд – пирит, сфалерит и галенит, в небольших количествах присутствуют арсенопирит, пирротин и др. Генезис свинцово-цинковых месторождений до сих пор остается предметом дискуссий. Основная точка зрения на происхождение Озерного месторождения – гидротермально-осадочная (Тарасова и др., 1972 г.; Дистанов и др., 1977 г.; Ковалев, Бусленко, 1992 г.). Согласно этой точки зрения, накопление рудоносной толщи объясняется совокупностью процессов вулканизма, вулканогенно-осадочной и осадочной седиментации, рифообразования и гидротермально-осадочного рудоотложения. Существуют и альтернативные – гидротермально-метасоматическая (Царев, 1978 г.; Феофилактов и др., 1985 г.), плутоногенно-гидротермальная (В. С. Платов, неопубликованные данные), динамометаморфическая (А. В. Татаринов, неопубликованные данные). Проведенные нами исследования показали, что многие морфологические признаки руд неоднозначны; к примеру, неясно происхождение двух типов брекчий (брекчии с рудным цементом и нерудными обломками и брекчии, содержащие обломки сульфидных агрегатов, сцементированные вулканогенно-осадочной породой). Кроме того, руды часто подвержены перекристаллизации, а также рассланцеванию, будинированию, то есть – динамометаморфизму. Часто встречаются кварц-(карбонат)-сульфидные жилы, прожилки, линзы, как послойные, так и секущие. Наблюдалось также пересечение кварцевых прожилков сульфидными псевдопрослоями. Следовательно, механизм формирования Озерного месторождения намного сложнее, чем обычное гидротермально-осадочное рудоотложение.

Запасы Pb и Zn подсчитаны также на Назаровском и Светкинском золотополиметаллических месторождениях. Повышенная золотоносность этих месторождений объясняется тем, что первичные гидротермально-осадочные полиметаллические руды подверглись эпигенетическим изменениям, в частности скарнированию. По данным (Ковалев и др., 2003 г.), золотое оруденение связывается со скарнами. Однако проведенные нами исследования Южно-Магнетитового золотополиметаллического рудопроявления позволили выявить золоторудную минерализацию и в кварц-сульфидных жилах, причем среди рудных минералов там диагностированы теллуридные минералы, ранее неизвестные в пределах Озернинского узла.

Остальные объекты рудного узла представлены преимущественно железооксидными (магнетитовыми, часто с примесью гематита) месторождениями (Туркульское, Звездное и др.), такие месторождения в разных случаях могут содержать разные попутные полезные компоненты – бор (месторождение Солонго), фосфор и РЗЭ (месторождения Гурвунурское и Северо-Гурвунурское), медь, барий (Гундуйское, Аришинское и др.) в промышленных концентрациях. Происхождение железооксидных руд ранее традиционно связывалось со скарнами (Ковалев, Бусленко, 1992 г.). Позднее появились другие гипотезы. В частности, предполагалось, что апатит-магнетитовые руды месторождения Северный Гурвунур относятся к типу Кируна – магматическим магнетит-апатитовым (с РЗЭ) рудам, происхождение которых связывается с процессами ликвации магматического расплава (Рипп и др., 2017 г.). Медно-баритовое оруденение, по данным разведочных работ, считается метасоматическим. Однако источники метасоматизирующих растворов, так же как и причины возникновения этого процесса, неизвестны.

В пределах Озернинского рудного узла известны также мелкие проявления вольфрам-молибденовой, золотосульфидной и золотокварцевой минерализации неясного генезиса.

В целом месторождения и рудопроявления Озернинского рудного узла можно отнести к пяти рудным формациям: медноколчеданно-полиметаллической, известковых и магнезиальных скарнов, вольфрам-молибденовой грейзеновой, редкоземельно-апатит-магнетитовой, золото-сульфидно-кварцевой (Гордиенко, Нефедьев, 2015 г.). Широко распространены золотоносные россыпи, в одной из которых обнаружены золото-браннеритовые самородки (золото-урановая формация) (Миронов и др., 2008 г.); также развиты золотоносные коры выветривания, гипергенное Fe-Mn месторождение (Октябрьское), кроме того, в зоне окисления ряда месторождений встречается самородная медь. Необычная золотоурановая минерализация предполагается на основе находок золото-браннеритовых самородков в россыпях. Коренные источники этого типа оруденения пока не найдены. Широкое распространение экзогенных месторождений и проявлений золота в пределах всего Озернинского рудного узла позволяет предположить, что золото как попутный компонент присутствует в разных типах рудной минерализации, и существует необходимость оценки золотоносности не только полиметаллических, но и других коренных проявлений рудной минерализации.

Из приведенного краткого обзора видно, что происхождение такого разнообразия типов минерализации не могло быть одноактным. Формирование Озернинского рудного узла, как и в целом Курбино-Еравнинского рудного района, – это результат длительного, многоэтапного развития серии магматогенных и, возможно, метаморфогенных процессов. Но проблема возрастных взаимоотношений разных типов оруденения не решена. Имеющиеся к настоящему времени изотопные датировки пород единичны.

Дискуссионны и вопросы стратиграфии региона. В частности, нет единства мнений в отношении возрастной принадлежности рудовмещающей олдындинской свиты и её положения в общей схеме стратиграфии рассматриваемого региона. Ранее все карбонатные и вулканогенно-осадочные отложения, развитые в Озернинском рудном узле, считались кембрийскими (Тарасова и др., 1972 г.; Ковалев, Бусленко и др.,1992 г.), но в последних публикациях (Гордиенко и др., 2010 г.; Руженцев и др., 2010, 2012 г.; Минина и др., 2016 г.) из состава кембрийской олдындинской свиты исключены и переведены в средне- и позднепалеозойские кыджимитская и ульзутуйская толщи, сурхэбтинская свита соответственно.

Магматические породы рудного узла слабо изучены современными геохронологическими методами. Известные крайне немногочисленные изотопные датировки магматических пород охватывают два интервала – около 300 млн лет и около 520–530 млн лет. Однако наблюдаемые соотношения типов минерализации свидетельствуют о наличии не двух, а явно большего числа этапов или стадий рудообразования, связь которых с определенными эндогенными процессами не выявлена. Датировки руд практически отсутствуют, за исключением одного определения возраста (422 ± 20 млн лет (поздний силур), U-Pb метод) по апатиту Северо-Гурвунурского апатит-магнетитового месторождения (Рипп и др., 2017 г.). Причем эта датировка не соответствует ни одному из известных возрастов магматических пород.

Таким образом, несмотря на достаточно длительный период исследований Озернинского рудного узла, возраст оруденения, характер связи разных типов минерализации, так же как и происхождение такого разнообразия минеральных и генетических типов руд в пределах одной структуры и их пространственно-временные соотношения, остаются предметом дискуссий. Остается нерешенным вопрос и о связи оруденения с этапами геодинамического развития и/или с периодами тектоно-магматической активизации региона, поскольку до настоящего времени концепции эволюции Удино-Витимской зоны достаточно противоречивы, и ряд их положений требует дополнительного обоснования. Решение перечисленных вопросов может быть получено путем исследования особенностей вещественного состава и условий формирования разных типов минерализации в комплексе с изотопными, геохронологическими и литолого-стратиграфическими исследованиями.

Список литературы:

1. Гордиенко И. В., Булгатов А. Н., Руженцев С. В., Минина О. Р., Климук В. С., Ветлужских Л. И., Ласточкин Н. И., Ситникова В. С., Ветлужских Т. А. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана

в позднем рифее – палеозое // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 5. – С. 589–614.
2. Гордиенко И. В., Нефедьев М. А. Курбино-Еравнинский рудный район Западного Забайкалья: геолого-геофизическое строение, типы рудных месторождений, прогнозная оценка и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 2. – С. 114–124.
3. Дистанов Э. Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. – Новосибирск : Наука, 1977. – 351 с.
4. Ковалев К. Р., Байлина М. В., Акимцев В. А., Аношин Г. Н. Стратиформные цинково-колчеданные руды и золоторудная минерализация на Назаровском месторождении (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44, № 10. – С. 963–978.
5. Ковалев К. Р., Бусленко А. И. Гидротермально-осадочный рудогенез и полиметаморфизм руд Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье). – Новосибирск : Наука, 1992. – 214 с.
6. Минина О. Р., Доронина Н. А., Некрасов Г. Е., Ветлужских Л. И., Ланцева В. С., Аристов В. А., Наугольных С. В., Куриленко А. В., Ходырева Е. В. Ранние герциниды Байкало-Витимской складчатой системы (Западное Забайкалье) // Геотектоника. – 2016. – № 3. – С. 63–84.
7. Миронов А. Г., Карманов Н. С., Миронов А. А., Ходырева Е. В. Золото-браннеритовые самородки в россыпи Озернинского рудного узла (Бурятия) // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 10. – С. 984–989.
8. Рипп Г. С., Ходырева Е. В., Избродин И. А., Рампилов М. О., Ласточкин Е. И., Посохов В. Ф. Генетическая природа апатит-магнетитовых руд Северо-Гурвунурского месторождения (Западное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. – 2017. – Т. 59, № 5. – С. 419–433.
9. Руженцев С. В., Минина О. Р., Аристов В. А., Голионко Б. Г., Ларионов А. Н., Лыхин Д. А., Некрасов Г. Е. Геодинамика Еравнинской зоны (Удино-Витимская складчатая система Забайкалья): геологические и геохронологические данные // Доклады Российской академии наук. – 2010. – Т. 434, № 3. – С. 361–364.
10. Руженцев С. В., Минина О. Р., Некрасов Г. Е., Аристов В. А., Голионко Б. Г., Доронина Н. А., Лыхин Д. А. Байкало-Витимская складчатая система: строение и геодинамическая эволюция // Геотектоника. – 2012. – № 2. – С. 3–28.
11. Феофилактов Г. А., Царев Д. И., Нефедьев М. А. О роли разрывных нарушений в локализации полиметаллического и других типов оруденения Озернинского рудного узла // Проблемы метасоматизма и рудообразования Забайкалья. – Новосибирск : Наука, 1985. – С. 52–58.
12. Царев Д. И. Генезис Озерного колчеданно-цинкового месторождения в Забайкалье // Известия Академии наук СССР. – 1983. – С. 97–107.

Дамдинова Л. Б., Дамдинов Б. Б.
ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

УСЛОВИЯ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ РУД ОЗЕРНОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного Фонда № 22-17-00106.

Озерное свинцово-цинковое месторождение – крупнейшее по запасам цинка в России. Месторождение приурочено к крупной синклинальной структуре, выполненной вулканогенно-осадочной толщей, ранее относимой к олдындинской свите кембрийского возраста. Установлено, что первичные слоисто-полосчатые и брекчиевые руды подвержены достаточно интенсивным пострудным деформациям, перекристаллизации, рассечены секущими сидерит-кварц-сульфидными прожилками. Для выявления физико-химических условий перекристаллизации проведены термобарогеохимические исследования флюидных включений в кварце и карбонате. В комплексе с данными изотопной термометрии установлено, что эпигенетические преобразования

первичных руд происходили при повышенных температурах (~ 430–500 °С) в присутствии метаморфогенных флюидов.

Ключевые слова: Озерное полиметаллическое месторождение, руды, эпигенетические преобразования, флюидные включения.

Озерное свинцово-цинковое месторождение – крупнейшее по запасам цинка в России. Месторождение было открыто в 1963 г. в результате проверки комплексной геофизической аномалии (Тарасова и др., 1972 г.). Месторождение расположено в Курбино-Еравнинском рудном районе Западного Забайкалья (Гордиенко, Нефедьев, 2015 г.) и является крупнейшим объектом Озернинского рудного узла, в пределах которого известны также около 20 мелких и средних по запасам колчеданно-полиметаллических, золотополиметаллических, железорудных, медно-баритовых и других месторождений. В водотоках известны промышленные россыпи золота. Основная часть рудного узла сложена стратифицированными палеозойскими образованиями, слагающими останец (провес кровли) площадью около 250 км^2 в поле развития позднепалеозойских гранитоидов Ангаро-Витимского батолита. В палеотектоническом плане район рассматривается в составе Удино-Витимской островодужной системы (структурно-формационной зоны) (Гордиенко и др., 2010 г.; Руженцев и др., 2012 г.). Удино-Витимская зона является одним из краевых сегментов Центрально-Азиатского складчатого пояса в южном обрамлении Сибирского кратона. Район характеризуется длительным развитием и включает комплексы каледонского ($Є–S_1$), раннегерцинского ($S_2–C_{2-1}$) и позднегерцинского (PZ_3) структурных этажей (Гордиенко и др., 2010 г.; Руженцев и др., 2012 г.; Минина и др., 2016 г.).

Рудовмещающая толща традиционно относилась к кембрийской олдындинской свите (Тарасова и др., 1972 г.), в составе которой выделялось несколько подсвит. Нижняя подсвита, преимущественно вулканогенная, на Озерном месторождении представлена туфами и лавами риодацитов, переслаивающимися с известняками, туфами и углистыми мелкообломочными туффитами. Верхняя подсвита в рудном поле сложена туфами и лавами среднего и кислого составов, известковистыми и кремнистыми, нередко углистыми мелкообломочными туффитами, серыми слоистыми и массивными известняками, известняковыми брекчиями и гравелитами с туфогенно-карбонатным цементом. Эта пачка слагает ядра и крылья синклиналей. Рудовмещающие отложения полого (15–20°) падают на юго-восток (Нефедьев, 2009 г.) и слагают крыло крупной синформы, которое осложнено более мелкими складками, образующими цепь глубоких кулисообразно расположенных брахисинклинальных складок северо-восточного простирания, в том числе Озерной. Складка асимметрична с более крутым (50–85°) северо-западным крылом и более пологим (35–50°) юго-восточным. Характерным элементом строения разреза рудовмещающих отложений является присутствие оползневых брекчий, в том числе известняковых. Для пород характерно наличие мелких сингенетичных складок гравитационного оползания. Пачки, слагающие Озерную синклиналь, характеризуются быстрым изменением мощности и фациального состава осадков. Упомянутые признаки позволили сделать вывод о том, что описанные складки являются конседиментационными, а особенности отложений обусловлены неравномерным опусканием морского дна (Васильев, 1977 г.). Проявления интрузивного магматизма в рудном поле Озерного месторождения представлены силлообразными и секущими телами риолитов и дацитов, дайками андезитовых порфиритов, сиенит-порфиров, долеритов и трахидолеритов. Гранитоиды, присутствующие в рудном поле месторождения, отнесены к позднепалеозойскому бичурскому комплексу.

Рудные тела приурочены к верхней подсвите олдындинской свиты; были детально разведаны до глубины 350 м. Мощность основной продуктивной толщи колеблется от 140 до 230 м. Ее разрез включает 12 рудных залежей, представляющих собой серию пластообразных рудных тел, разделенных безрудными слоями осадочных и вулканокластических пород мощностью от 5 до 30 м. Внутреннее строение рудных тел неоднородно, с чередованием слоев колчеданно-полиметаллических руд, туфов, мелкообломочных туффитов и известняковых брекчий, в различной степени обогащенных сульфидами. По морфологии и внутреннему строению выделяют четыре типа рудных тел: 1) пластовые залежи, выдержанные по форме и распределению колчеданного оруденения; 2) лентовидные пластообразные залежи неоднородного внутреннего строения;

3) сложные по форме уплощенные залежи с неравномерным распределением колчеданного оруденения; 4) линзовидные залежи небольших размеров. Сульфидные тела залегают в целом согласно с вмещающими породами, границы их в основном резкие. Протяженность рудных тел 1300–2340 м, а мощность изменяется от 1 до 30–50 м, возрастая от флангов к центральным частям.

Главные рудные минералы Pb-Zn рудных залежей – пирит, сфалерит и галенит, второстепенные – магнетит, халькопирит, марказит, блеклая руда и арсенопирит. К редким относятся борнит, пирротин и самородное серебро. Среди нерудных минералов преобладают сидерит, кальцит, барит, кварц, доломит, анкерит, серицит и хлорит.

К характерным признакам руд месторождения относится широкое развитие полосчатых (слоистых и псевдослоистых) текстур, чему способствуют в целом невысокая нарушенность месторождения пострудными пликативными и дизъюнктивными нарушениями. Заметную роль в колчеданных залежах играют брекчиевидные руды, сложенные обломками известняков, сидеритов, яшмоидов, метасоматитов и сульфидных руд, в том числе слоистых с сульфидным (галенитовым, галенит-сфалеритовым и др.) и сульфидно-карбонатным цементом. Брекчиевидные, вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды составляют около 36 % объема руд.

Несмотря на кажущуюся «недеформированность» руд, эпигенетические преобразования первичных слоисто-полосчатых и брекчиевидных проявлены достаточно широко. Среди признаков перекристаллизации наиболее распространены укрупнение выделений рудных минералов, наличие деформационных текстур, указывающих на динамометаморфизм руд, развитие жильной и прожилковой минерализации. Жилы и прожилки имеют кварц-карбонат(сидерит)-сульфидный состав с разными соотношениями перечисленных минералов, от карбонатно-кварцевых с гнездами сульфидов, до существенно-сульфидных, с небольшим количеством кварца и карбоната в интерстициях. Главные минералы прожилков – сфалерит и галенит, в меньших количествах присутствуют пирит, халькопирит, пирротин.

Для выявления условий перекристаллизации руд были проведены исследования флюидных включений (ФВ) в кварце и сидерите из вышеуказанных сидерит-кварц-сульфидных жил и прожилков.

В кварце и сидерите идентифицированы первичные включения с наиболее пригодными размерами (до 10 мкм, очень редко ≥ 10 мкм) для микротермометрических исследований. Исследованиям были подвернуты первичные ФВ на удалении от шлейфов вторичных включений, отобранные согласно известным критериям (Реддер, 1987 г.). Все изученные включения имеют двухфазовый состав (газ + жидкость). Измеренные температуры гомогенизации таких ФВ из зерен кварца находятся в интервале от ~505 до 290 °С. Температуры плавления льда изменялись от -18,7 до -5 °С, соответственно соленость растворов варьировала в диапазоне от ~21,5 до 7,9 мас. % экв. NaCl. Температуры эвтектики соответствуют нескольким значениям: -21,2…–-23,4, -38 и -55 °С. Такие значения наиболее соответствуют солевым системам $NaCl–H_2O$, $NaCl–KCl–H_2O$, $MgCl_2–KC_l–H_2O$ и $CaC_{l2}–NaCl–H_2O$. В зернах карбонатов (сидерита?) встречаются более редкие первичные ФВ, как правило, небольших размеров (< 10 мкм), в которых интервал температур гомогенизации варьирует от 320 до 219 °С и характерны более низкие температуры плавления льда (-10…-5 °С), соответствующие общей солености растворов от 13,9 до 7,9 мас. % экв. NaCl. Наличие в ряде зерен кварца редких и очень мелких по размерам (3–7 мкм) сингенетичных существенно водных и существенно газовых ФВ позволяет сделать вывод об эпизодическом вскипании рудообразующих растворов.

Кроме того, был проведен расчет температур изотопного равновесия в парах пирит-галенит, галенит-сфалерит, который показал значения температур ~430–450 °С. Полученный интервал расчетных температур весьма близок к температурам гомогенизации, полученным при изучении флюидных включений.

Измеренные значения $\delta^{18}O$ в кварце из изученных жил и прожилков составляют 16,9–17,9 ‰, что позволяет предположить метаморфогенную природу минералообразующего флюида. Изотопный состав серы в перекристаллизованных сульфидах характеризуется относительным обогащением тяжелым изотопом, но значения $\delta^{34}S$ в сульфидах сильно варьируют в пределах 8,2–22,5 ‰, что свидетельствует о гетерогенном источнике серы.

Таким образом, можно предполагать, что первичные руды Озерного полиметаллического месторождения подвергались воздействию эпигенетических процессов – динамометаморфизма в присутствии относительно высококонцентрированной флюидной фазы. Температуры этих процессов достигали ~500 °С, что соответствует эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. Причина этих процессов достоверно не установлена и требует дальнейших исследований. Предположительно это связано с пострудными тектоническими деформациями в ходе эволюции Удино-Витимской структурно-формационной зоны.

Список литературы:

1. Васильев И. Л. Геология Еравнинского рудного поля. – Новосибирск : Наука, 1977. – 126 с.
2. Гордиенко И. В., Булгатов А. Н., Руженцев С. В., Минина О. Р., Климук В. С., Ветлужских Л. И., Ласточкин Н. И., Ситникова В. С., Ветлужских Т. А. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее – палеозое // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 5. – С. 589–614.
3. Гордиенко И. В., Нефедьев М. А. Курбино-Еравнинский рудный район Западного Забайкалья: геолого-геофизическое строение, типы рудных месторождений, прогнозная оценка и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 2. – С. 114–124.
4. Минина О. Р., Доронина Н. А., Некрасов Г. Е., Ветлужских Л. И., Ланцева В. С., Аристов В. А., Наугольных С. В., Куриленко А. В., Ходырева Е. В. Ранние герциниды Байкало-Витимской складчатой системы (Западное Забайкалье) // Геотектоника. – 2016. – № 3. – С. 63–84.
5. Нефедьев М. А. Объемная модель и оценка перспектив Озернинского рудного узла по геофизическим данным (Западное Забайкалье). – Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2009. – 184 с.
6. Руженцев С. В., Минина О. Р., Некрасов Г. Е., Аристов В. А., Голионко Б. Г., Доронина Н. А., Лыхин Д. А. Байкало-Витимская складчатая система: строение и геодинамическая эволюция // Геотектоника. – 2012. – №2. – С. 3–28.
7. Тарасова Р. С., Близнюк М. В., Бабкин И. Н. О формационном типе и генезисе Озерного свинцово-цинкового колчеданного месторождения // Геология и генезис эндогенных рудных формаций Сибири. – М. : Наука, 1972. – Вып. 143.

Данилов А. А.[1], **Домаренко В. А.** [2], **Журавлев В. Г.** [3]

[1] ООО «ГРП», г. Москва; [2] ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск; [3] АО «Эльконский ГМК», г. Москва

О ПЕРСПЕКТИВАХ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЗОЛОТА ЭЛЬКОНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Огромный потенциал Эльконского рудного района по урану и золоту определился еще в 60–80-х гг. прошлого века в результате планомерного и целенаправленного изучения советскими геологами территории Южной Якутии и был подтвержден уже в наше время (2009–2011, 2018–2022 гг.) Основные запасы урана и попутных компонентов (золото, серебро, молибден, ванадий) заключены в месторождениях зоны Южная (Элькон, Эльконское плато, Курунг, Непроходимое, Дружное) и зоны Северная (месторождение Северное). На основании детального изучения месторождения Северное сделан вывод о значительных перспективах Эльконского района на «свободное», легко цианируемое золото в окисленных рудах основных урановорудных структур. Окисленные руды возможно отрабатывать открытым способом с извлечением золота по технологии кучного выщелачивания.

Ключевые слова: Элькон, рудный район, запасы, уран, золото, серебро, ванадий.

Эльконский золото-урановый район расположен в восточной части Центрально-Алданского щита. В процессе мезозойской тектоно-магматической активизации при движении блоков земной коры в пределах южной части щита образовалась система горстов и грабенов, к одному из которых и приурочены структуры Элькона [3, 4, 6–8]. Основными структурными элементами района являются крупные крутопадающие и пологие разрывные нарушения, контролирующие

размещение приразломной золотоурановой минерализации эльконского типа, а также проявление субщелочного и щелочного интрузивного магматизма мезозойского возраста.

В металлогеническом плане Эльконский район характеризуется проявлением двух главных эпох рудообразования: докембрийской и мезозойской. В докембрийскую эпоху образованы крупные месторождения железа, флогопита и апатита, расположенные по периферии Эльконского горста. Для мезозойской металлогенической эпохи характерны промышленные месторождения урана и золота, месторождения молибдена, а также мелкие полиметаллические проявления жильного типа (рисунок).

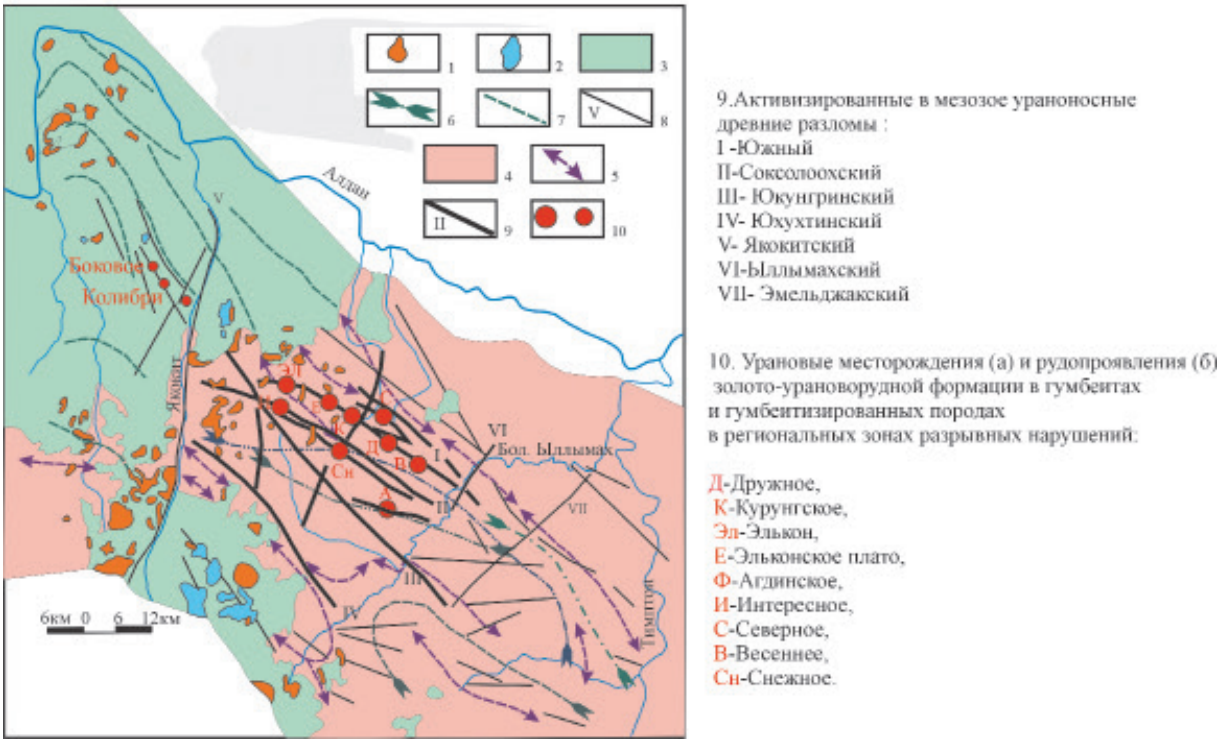


Рис. Схематическая геолого-структурная карта Эльконского золотоуранового рудного района (по В.М. Терентьеву) и др., 1999) [8]

В настоящее время по Эльконскому району Государственным балансом запасов учитываются 18 месторождений урана: зоны Южной (месторождения Элькон, Эльконское плато, Курунг, Непроходимое, Дружное), зоны Северной (месторождение Северное), месторождение Лунное, зоны Интересная, 510, 517, 511–565, Володина (566), Невская, Надеждинская, Весенняя, Агдинская, Пологая и Центральная. Основные запасы урана и попутных компонентов (золото, серебро, молибден, ванадий) заключены в месторождениях зоны Южная, месторождении Северное.

Суммарные запасы месторождений Зоны Южная и месторождения Северное составляют более 350 тыс. т урана, около 180 т золота и 2360 т серебра, 41,6 тыс. т молибдена, 113 тыс. т. ванадия (Протокол № 2896-оп от 21.11.2012 г.). Однако в силу объективных обстоятельств этот огромный потенциал Эльконского района до настоящего времени остается невостребованным.

Оруденение имеет комплексный характер и в его размещении отмечается зональность, которая проявляется в составе руд: на северо-западном фланге рудного узла уран в рудах частично представлен оксидами, а золото – самородной формой; в направлении к юго-востоку оксиды урана сменяются титанатом урана – браннеритом, а золото связано с сульфидами. На юго-восточном фланге зоны Южная (месторождение Дружное) появляются жильный кварц и молибденит, а еще дальше в этом направлении руды становятся почти чисто молибденитовыми (участок Минеевский).

Золото-урановое оруденение зоны Северная приурочено к участкам дробления и брекчирования, сопровождаемым интенсивными метасоматическими преобразованиями пород, дорудного, рудного (формирование эльконитов) и послерудного этапов.

Урановое оруденение представлено браннеритом и продуктами его гипогенного разложения, реже настураном и коффинитом.

Золотое оруденение Эльконского района представлено двумя минералого-технологически типами.

• *Первичные руды.* В первичных рудах золото находится в тонкодисперсной форме в скрытокристаллическом пирите-мельниковите, входящем в состав пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов. Среднее содержание золота в балансовых рудах разведанных месторождений зон Южная и Северная – 0,73 г/т [1, 2, 4, 7, 8].

Золотоурановые руды с пиритом являются труднообогатимыми. По результатам технологических исследований золотоурановых руд разработана технологическая схема, предусматривающая последовательное автоклавное выщелачивание урана и далее получение золотосодержащего продукта флотацией из кеков после выщелачивания урана.

Опыты с последующим извлечением золота цианированием не принесли желаемых результатов – сквозное извлечение золота до 20 %, что требует в перспективе совершенствования технологии комплексной переработки первичных руд.

• *Окисленные руды.* В окисленных рудах золото находится в свободной, легко цианируемой форме и доступно для открытой разработки. Свободное золото образовалось в результате окисления золотоносного пирита, входящего в состав околорудных щелочных метасоматитов пирит-карбонат-калишпатового состава. Среднее содержание золота в окисленных рудах составляет 0,91 г/т (месторождение Северное), 1,85 г/т (месторождение Лунное).

По результатам лабораторных технологических исследований картировочных проб месторождения Северное установлено, что извлечение золота находится в прямой зависимости от степени окисления – при повышении степени окисления проб руды растет извлечение золота цианированием. Для рядовых руд извлечение золота составляет около 80 %, извлечение серебра – около 20 %.

В отличие от упорных первичных руд, окисленные руды с легко цианируемым золотом представляют большое практическое значение в современных экономических условиях. Это подтверждается промышленной отработкой месторождения Лунное (зона Федоровская) и опытно-промышленными работами на месторождении Северное.

Из всего большого количества выявленных рудных зон к настоящему времени на золото изучена только малая часть – зоны Федоровская, Мраморная, Звездная, Северная и некоторые другие. Крупнейшие структуры района – зоны Южная, Сохсолоохская, имеющие протяженность более 20 км, и ряд менее протяженных зон (до 10–15 км) – Весенняя, Надеждинская, Интересная, Агдинская, Невская и др., характеризующиеся интенсивным развитием пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов, на золото с поверхности не изучены.

По аналогии с известными месторождениями (Лунное и Северное) их золоторудный потенциал (прогнозные ресурсы категории P_2) весьма значителен и составляет не менее 500 т «свободного» золота для открытой отработки с кучным выщелачиванием золота и серебра. Данная оценка основывается на расчете линейной продуктивности разведанной части месторождения Северное ≈ 5 т/км и суммарной протяженности рудных зон не менее 100 км.

Учитывая, что руды Эльконского района носят комплексный характер со значительными концентрациями «свободного» золота, особенно в приповерхностной части, Эльконский урановорудный район может быть определен как Эльконский золотоурановый рудный район – Эльконский ЗУРР.

Для дальнейшего изучения золотоносности района рекомендуется проведение ревизионных и средне-, крупномасштабных поисковых работ с оценкой перспектив ранее выявленных урановорудных зон на золотое оруденение в зоне окисления с составлением прогнозной карты золотоносности Эльконского ЗУРР. Данные работы предлагается включить в Программу работ федерального агентства Роснедра на 2024 г., финансируемых за счет средств федерального бюджета.

Авторы выражают искреннюю признательность М. В. Шумилину за ценные замечания и пожелания.

Список литературы:
1. Данилов А. А., Гласс И. Д., Овчарова Е. С., Фомин В. Ю., Руденко А. А., Журавлев В. Г., Домаренко В. А. Перспективы освоения комплексных золото-урановых месторождений Эльконского района // Золото и технологии. – 2021. – № 3 (53). – С. 34–39.
2. Домаренко В. А., Зайченко А. П., Перегудина Е. В. Внутреннее строение рудовмещающей структуры комплексного золото-уранового месторождения Северное (Эльконский урановорудный район) // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – № 9. – С. 78–84.
3. Казанский В. И. Уникальный Центрально-Алданский золото-урановый рудный район: научное издание // Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46, № 3. – С. 195–211.
4. Кочетков А. Я. Мезозойские золотоносные рудно-магматические системы Центрального Алдана // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 7. – С. 850–864.
5. Концепция освоения урановых месторождений Эльконского урановорудного района на территории Республики Саха (Якутия). – М., 2021.
6. Максимов Е. П. Центрально-Алданская золото-урановорудная магматогенная система (Алдано-Становой щит, Россия) // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29, № 2. – С. 3–26
7. Миронов Ю. Б. Металлогения урана восточной части Централь-Азиатского подвижного пояса : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Юрий Борисович Миронов. – СПб., 2009.
8. Молчанов А. В. [и др.]. Применение петрографо-геохимического картирования гидротермально-метасоматических образований при поисках эндогенных золотоурановых объектов (на примере Эльконского горста) // Региональная геология и металлогения. – 2012. – С. 80–101.
9. Терехов А. В. Рудоносность гидротермально-метасоматических образований Эльконского золото-урановорудного узла (Южная Якутия) : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Артем Валерьевич Терехов. – СПб., 2012. – 220 с.
10. Утробин Д. В., Шевченко В. И., Воробьев К. А., Шумбасова Г. А. Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 // Издание второе. Серия Алданская. Лист O-52-VII (Томмот). – СПб. : ГГП «Алдангеология», 2002.
11. Хомич В. Г., Борискина Н. Г. Структурная позиция крупных золоторудных районов Центрально-Алданского (Якутия) и Аргунского (Забайкалье) супертеррейнов // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 6. – С. 849–862.
12. Шумилин М. В. Алданская урановая эпопея: история и некоторые уроки // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2022. – № 3. – С. 1–6.

Дементеенко Л. И.
ГУП «Регионалгеология», Эшонгузар, Узбекистан

ТИПЫ ОРУДЕНЕНИЯ ЯККАБАГСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЮЖНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

Показаны типы оруденения, распространенные на Яккабагском рудном поле, на конкретных рудопроявлениях дана их минералогическая и геологическая характеристика, установлена связь с вулканогенными формациями на каменноугольно-пермский период и структурная позиция. Для молодого оруденения золото-медно-ванадиевого типа установлена связь с битум-нефтегазоносными растворами, показана рудоконтролирующая роль Лянгарского надвига.

Ключевые слова: рудное поле, вулкано-тектоническая структура, магматическая формация, фация, структура, колчеданно-полиметаллический тип, аллювиальные отложения.

Яккабагскому рудному полю на каменноугольно-пермский период соответствует Яккабагская вулкано-тектоническая структура (ВТС). Как и во всех ВТС юго-западных отрогов Гиссарского хребта здесь отмечается совмещение разрезов различных магматических формаций и, соответственно, связанного с ними оруденения [1].

Среди месторождений и рудопроявлений Яккабагской ВТС наряду с колчеданно-полиметаллическим (Сулукуль, Вуары, Нижний Карамкуль, Шильхазор), известны скарново-полиметаллические (Тутаката, Чуянли, Терекли), кварц-карбонат(барит)-полиметаллические (Уолсах, Апжур, Тутаката, Галлябулак) и медноколчеданные (Кульдара).

Рудопроявление Кульдара расположено на пересечении трех региональных глубинных разломов: широтного, северо-восточного и северо-западного. Медноколчеданные руды слагают серию линзовидных и пластовых тел среди хлоритовых метасоматитов, развитых по порфироидам между двумя наиболее крупными выходами субвулканических трахириолитов. Руды интенсивно разлинзованы, их облекает рассланцованная хлоритовая масса. Главными минералами руд являются халькопирит, пирит, сфалерит, халькозин, ковеллин, редко встречаются галенит, борнит, из нерудных отмечаются кварц, хлорит. Помимо основных компонентов – меди, свинца, цинка, – в рудах содержатся висмут, серебро, кадмий и золото. Медноколчеданные руды характеризуются незначительными примесями свинца и цинка. Халькопирит из этих руд содержит примеси висмута, селена, индия, серебра [4].

Медные руды в виде вкрапленности, гнезд и тончайших прожилков концентрируются в дайках трахириолитов-трахириодацитов в зонах пересечения ими медноколчеданных руд. При формировании медных руд большую роль играли пирит и титаномагнетит, широко распространенные в дайках, вмещающих породах и служившие источником железа для халькопирита.

Цинково-колчеданные руды развиты наиболее широко, они образуют протяженное, выдержанное по мощности пластообразное тело в окварцованных, хлоритизированных и карбонатизированных кварцитовидных породах, плагиоклаз-кварц-мусковитовых и мусковит-кварцевых сланцах с порфиробластами гранатов. Руды приурочены к основанию верхней пачки. В подошве руды имеют существенно колчеданный состав, выше по разрезу, с появлением прослоев карбонатных пород, существенную роль играет сфалерит. В незначительном количестве встречаются марказит, галенит, халькопирит, пирротин, борнит. В участках, обогащенных сфалеритом, руды содержат в качестве примеси свинец, медь. В сфалерите отмечаются повышенные содержания кадмия. Пириты характеризуются относительно высокими содержаниями мышьяка (до 4500 г/т), селена (до 200 г/т) и висмута (до 110 г/т) [4].

Наиболее представительным месторождением колчеданно-полиметаллического типа является рудопроявление Сулукуль. Оно представлено двумя рудными зонами – Северной и Южной, строение которых аналогичное. Рудные тела приурочены к основанию доломитизированных известняков, являющихся экраном. В подэкранной позиции находятся лавовые фации трахириолитов, близкие по облику к лавам Чинарсайского экструзивного купола Хандизинского рудного поля. Они представлены перлитовыми, сфероидальными лавобрекчиями и игнимбритовидными породами со своеобразными раздвоенными фьямме и флюидальными лавами. Субсогласно контакту располагаются зоны рассланцевания и брекчирования. В основании доломитизированных известняков и в отдельных мелких блоках отмечаются выходы вулканомиктовых песчаников, алевролитовых туффитов, разнообломочных туфов кислого состава, в западной части – лапиллиевых туфов. Пирокластическая составляющая близка по составу и структурным особенностям толще участка Центральный месторождения Хандиза, но значительно меньшей мощности. Главной отличительной особенностью рудопроявления Сулукуль является широкое развитие в зонах контакта субсогласных силлообразных тел слабо измененных риолитовых порфиров и гранит-порфиров дацит-риолитовой формации.

Наиболее распространен в Яккабагских горах кварц-карбонат(барит)-полиметаллический тип кварц-карбонат(анкерит, кальцит)-галенитового минерального типа. К нему относятся рудопроявления Уолсах, Апжур, Тутаката, Галлябулак. Руды представлены зонами прожилково-гнездовой минерализации и практического интереса не представляют.

В доломитовых породах развиты метасоматиты, представленные кварц-железо-магнезиальный карбонат(анкерит, сидерит, магнезит)-серпентин, кварц-доломит-анкерит(сидерит, магнезит)-серицит, хлоритовыми парагенезисами. Эти образования являются фациальной разновидностью березитовой формации. Наиболее представительным является рудопроявление Тутаката.

Гематит-магнетитовые скарны, наложенные на сульфидное оруденение, имеют секущие контакты с нижним горизонтом известняков. Мощность тел скарнов до 5 м, протяженность – 230 м. Верхний горизонт известняков мощностью 20–25 м расположен в контакте с лавами трахириодацитов и скарнов не содержит. Контакты тектонические. В нижнем контакте располагается зона сульфидного оруденения, прослеженная по простиранию на 500 м. Руды прожилково-вкрапленные с максимальной мощностью тел до 5,5 м. Содержание свинца до 11 %, цинка до 3 %. По падению оруденение прослежено на 70 м.

Разрез, ограниченный известняками, представлен туфами и туффитами риолитового состава алевролитовой и псаммитовой размерности, мощностью 40–50 м, а также горизонтом лав ликвационных перлитовых трахириодацитов неполной мощностью 75 м. С юга и с севера рудопроявление ограничено трещинными интрузиями гипабиссальных порфировидных гранитов, являющихся плутоническим аналогом вулканитов дацит-риолитовой формации пермского возраста. Отсутствие на рудопроявлении Тутаката мощной рудоэкранирующей толщи надвига и последующие (постколлизионные) тектонические процессы явились неблагоприятными факторами как для рудообразования, так и для сохранности оруденения, которое наблюдается лишь в аллохтонных блоках и в блок-ксенолитах.

Перспективы же южной части выдвигались ранее и подтверждаются наличием известных рудоконтролирующих факторов (наличие геохимических аномалий, палеовулканов, экструзивных куполов и кальдерных срывов, сопряженных с пересечением субширотных и северо-западных ветвей глубинных разломов). Эти факторы можно дополнить широким развитием образований андезитовой формации, представленной как основной составляющей, являющейся рудоносной на рудопроявлениях Кызылсай, Карасан Чакчарской ВТС, так и кислой экструзивно-эффузивных фаций, аналогичных лавам Чинарсайского купола Хандизинской ВТС; наличие аллохтонных блоков базальт-андезит-риолитовой формации и карбонатно-кремнистых (карбонатно-терригенных) [1]. Широкое развитие кварц-полевошпатового метасоматоза на фоне интенсивной пропилитизации и березитизации расценивается как один из признаков возможной золотоносности метасоматитов.

Наиболее перспективной для поисков оруденения хандизинского типа в Яккабагском рудном поле является зона предполагаемого Сулукуль-Зармаского субширотного разлома. Причем в западном направлении прогнозируется чинарсайский тип оруденения с рудоконтролирующими эффузивно-экструзивными фациями андезитовой формации, а в восточном направлении с увеличением пирокластической составляющей можно ожидать хандизинский тип (аналог Центрального участка).

Золото-сульфидно-кварцевый тип представлен двумя рудопроявлениями – Западный Зармас и собственно Зармас. Они располагаются вдоль Сулукуль-Зармаского субширотного разлома в зонах межформационных срывов, сопровождающихся зонами березитизации, ожелезнения, окварцевания с пиритом, галенитом. Содержание золота на Западном Зармасе – 0,1–0,4 г/т, свинца, цинка – 0,1 %, на рудопроявлении Зармас содержание золота – 9,1 г/т, в отдельных сечениях до 10,4 г/т, серебра до 22 г/т, свинца, мышьяка, цинка – 0,1 %. Общая протяженность рудных зон рудопроявления Зармас – 3600 м, мощность – 1,35 м.

Юго-западнее и юго-восточнее рудопроявления Зармас и юго-западнее Сулукуль-Зармаского субширотного разлома ВТС перекрыта триас-юрскими образованиями с каолинитовыми корами выветривания в основании с содержаниями золота (в единичных пробах) до 2 г/т. Это, естественно, расширяет перспективы перекрытой площади.

Мезозойский и кайнозойский рудогенез, частично наследуя общие черты палеозойских процессов и специфику домезозойских образований, несет новые формы оруденения и связей с фундаментом.

Оруденение золото-медно-ванадиевого типа приурочено к горизонту рудных конкреций, расположенному в основании карабильской свиты (K_1kr) на контакте с гипсами гаурдакской свиты (J_3grd). Красновато-бурые аргиллиты насыщены голубовато-серыми линзами, пятнами и непротяженными, быстро выклинивающимися прослоями, содержащими конкреции. Высокая концентрация конкреций отмечается на участках Хантахта, Гурунляк, Ташкурган южных склонов Яккабагских гор. Среднее содержание золота на этих участках 3,4–4,85 г/т,

ванадия – 2,94 %, меди – постоянно десятые, в единичных пробах на Хантахте достигает 4,2 %, высокие содержания платины (0,2–0,5 г/т) и палладия (0,1–0,3 г/т) установлены в единичных пробах на участках Хантахта и Гурунляк [3].

Для перекрытых южных склонов Яккабагских гор (Яккабагского рудного поля) наличие рудоносного горизонта конкреций с высокими содержаниями рудных компонентов на участках Хантахта, Гурунляк, Ташкурган является прямым поисковым признаком скрытого оруденения в фундаменте [2].

О разнообразии золотого оруденения и его масштабах свидетельствует также наличие разнообразных морфогенетических типов золота в аллювиальных отложениях р. Кызылдарья, где нами выделены гидротермальный жильный среднеглубинный и малоглубинный, метаморфогенный и метасоматический типы, древний и молодой (меловой) биогенно-хемогенный типы и гипергенные – золото кор выветривания, золото природной гальваностегии, корродированный тип золота.

Список литературы:

1. Дементеенко Л. И. Геохимические, петрологические особенности и рудоносность верхнепалеозойских вулканогенных формаций Юго-Западного Гиссара (Узбекистан) : специальность 04.00.02 «Геохимия» : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Людмила Ивановна Дементеенко. – Благовещенск : Рос. АН, Дальневост. отд-ние, Амур. науч. центр, Амур. комплекс. НИИ, 1999. – 209 с.
2. Дементеенко Л. И. Гидрогенные рудные конкреции покровного чехла – индикаторы скрытого древнего оруденения фундамента (Южный Узбекистан) // Материалы X международной научно-практической конференции: «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2021. – С. 56–57.
3. Дементеенко Л. И., Головко А. В., Попенко Г. С. Нетрадиционные источники благородных и других металлов в Юго-западных отрогах Гиссарского хребта // Материалы международной научно-технической конференции «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан». – Ташкент : ИМР, 2018. – С. 178–181.
4. Панкратьев П. В., Михайлова Ю. В. Рудные формации стратиформных свинцово-цинковых месторождений Узбекистана. – Ташкент : Фан, 1981. – 256 с.

Денисова А. А., Мишенин С. Г., Щербатых М. О.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЙСКОЕ В ЗМЕИНОГОРСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ)

В Змеиногорском рудном районе на месторождении Майское, являющемся петрофизически слабоконтрастным и глубокозалегающим объектом, выполнены опытно-методические геофизические работы с задачами оценки разрешающей возможности современной аппаратуры, оптимизации поисковых сетей, использования новых методов обработки данных с целью повышения эффективности поисковых геофизических комплексов. Были выполнены площадные работы магниторазведкой с регистрацией вертикального магнитного градиента и электроразведкой методом срединного градиента с регистрацией ВП (СГ-ВП), а также профильные работы на трех профилях, секущих месторождение в различных направлениях методами электротомографии МКП-ВП, зондирования становлением поля (ЗСБ) и магниторазведкой с измерением вертикального градиента (ММВГ). Оценены контрастность проявления слабоконтрастных рудных тел в разрезе и плане и необходимость применения для их локализации более высокоразрешающих методов геофизики.

Ключевые слова: магниторазведка, электротомография, зондирование, градиентометрия, полиметаллическое месторождение, вызванная поляризация.

Майское золото-серебряно-полиметаллическое месторождение – глубокозалегающий (на глубине более 150 м), неконтрастный в физических полях рудный объект малой–средней мощности (рис. 1). Рудные тела наклонно залегают в вулканогенно-осадочном комплексе верхнего девона. Осложняющим обстоятельством для проведения электроразведочных и магниторазведочных работ является промышленная зашумленность исследуемой территории (ЛЭП, обсадные колонны скважин, дороги).

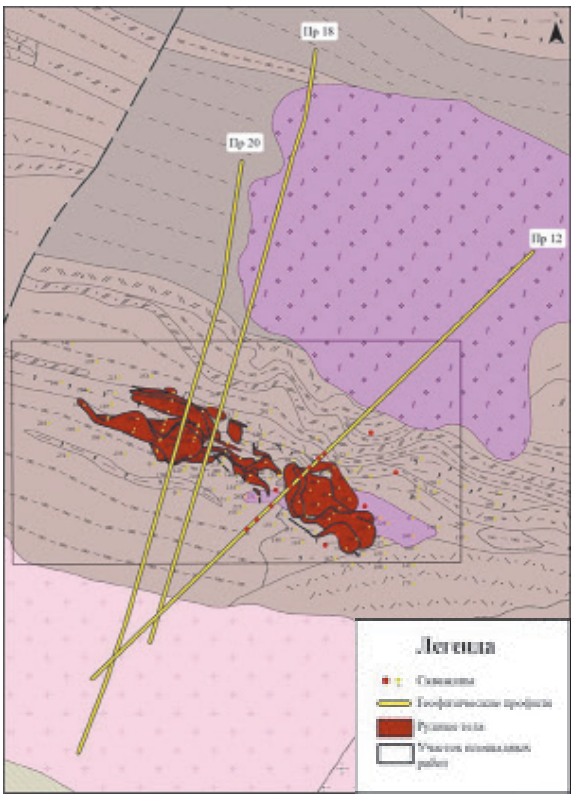


Рис. 1. Карта расположения геофизических профилей и площади работ на геологической основе (Росгеолфонд. Геологический отчет № 01-13-177, 2015)

На месторождении был выполнен комплекс геофизических исследований, включающий площадные исследования: магниторазведку по методике вертикальной градиентометрии по сети 25 × 5 м, электроразведку методом срединного градиента с регистрацией ВП (СГ-ВП) по сети 25 × 25 м. Кроме того, в геофизический комплекс входила профильная электротомография с измерением ВП (МКП-ВП) на 3 профилях, профильная электроразведка методом зондирования становлением поля (ЗСБ) на 2 профилях и профильная магниторазведка по методике вертикальной градиентометрии с шагом 5 м. Также были проведены точечные вертикальные электрические зондирования с многочастотным измерением ВП (ВЭЗ-ЧВП). Целевой задачей выполненных работ была оценка возможностей геофизических методов в плане глубины исследований и локализации рудных объектов или рудовмещающих формаций.

По полученным полевым данным была проведена интерпретация с целью обнаружения и локализации рудных тел месторождения.

Достаточно неожиданными были результаты по магниторазведке. Если в наблюденных аномальных магнитных полях обоих датчиков рудные тела не находят отражения, то в поле вертикального магнитного градиента над месторождением наблюдается слабоинтенсивная отрицательная аномалия. Нами была проведена специальная интерпретация поля вертикального градиента на основе алгоритмов СЛАУ (систем линейных аналитических уравнений). Проводился пересчет

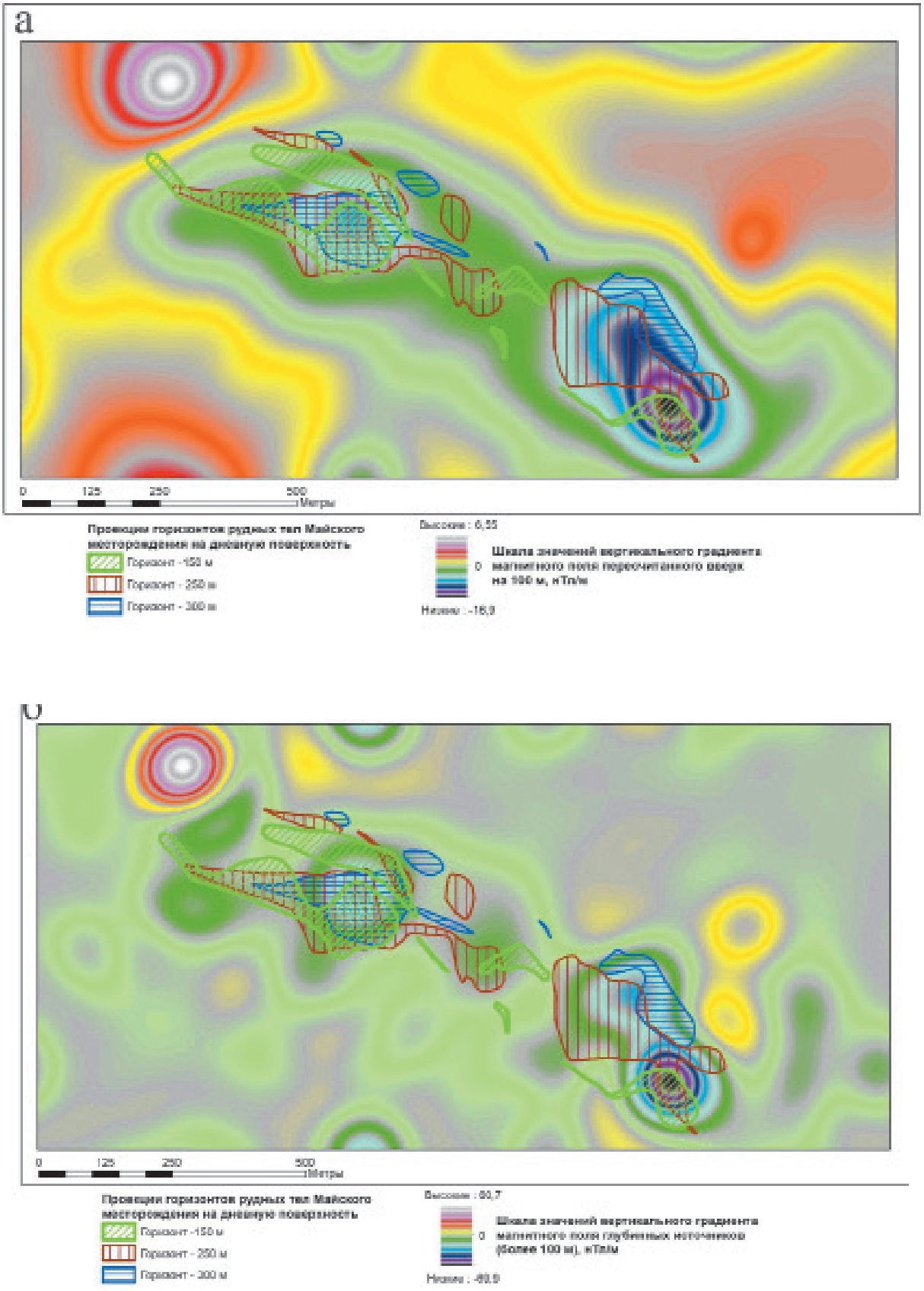


Рис. 2. Карта вертикального градиента магнитного поля, пересчитанного вверх на 100 м (а) и карта вертикального градиента магнитного поля глубинных источников (более 100 м) (б)

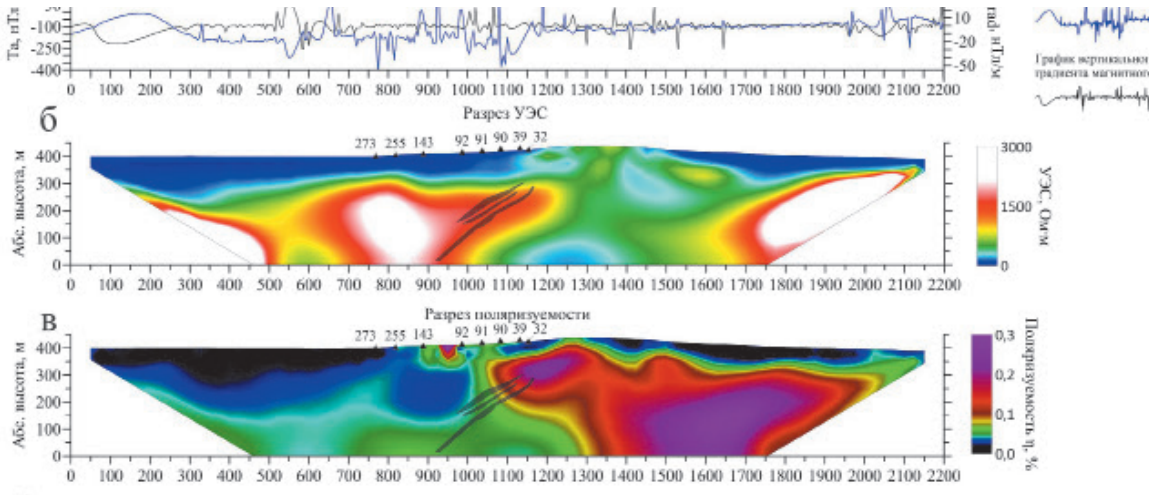


Рис. 3. График аномальной составляющей магнитного поля и вертикального градиента магнитного поля по профилю 12 (а). Разрезы удельного электрического сопротивления (б) и поляризуемости (в) по результатам инверсии МКП-ВП

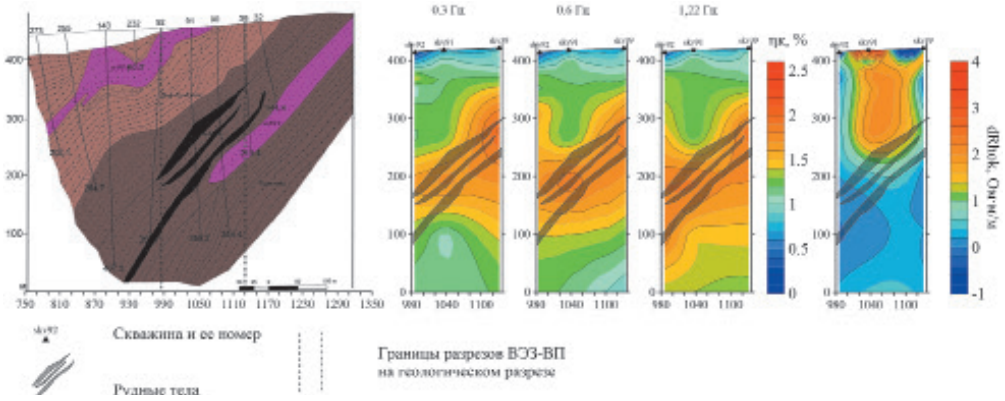


Рис. 4. Геолого-геофизический разрез по линии скважин 92, 91 и 39. Ось глубин на геофизических разрезах – АВ/2 (теоретическая глубина) (Росгеолфонд. Геологический отчет № 01-13-177, 2015)

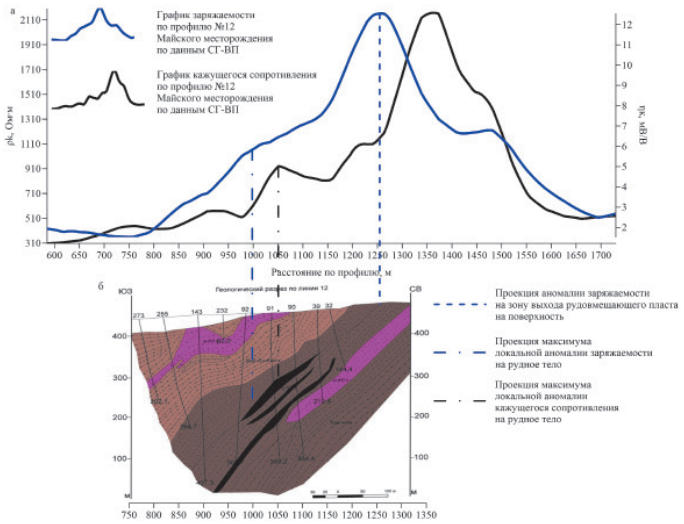


Рис. 5. Графики кажущегося сопротивления и заряжаемости по 12 профилю Майского месторождения по данным СГ-ВП (а) и геологический разрез по линии № 12 (б) (Росгеолфонд. Геологический отчет № 01-13-177, 2015)

вверх на 100 м, а также оценивалось влияние глубинных объектов в поле вертикального магнитного градиента (рис. 2)

На карте вертикального градиента магнитного поля, пересчитанного вверх на 100 м (см. рис. 2, а), и карте аномального поля градиентов от глубинных источников, рассчитанных по вертикальному градиенту магнитного поля (см. рис. 2, б), отчетливо наблюдаются отрицательные аномалии, коррелирующие с проекциями горизонтов рудных тел на поверхность. Таким образом, при помощи проведенных трансформаций аномального магнитного поля и его вертикального градиента удалось локализовать контур рудных тел Майского месторождения.

Таким образом, магниторазведка, выполняемая с измерением вертикального градиента, обладает более высокой разрешающей способностью, позволяя фиксировать площадные рудные объекты с пониженной намагниченностью.

Профильная электротомография (ЭТ) методом МКП-ВП выполнялась с использованием трехэлектродной установки B∞AMN («Pole-Dipole») с разносом «бесконечность» не менее 3 км. На разрезе УЭС, полученном по результатам инверсии данных ЭТ, рудные тела выделяются в качестве аномальной области с сопротивлением около 1500 Омм, вытягивающейся в северо-восточном направлении (рис. 3, б). Аномалия, вероятно, связана с толщей высокоомных алевропелитов, вмещающих рудные тела. На разрезе поляризуемости рудные тела обозначаются переходной зоной от низких значений поляризуемости (0,05 %) до высоких (0,3 %) (см. рис. 3, в). Исходя из полученных данных и их сопоставления с геологическим разрезом, можно сделать вывод, что примененная согласно устоявшимся в современной поисковой практике подходам [1, 2, 3] установка электротомографии в данной геологопоисковой обстановке характеризуется слишком большой интегральностью. Она не позволяет однозначно локализовать рудные тела на фоне других аномалий проводимости и поляризуемости. Ее достоинством является лишь то, что она обеспечивает требуемую глубинность исследований (не менее 400 м), необходимую для изучения глубокозалегающих рудных объектов.

Для оценки возможности применения более высокоразрешающих методов электроразведки нами были выполнены точечные вертикальные электрические зондирования с многочастотным измерением ВП (ВЭЗ-ЧВП), совмещенные с глубокими разведочными скважинами. На рис. 4 приведены геоэлектрические разрезы, построенные по данным трех точек ВЭЗ-ЧВП, совмещенные с данными разведочного бурения. Было замечено, что при наличии высокоомных изменений горных пород в надрудной толще, смена частоты зондирования позволяет «увидеть» разные участки рудных тел по глубине. На низких частотах хорошо обозначается верхняя часть рудных тел, аномалия повышенного значения кажущейся поляризуемости (более 1,5 %) четко локализует тела, с повышением частоты зондирования начинает проявляться более глубинная часть, при этом аномалия поляризуемости становится более размытой.

Таким образом, предварительные результаты анализа данных электроразведки методом ВЭЗ-ЧВП указывают на потенциальную эффективность многочастотных методов электроразведки и необходимость развития дальнейших опытно-методических работ в данном направлении.

На площади Майского месторождения были также выполнены работы методом СГ-ВП. На рис. 5, а представлены графики кажущегося сопротивления и заряжаемости по СГ-ВП для профиля № 12, ниже графиков представлен геологический разрез, построенный по скважинам, расположенным на профиле № 12 (см. рис. 5, б). Пик аномалии заряжаемости приходится на выход терригенных пород, которые могут нести вторичную минерализацию, так как вышележащие породы находятся в связи с рудными телами. Также на графиках обозначаются локальные аномалии кажущегося сопротивления и заряжаемости, максимумы которых приходятся на проекцию рудных тел на дневную поверхность. Аномалия высокого сопротивления может быть связана с наличием кварцевых пород, ассоциирующих с рудовмещающей толщей. Боковая локальная аномалия повышенных значений заряжаемости – с наличием в разрезе поляризующихся руд. Таким образом, локализация источников аномалий УЭС и поляризуемости в конкретной геологопоисковой обстановке позволяет правильно интерпретировать их природу и положение в геоэлектрическом разрезе.

Сопоставления распределения кажущегося сопротивления, определенного по методу СГ-ВП с распределением кажущегося сопротивления по горизонтам, полученным по данным электро-

томографии, позволяет считать, что практическая эффективная глубина примененной установки СГ составляет порядка 110–140 м против ожидаемой теоретической эффективной глубинности 200 м, т.е. примерно на 40 % ниже. Это связано с неблагоприятными геоэлектрическими особенностями геологического разреза (наклонным залеганием пластов, наличием непроводящих экранов, а также влиянием приповерхностного водоносного горизонта в интервале глубин 0–80 м). Эти факторы, определяющие реальную эффективную глубинность метода СГ, должны обязательно учитываться при планировании производственных работ в подобных поисковых обстановках путем постановки параметрических работ на известных разрезах или выполнением опорных профилей электротомографии.

Выводы. При изучении глубокозалегающих слабоконтрастных золото-серебряно-полиметаллических месторождений следует применять разнообразие геофизических методов разведки. Хороший результат показало комплексирование: совместное применение магниторазведки и электроразведки.

Площадная магниторазведка позволила локализовать Майское месторождение при использовании трансформанты вертикального градиента аномального магнитного поля. На примере профиля 12 Майского месторождения выяснено, что различные методы электроразведки позволяют найти и локализовать рудные тела наклонного залегания. Методы СГ-ВП и ЭТ позволили обнаружить аномалии от тел, а метод ВЭЗ-ЧВП их локализовать, причем с повышением частоты зондирования выделяются более глубинные части рудных тел.

Список литературы:

1. Балков Е. В., Панин Г. Л., Манштейн Ю. А., Манштейн А. К., Белобородов В. А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения [Электронный ресурс]. – https://geoinfo.ru/product/balkov-evgenij-vyacheslavovich/ehlektrotomografiya-apparatura-metodika-i-opyt-primeneniya-39638.shtml. Дата обращения 15.03.2023.
2. Бобачев А. А., Модин И. Н., Перваго Е. В., Шевнин В. А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред // Разведочная геофизика. Обзор. АОЗТ «Геоинформмарк». – 1996 – Выпуск 2. – 50 с.
3. Loke M. H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. – 2009. – 144 p.

Джангиров М. Ю., Четвертаков И. В., Половьян В. А.
ООО НПК «СПИРИТ», г. Иркутск

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ШЛИХОВОГО, БОРОЗДОВОГО И ВАЛОВОГО ОПРОБОВАНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ ТЕХНОГЕННОЙ РОССЫПИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮРСКИЙ В НЕРЮНГРИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

По результатам поисково-оценочных работ на техногенном месторождении Юрский проведено сопоставление разных методов опробования. Приведены средние содержания золота в техногенных отвалах в зависимости от метода опробования. Результаты шлихового опробования ниже по отношению к валовому опробованию. Разница результатов опробования разными методами зависит от гранулометрического состава самородного золота, отклонения линий и точек опробования.

Ключевые слова: месторождение россыпного золота Юрский, техногенные отвалы, эфеля, галя, вскрыша, шлиховые, бороздовые, валовые пробы, содержания золота.

Месторождение россыпного золота Юрский расположено на площади Нерюнгринского района Республики Саха (Якутия) в пределах Верхне-Тимптонского золотоносного района. В настоящее время целиковые россыпи на месторождении практически полностью отработаны. Целевым назначением проведенных работ являлось установление пространственного распределения и количества запасов россыпного золота и прогнозных ресурсов в техногенных образованиях месторождения Юрский.

В 2020–2022 годах были выполнены поисково-оценочные работы, включающие картирование отвалов с отбором шлиховых проб, типизацию отвалов, бороздовое и валовое опробование отвалов траншеями, подсчет запасов в техногенных отложениях по результатам опробования.

В лицензионном контуре Юрского месторождения было изучено 72 техногенных отвала, среди которых выделены вскрышные, эфельные, галевые и смешанные.

Из всех отвалов основной промышленный интерес представляют эфельные отвалы шлюзовых промывочных приборов с одностадийной схемой обогащения, малоэффективных для улавливания мелких и тонких классов золота. На технологические потери также влияет гранулометрический состав золота и конструктивные особенности промывочных приборов.

Галечные отвалы, как правило, мелкие по размерам и не несут в себе значимых содержаний золота. Это обусловлено особенностями гранулометрического состава аллювиальных отложений, содержащих крупную гальку и мелкие валуны в незначительном количестве.

Вскрышные отвалы, сложенные аллювиальными отложениями торфов со знаковым содержанием золота, также не имеют промышленного значения.

Характерной особенностью техногенных образований на отработанном месторождении Юрский является наличие смешанных отвалов, в которых совмещены отвалы различных типов и разных лет отработки. Такое смешение отвалов имеет несколько причин. Некоторые промышленные залежи были частично перекрыты ранними эфельными отвалами. Позднее, при отработке перекрытых залежей, ранние эфельные отвалы перемещались на новое место и смешивались со вскрышными и новыми эфельными отвалами. Такие смешанные отвалы по объему значительно превышают обычные эфельные отвалы, а содержания золота в них достигают промышленных значений.

Гранулометрический состав эфелей характеризуется преобладанием песчаной фракции (-2 мм), составляющей 59 % горной массы, и полным отсутствием гальки крупнее 80 мм (табл. 1).

Характерной особенностью золота месторождения Юрский является преобладание в россыпях золотин мелких и весьма мелких классов. Во всех детализированных отвалах преобладает

Табл. 1. Гранулометрический состав эфельных отложений

Фракции, мм										
	-2	-5 +2	-10 +5	-20 +10	-40 +20	-50 +40	-60 +50	-80 +60	+80	-2+80
Сод., %	59,06	7,49	9,44	7,48	10,00	2,88	2,94	0,72	0	100

мелкое самородное золото класса -0,5+0,125 мм. Тонкое золото крупностью -0,125 мм составляет порядка 10 % от общей его массы (табл. 2).

На поисковой стадии маршрутами было откартировано и опробовано шлиховым методом 76 техногенных отвалов. Отобрано 313 шлиховых проб. Установлено, что промышленное значение

Табл. 2. Распределение самородного золота по классам крупности в эфельных отвалах

Класс крупности, мм						
	-2+1	-1+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,125	-0,125+0,0	Итого:
Сод., %	3,88	18,02	40,44	26,57	11,10	100,00

имеют только эфельные отвалы шлюзовых промывочных приборов.

Линии поисковых расчисток с опробованием бороздовыми пробами пройдены на 16 перспективных отвалах. Всего сделано 35 расчисток с отбором 346 бороздовых проб длиной 0,5 м и их промывкой на установках «УОМП» и «Крепыш».

Разведочные траншеи пройдены мехспособом на 24 перспективных отвалах. Всего пройдено 29 траншей общей длиной 3 840 п. м. Длина секций валового опробования составляла 20 м. В пробу включался весь материал, извлеченный из секции. Всего отобрано 186 валовых проб общим объемом 11 8491 м^3. Валовые пробы промывались на установке ОКВ-100, сконструированной и изготовленной ООО НПК «Спирит».

Сопоставление результатов шлихового, бороздового и валового опробования по отвалам приведено в табл. 3.

Табл. 3. Сопоставление результатов шлихового, бороздового и валового опробования

Название отвала	Объем отвала, м³	Среднее содержание Au х. ч., г/м³		
		по шлиховым пробам	по бор. пробам из траншей	по валовым пробам из траншей
Спирит 3	109 643	0,056	0,097	0,081
Дорожный 2	284 254	0,082	0,074	0,098
Дорожный 4	77 596	0,058	0,168	0,125
Проточный 1	61 420	0,046	0,167	0,098
Проточный 2	54 923	0,075	0,169	0,097
Машина 1	225 464	0,009	0,145	0,179
Зеленый 2	66 345	0,059	0,092	0,152
Дорожный 3	283 518	0,033	0,078	0,078
Правый 1	65 953	0,138	0,278	0,106
Правый 2	101 378	0,168	0,112	0,135
Хребтовый	186 163	0,131	0,116	0,123
Промежуточный	22 443	0,107	0,118	0,608
Правый	109 768	0,035	0,068	0,029
Правый 3	265 123	0,123	0,085	0,05
Бочковой	72 821	0,035	0,097	0,033
Хребтовый 3	81 347	0,065	0,021	0,022
Хребтовый 2	31 663	0,035	0,041	0,033
Хребтовый 1	63 851	0,085	0,079	0,091
Правый 4	245 311	0,044	0,042	0,119
Озерный	138 848	0,030	0,085	0,045
Левый	43 848	0,031	0,155	0,012
Средний 1	177 496	0,030	0,057	0,019
Средний 5	28 553	0,088	0,134	0,022
Средний 6	35 759	0,098	0,125	0,05
Среднее содержание		0,066	0,096	0,091

Из таблицы видно, что, несмотря на значительные различия средних содержаний золота по валовому и бороздовому опробованию траншей в отдельных отвалах, средние содержания по валовому и бороздовому опробованию траншей по всем отвалам практически совпадают – 0,091 г/м³ по валовым и 0,096 г/м³ по бороздовым пробам. Среднее содержание в оцененных отвалах по шлиховым пробам занижено по отношению к валовому опробованию в 1,4 раза.

С учетом этих результатов опробования можно сделать следующие выводы:

• Содержания Au по шлиховым пробам с поверхности отвала занижены по отношению к валовым пробам в 1,38 раза. Вероятно, в активном слое под действием атмосферных осадков золото частично «проседает» на глубину оттайки и результаты поверхностного шлихового опробования из копушей оказываются заниженными;

• Распределение золота в техногенных отвалах крайне неравномерное. Поэтому наиболее представительным является валовое опробование траншей, которое рекомендуется проводить при разведке и подсчете запасов техногенных россыпей;

• При крайне неравномерном распределении содержания металла в отвалах выделить какие-то обогащенные или непромышленные прослои по данным бороздового опробования не представляется возможным. Поэтому бороздовое опробование траншей параллельно с их валовым опробованием проводить не имеет смысла;

• Шлиховое опробование поверхности отвалов рекомендуется применять на поисковой стадии работ, для разбраковки отвалов по степени перспективности. При этом к результатам шлихового опробования рекомендуется применять поправочный коэффициент 1,4.

Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б., Нематуллаев С. Ю.
ИГГ, г. Ташкент, Узбекистан

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАСОМАТИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАРМИТАН (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

Рассматриваются геохимические характеристики метасоматитов месторождения Зармитан (Западный Узбекистан), а также даны ICP-MS масс-спектрометрические анализы полевошпат-кварцевых, березит-лиственитовых, гумбеитовых, эйситовых, аргиллизитовых и других формаций метасоматически измененных пород изучаемого месторождения.

Ключевые слова: месторождение золота, рудопроявление, сульфидная минерализация, рудные минералы, пирит, халькопирит.

Республика Узбекистан по запасам, ресурсам и добыче золота входит в первую десятку стран мира. Все промышленные объекты располагаются в пределах Кызылкумо-Кураминского металлогенического пояса, в который входят Южно-Тяньшаньский орогенический и Валериановско-Бельтау-Кураминский вулканоплутонический пояса. Формирование металлогенического пояса связывается с субдукцией коры Туркестанского палеоокеанического бассейна под Казахстанский микроконтинент и последующими геодинамическими процессами.

И. О. Хамроев [5] отмечает, что в Нуратинском районе в узле пересечения скрытого глубинного субмеридионального Зирабулак-Кошрабадского и субширотного Караулхана-Чармитанского разломов находятся месторождения золота Зармитан, Гужумсай, Урталик и др.

Зармитанское золото-кварцевое жильное месторождение является одним из важнейших эксплуатирующихся объектов в Северном Нуратинском районе. Геохимия рудных минералов этого месторождения изучена слабо, однако она имеет важное значение для комплексного использования его руд и решения некоторых генетических проблем. В связи с тем, что при переработке руд в качестве одного из продуктов получается сульфидный концентрат, изучение геохимии рудных минералов Зармитанского месторождения актуально.

Нами (А. М. Мусаев, Е. В. Щербакова, А. Хушвактов, Д. И. Джуманиязов и др.) при выполнении хоздоговорных работ по месторождениям Урталик и Юго-восточного фланга месторождения Чармитан выяснены особенности минерального состава рудосопровождающих метасоматитов [1–4]. Детально изучена их формационная принадлежность, выяснены детали вертикальной и горизонтальной зональности. Определена перспективность глубоких горизонтов Юго-восточного фланга месторождения Зармитан для расширения его сырьевой базы. Установлена комплексность руд этой части месторождения на редкометалльное и редкоземельное оруденение. Выработаны новые критерии поиска и прогноза золоторудной минерализации для Чармитанского рудного поля в целом. Показана самостоятельность кварц-полевошпатовой метасоматической формации с определением начала и конца ее формирования. Выяснена роль в контроле рудной минерализации березитовой, лиственитовой, эйситовой, гумбеитовой метасоматических формаций.

Формационные типы околорудных измененных рудовмещающих пород зависят от состава исходных пород (эдукта), поэтому возникают полевошпат-кварцевые, березит-лиственитовые,

гумбеитовые, эйситовые, аргиллизитовые и др. формации метасоматически измененных пород. Изучение рудоносности таких пород позволяет установить наличие определенной закономерности формирования рудоносных зон с золоторудной, редкометалльной, полиметаллической, редкоземельной и другой минерализацией.

При площадной альбитизации граносиенитов и гранодиоритов Зармитанского месторождения, сменяющейся березитизацией с повышением кремнеземности и глиноземистости породы, происходит значительное раскисленение рудообразующих растворов, равновесных с рудовмещающими породами. В условиях понижения температуры происходит снижение растворимости всего комплекса рудообразующих элементов, что приводит к повышению их эффективной концентрации или активности, способствуя их осаждению [2–4]. Именно эта стадия характерна для развития сульфидной минерализации, накладывающейся на березитизированные породы на месторождении Зармитан.

В данном случае все сульфиды имеют сложный состав, характерный для блеклых руд. Это связано с относительно низкотемпературными условиями их выделения по сравнению с чистыми от примесей арсенопиритами и пиритами, которые нередко встречаются в отдельных участках месторождения.

По результатам анализов, среднее содержание рудных элементов (г/т) и отношение к кларку в земной коре составляет: Cu – 42,61 (0,91), Zn – 206,7 (2,49), As – 1966,6 (1156,79), Se – 4,29 (85,72), Mo – 5,95 (5,41), Ag – 1,17 (16,73), Sn – 5,69 (2,28), Sb – 8,46 (169,17), Te – 0,21 (212,94), W – 21,15 (16,27), Re – 0,009 (12,26), Au – 0,29 (67,56), Pb – 122,5 (7,66), Bi – 1,1 (122,55), Hg – 1,97 (1,97), Pt – 0,03 (5,42), Co – 10,6 (0,59).

Фактически можно отметить, что на Зармитанском золоторудном месторождении элементы сульфидов, заключенных в метасоматитах, почти все имеют вышекларковые концентрации. Выполнена корреляция распределения рудных элементов в метасоматитах Зармитанского золоторудного месторождения, которая приведена ниже по отдельным элементам: для мышьяка – Se (0,34) и Sb (0,25); для теллура – Se (0,40), Ag (0,47), Sn (0,35), Sb (037), Au (0,48), Bi (0,46) и Pt (0,64); для висмута – Se (0,96), Ag (0,91), Sb (0,88), Au (0,97) и Co (0,44); для золота – Se (0,96), Ag (0,90), Sb (0,91), Te (0,48), Bi (0,97), Pt (0,29) и Co (0,39); для сурьмы – As (0,25), Se (0,89), Ag (0,86), Te (0,37), Au (0,91), Bi (0,88) и Co (0,38); для серебра – Se (0,85), Sb (0,86), Te (0,47), Au (0,90), Bi (0,91), Pt (0,27) и Co (0,27); для селена – Ag (0,85), Sb (0,89), Te (0,40), Au (0,96), Bi (0,96) и Co (0,46); для платины – Ag (0,27), Sn (0,37), Te (0,64) и Au (0,29).

По полученным результатам установлено, что в метасоматических породах месторождения Зармитан наряду с золотом и серебром присутствуют элементы, наличие которых рассматривается в качестве поисковых признаков. Такими элементами являются медь, селен, олово, мышьяк, молибден, свинец, сурьма, рений, вольфрам, цинк, платина и висмут. Полученные результаты послужат дальнейшему развитию минерально-сырьевой базы данного месторождения.

Наши наблюдения на месторождении Зармитан показали широкое развитие редкоземельной, золоторудной минерализации в связи с метасоматитами березит-лиственитовой, роговиковой и аргиллизитовой формаций околорудных изменений, достигающих по содержаниям золота и серебра промышленных значений. Установлено повышение продуктивности золотого оруденения на границе средне- и верхнерудных горизонтов, фиксируемых переходом среднерудных березитов к аргиллизированным породам верхнерудных горизонтов.

Список литературы:

1. Джуманиязов Д. И., Мусаев А. М., Каримова Ф. Б. Дайки габбро-сиенитов Чармитанского рудного поля (рудопроявление Тукман) // Всероссийская конференция, посвященная 120-летию со дня рождения выдающегося российского ученого академика Д. С. Коржинского. Москва, 7–9 октября 2019 г. – М. : ИГЕМ РАН, 2019. – С. 67–69.
2. Мусаев А. М., Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б., Хушваков А. Б. Рудопроявление Тукманской площади (Чармитанское рудное поле) // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала недр» 10–11 октября 2019 г. – Ташкент : АО «ИГИРНИГМ», 2019. – С. 382–384.

3. Мусаев А. М., Кушаков А. Р., Романов С. А. Оналбаев Е. Р., Джуманиязов Д. И. Сармиентитизация – важнейший поисковый признак золоторудных месторождений Южного Тянь-Шаня // Геология и минеральные ресурсы. – 2016. – № 5. – С. 21–26.
4. Мусаев А. М., Мирзаев А. И., Досткулов Ш. Я, Мусаев Р. А. Редкоземельные минералы Чармитанского рудного поля, их генетические типы и промышленное значение // Материалы Республиканской научной конференции «Современные проблемы связи геодинамики, магматизма и оруденения». – Ташкент, 2012. – С. 127–132.
5. Хамроев И. О. Многофакторная модель золоторудных месторождений Чармитанского рудного поля // Руды и металлы. – 2007. – № 5. – С. 68–77.

Ежков Ю. Б., Захидов А. Р., Холиеров А. Т., Рахимов Р. Р., Тошметов У. Х.
ГУ «ИМР» Госкомгеологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Au-Sb-Hg ОРУДЕНЕНИЕ ХРЕБТА ЧАКЫЛКАЛЯН ЮЖНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ (МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СТРУКТУРЫ И ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ)

Площадь Au-Sb-Hg оруденения хребта Чакылкалян является составной частью Зарафшано-Алайской структурно-формационной зоны Южного Тянь-Шаня. В Шинг-Магианской зоне месторождения и рудопроявления сформировались в два этапа: пневматолито-гидротермальный и гидротермальный; оруденение зоны подвержено значительной эрозии, на что указал выведенный коэффициент рудной геохимической зональности.

Ключевые слова: хребет, Чакылкалян, структурно-формационная зона, Южный Тянь-Шань, Шинг-Магиан, Кызылтурук, Аката-Акба, Чаштепе-Хинак, Au-Sb-Hg подзона, редкометалльный пояс, кварц, серицит, хлорит, руда, золото, ртуть, сурьма, медь, серебро, мышьяк, пирит, халькопирит, арсенопирит, пирротин.

Рассматриваемая площадь является составной частью Зарафшано-Алайской структурно-формационной зоны Южного Тянь-Шаня. Эта территория соответствует в основном горным сооружениям хребта Чакылкалян, сложенным карбонатно-терригенными сериями раннего и позднего палеозоя, прорванными интрузивными комплексами того же позднего палеозоя.

В металлогеническом отношении Зарафшано-Алайская структурно-формационная зона представляет собой золото-ртутно-сурьмяно-редкометалльный (вольфрам, олово) пояс. В ее пределах сурьмяно-ртутное оруденение и ассоциирующие с ним типы золотого оруденения группируются в две подзоны: северную (Джижикрутская рудная зона в Таджикистане и Чаштепа-Зинакская в Узбекистане); центральную (Шинг-Магианский рудный пояс Таджикистана и его продолжение на территории Узбекистана – Акба-Акатинская рудная зона).

Чакылкалянский мегаблок площадью 1200 км^2 сложен главным образом разновозрастными перемежающимися между собой нижне-средне- и верхнепалеозойскими карбонатно-терригенными отложениями. Лишь в северной и южной частях мегаблока среди этих отложений отмечаются апикальные выступы гранитных массивов.

Северная структура (Чаштепа-Зинакская) в Чакылкалянском мегаблоке по эродированности, геолого-структурным позициям, набору рудных элементов, развитию интрузивных и дайковых образований, типам изменения и другим факторам и признакам наиболее близка Тарор-Мосрифскому редкометалльно-золотому поясу Центрального Таджикистана. Пояс характеризуется серией чешуйчатых надвигов с чередованием карбонатных (D), терригенных (C_{1-2}) и терригенно-олистостромовых (C_{2-3}) отложений; а также относительно глубоким эрозионным срезом, особенно в восточной части, с выходом на поверхность различных интрузивных образований C_3.

Центральная структура мегаблока (Кызылтурук-Акба-Аката-Шинг-Магианская) характеризуется: значительной протяженностью (40 км), в целом слабой эродированностью (хотя степень эродированности в разных частях различна); интенсивным чередованием через систему локальных надвигов карбонатных (S–D) и терригенно-олистостромовых (C_{2-3}) отложений.

С увеличением степени эродированности участки Центральной структуры располагаются в порядке: Аката – Акба – Кызылтурук – Шинг – Магиан.

Сравнительная характеристика Шинг-Магианской и Акба-Акатинской зон показывает следующее.

1. Аналогичными являются литологические разновидности пород, типы разрывных и пликативных структур.

2. В Шинг-Магианской зоне активно проявлены интрузивные образования основного состава с широким развитием петрографически разнообразных дайковых комплексов, а в Акаба-Акатинской зоне интрузивные образования представлены лишь единичными выходами лампрофировых даек.

3. Степень метаморфизма пород Шинг-Магианской зоны соответствует верхам зеленосланцевой и низам амфиболитовой фаций. Этот фактор при формировании оруденения золото-кварцевого типа наряду с магматическим выступает на первый план.

4. Вмещающие породы Шинг-Магианской зоны интенсивно изменены, раздроблены, брекчированы, окварцованы, серицитизированы, хлоритизированы, карбонатизированы, скарнированы и пиритизированы. Содержание золота в рудах находится в прямой зависимости от количества основных сульфидов. Типы изменений пород Акба-Акатинской зоны аналогичны Шинг-Магианской, отличаясь только меньшей интенсивностью, малой мощностью и наличием убогой сульфидной минерализации.

5. Вмещающие киноварно-антимонитовое оруденение породы Шинг-Магианской зоны интенсивно катаклазированы, неоднократно окварцованы, слабо пиритизированы и серицитизированы. Известняки превращены в джаспероиды, а терригенные породы – в темноокрашенные кварциты. Джаспероиды и кварциты явились исходным материалом для образования крупнообломочных брекчий. Сурьмяное оруденение тяготеет главным образом к кремнисто-сланцевому, а – ртутное к сланцевому типу брекчий. В Акба-Акатинской зоне сурьмяное оруденение практически отсутствует, ртутное оруденение только карбонатно-киноварного типа, джаспероидная позиция эрозией не вскрыта.

6. Для Шинг-Магианской зоны коэффициент геохимической зональности указывает на рудный уровень среза, а на Акба-Акатинской – на эрозионный срез верхнего рудного уровня.

7. Коэффициент интенсивности оруденения в Шинг-Магианской зоне (Мадмонское рудное поле) указывает на средние и, возможно, крупные масштабы золотого оруденения, при содержании сопутствующих золоту элементов: мышьяка 0,2–0,3 % до 1 %, сурьмы от 0,01 до 3–5 %, свинца до 1,0 %, ртути до 0,07 %, меди от 0,1 до 1 %, серебра до 25 г/т. В Акба-Акатинской зоне значения коэффициента интенсивности указывают на малый и средний масштабы оруденения, при содержании парагенных золоту элементов: мышьяка 0,2–0,3 %, сурьмы до 0,008 %, серебра до 5 г/т, меди 0,003 %, свинца 0,001–0,005 %. Все эти элементы являются лишь поверхностными индикаторами скрытого золотого оруденения. Отсюда можно прийти к выводу, что на глубоких горизонтах Мадмонского рудного поля можно ожидать позицию золотого оруденения Шинг-Магианского типа.

8. В Шинг-Магианской зоне месторождения и рудопроявления сформировались в два этапа: пневматолито-гидротермальный и гидротермальный, а в Акба-Акатинской зоне –только в один гидротермальный этап.

9. По уровню эрозионного среза, наиболее эродированной является Шинг-Магианская зона, а в геологическом разрезе Акба-Акатинской зоны наблюдается дополнительный пакет карбонатных образований мощностью более 500 м, в связи с чем позиции размещения месторождений и их формационная принадлежность в двух зонах очевидно различны.

10. В Шинг-Магианской зоне золото присутствует в основном в самородном виде, образуя пылевидные включения в пирротине, халькопирите, частично в пирите и арсенопирите. Содержание золота в рудах находится в прямой зависимости от количества основных сульфидов.

В целом сравнительный анализ материалов исследований Au-Sb-Hg месторождений Чакылкалянских гор Таджикистана (Шинг-Магианская зона) и Узбекистана (Акба-Акатинская зона) показывает следующее:

• высокие концентрации рудных элементов, как правило, приурочены к приконтактовым зонам гранитоидных массивов и их рудоподводящим каналам;

• к рудоконтролирующим относятся структуры широтного, северо-западного и меридионального простирания, развитые в осадочно-метаморфогенных образованиях Чакылкалянских гор.

В Зарафшано-Алайской структурно-формационной зоне сурьмяно-ртутное оруденение с золотом группируется в две Au-Sb-Hg подзоны – северную и центральную.

Сравнительная характеристика в их пределах Шинг-Магианской и Акба-Акатинской рудных зон выполнена по вмещающим породам, особенностям проявления магматизма, метаморфизма, интенсивности и составу оруденения, его геохимической зональности и уровням эрозионного среза.

Ежков Ю. Б., Холиеров А. Т., Тошметов У. Х., Рахимов Р. Р.
ГУ «ИМР» Госкомгеологии РУз, г. Ташкент, Узбекистан

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ЗОНАЛЬНОСТЬ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД СЕРЕБРОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОСМАНАЧИ (УЗБЕКИСТАН)

Геолого-структурная позиция Косманачинского рудного поля определяется приуроченностью его к северному крылу крупной Тасказганской антиклинальной складки, осложненной локальными складчатыми структурами. В локализации оруденения главную роль играют протяженные структуры отслоения, вмещающие рудные тела. В рудных телах на глубоких горизонтах представлены все минеральные комплексы, установленные на месторождении – пирит-арсенопиритовый и сульфосольно-полиметаллический. Продуктивной минеральной ассоциацией, образующей промышленные скопления, является серебро-сульфосольно-кварцевая.

Ключевые слова: Косманачи, Центральные Кызылкумы, Атантайский надвиг, моноклиналь, зона окисления, руда, кварцевая жила, серебро-сульфосольно-кварцевый комплекс, сульфиды, гипогенная зональность, золото самородное, серебро самородное, антимонит, киноварь, фрейбергит, геохимический ореол, галенит, сфалерит, пирит, известняки, доломиты, кремни, сланцы, алевролиты, тасказганская свита.

Месторождение Косманачи расположено между г. Зарафшаном (20 км к востоку от него) и карьером месторождения Мурунтау (в 22 км к запад-северо-западу), в южной части Тамдытауского горного поднятия Центральных Кызылкумов.

Геолого-структурная позиция Косманачинского рудного поля определяется приуроченностью его к северному крылу крупной Тасказганской антиклинальной складки, осложненной северо-восточными и широтными крутопадающими тектоническими нарушениями, трассирующими зону Южно-Тамдытауского глубинного разлома. Само месторождение Косманачи располагается в узле пересечения Атантайского надвига (дорудный) и Косманачинского разлома (рудораспределяющий), выраженном сложной системой зон смятия, интенсивного рассланцевания и дробления пород бесапанской свиты.

Район месторождения сложен толщей отложений тасказганской свиты R_{2-3} и свит бесапанского разреза $V–Є?–O_3–S_1$, перекрытых толщей девонских карбонатных пород. По литолого-петрографическим особенностям нижняя часть тасказганской свиты состоит из чередующихся линзовидных углеродистых кремней, мраморизованных известняков и доломитов, метабазитов, преобразованных до уровня зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Верхняя часть свиты сложена преимущественно монотонной толщей микрокристаллических сланцев по песчаникам, алевролитам, пелитам и кремнисто-карбонатными породами. Мощность свиты более 1500 м.

Месторождение приурочено к моноклинали, осложненной локальными складчатыми структурами. В локализации оруденения разрывные нарушения имеют второстепенное значение, главную роль играют протяженные структуры отслоения, вмещающие рудные тела.

Выходы интрузивных пород на площади месторождения незначительны. Они в виде даек отмечены по отдельным скважинам и на горизонте горных выработок (+640 м). По составу относятся к керсантитам и входят в состав мурунтауского сиенит-диорит-гранофирового комплекса.

Руды приурочены к кварцевым жилам и зонам прокварцевания, всегда несущим следы интенсивного дробления пород. Постоянным спутником кварца является железистый доломит, содержание которого в отдельных участках может достигать нескольких процентов. Для рудных интервалов характерно повышенное содержание сульфидов.

В рудных телах на глубоких горизонтах представлены все минеральные комплексы, установленные на месторождении – пирит-арсенопиритовый и сульфосольно-полиметаллический. Продуктивной минеральной ассоциацией, образующей промышленные скопления, является серебро-сульфосольно-кварцевая, отложения минералов которой происходило позже всех других рудных минералов на заключительной стадии гидротермально-рудного процесса.

На месторождении Косманачи достаточно отчетливо проявлена вертикальная зональность в изменении минерального состава оруденения. Наиболее последовательно проявлена зональность, обусловленная процессами гипергенного изменения. Выделяются две основные зоны:

1. Зона окисленных руд, в пределах которой различают две подзоны:

• подзона каолинит-гидрослюдистая или бромаргарит-кераргиритовая, сопровождающаяся осветлением пород на поверхности, мощность 5–7 м;

• подзона ярозит-гетит-гидрогетит-пираргиритовая, повсеместно развитая до глубины 20–35 м, по зонам тектонических нарушений иногда опускающаяся до глубин 49 м.

2. Зона сульфидных руд, в которой также устанавливаются подзоны:

• фрейбергит-серебряная, развитая до глубин 140–160 м, в которой основной формой нахождения серебра является серебро самородное, возникшее в процессе гипергенеза;

• фрейбергитовая, где серебро самородное встречается спорадически, а основным носителем серебра являются его сульфосоли, прежде всего фрейбергит.

В настоящем сообщении нами рассматриваются только глубокие горизонты рудных тел месторождения Косманачи (глубже 260 м), в которых наблюдаются только первичные руды, относящиеся к фрейбергитовой подзоне.

По латерали и мощности рудных зон минеральная зональность выражена в том, что на флангах месторождения широко развита (по площади в 2–5 раз больше, чем объект) пирит-арсенопирит-кварц-карбонатная ассоциация. На верхних горизонтах на выклинивании рудных тел в основной продуктивной серебро-сульфосольной ассоциации довольно широко развит антимонит.

Гипогенная зональность с глубиной характерна тем, что на глубинах 160–250 м полностью исчезают антимонит, надорит, церуссит, вульфенит, ванадинит, миметезит, значительно уменьшается количество гематита, галенита, сфалерита, буланжерита, серебра самородного, которое встречается редко и спорадически, но увеличивается относительная роль фрейбергита, золота самородного, кальцита, местами халькопирита и калиевого полевого шпата. Зональность с глубиной отражается также и на морфологии выделений – резко уменьшаются размеры выделений сульфосолей, серебра самородного, они чаще всего образуют микровключения, микропрожилки и каймы в зернах более ранних сфалеритов, арсенопиритов и пиритов, заметно уменьшается количество пустоток выщелачивания.

Минералогическая зональность хорошо увязывается с геохимической: ореолы мышьяка развиты по всей мощности рудных зон, фиксируя развитие пирит-арсенопирит-кварц-карбонатной ассоциации. Ореолы сурьмы в основном пространственно совпадают с промышленными рудными телами, так как они преимущественно обусловлены наличием в рудах сурьмосодержащих сульфосолей серебра.

Таким образом, основными особенностями руд глубоких горизонтов месторождения являются:

• резкое уменьшение количества серебра самородного и увеличение роли фрейбергита;

• уменьшение списочного состава рудных минералов;

• уменьшение размеров выделений галенита, сфалерита, халькопирита и блеклых руд, серебра самородного.

Достаточно отчетливо установленная гипогенная зональность, охарактеризованная выше, позволяет по минералого-геохимическим данным оценивать эрозионный срез оруденения. В качестве примера проявления такой зональности можно привести данные скважины 4890, которая пересекла первичные руды на глубинах 191–208 и 337–340,5 м.

Первая рудная зона (191–208 м) – это обычная для месторождения Косманачи зона дробления и прокварцевания, в которой рудная минерализация представлена пиритом и арсенопиритом нескольких генераций (докварцевые и послекварцевые). По всему интервалу отмечается тонкая вкрапленность и микропрожилки сфалерита, галенита, халькопирита. Серебряное оруденение представлено серебром самородным и серебросодержащим тетраэдритом (фрейбергитом). Серебро самородное выделялось позже всех остальных рудных минералов, иногда оно обособляется в пустотках выщелачивания, а чаще наблюдается в срастании с фрейбергитом и другими сульфидами в кварце, пирите. Местами (глубина 194 и 205 м) в ассоциации с фрейбергитом отмечены в заметных количествах полибазит и акантит, образующие микропрожилки и срастания с фрейбергитом и галенитом. Выделения этих минералов часто окаймляются тонкими зернами серебра самородного. На глубине 201 и 205 м в очень тесном срастании с фрейбергитом встречен предположительно науманнит (?). Выделения очень мелкие, но их количество в шлифах значительно.

Рудная зона вторая (337–340,5 м), также прокварцеванная, содержит пирит, арсенопирит; под микроскопом в небольшом количестве устанавливаются галенит, халькопирит, сфалерит. Серебряная минерализация представлена только фрейбергитом.

Житков В. Г.[1, 2]**, Ананьев Ю. С.**[2]**, Поцелуев А. А.**[2, 3]
[1] НИТГУ, г. Томск; [2] НИТПУ, г. Томск; [3] ООО «КосмоГеопро», г. Томск

СТРУКТУРЫ КОМСОМОЛЬСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПЛОЩАДИ ОРТОН-ФЕДОРОВСКОГО РУДНОГО РАЙОНА В МАТЕРИАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

Изучены структуры Ортон-Федоровского рудного района по космоматериалам Landsat-7 и Комсомольской золоторудной площади по материалам ALOS. Установлено широкое развитие линейных разрывных, кольцевых структур, линзовидно-блоковое строение рудного района и рудоносных участков. Выделены рудоносные зоны. Сформулирован комплекс критериев оруденения.

Ключевые слова: Ортон-Федоровский рудный район, Комсомольская золоторудная площадь, материалы космических съемок, геологические структуры, рудоконтролирующие факторы.

Ортон-Федоровский рудный район занимает южную часть Федоровско-Магызы-Калтасской структурно-металлогенической золоторудной зоны, расположенной в южной осевой части Кузнецкого Алатау. В пределах рудного района располагаются рудные поля Федоровское, Кедровское, Магызинское и богатые россыпи с крупным золотом [1, 4].

Комсомольская площадь по тектоническому положению находится в зоне сочленения двух разновозрастных структурных комплексов – каледонского и герцинского [2, 3].

Основой для составления структурных схем площади послужили материалы спектрозональных космических съемок Landsat ETM+ (обзорный уровень) и ALOS (детальный уровень) [5, 6]. В качестве дополнительных источников информации использованы цифровые модели рельефа по данным радарных съемок SRTM.

Исследования показали, что в пределах изученной площади отчетливо проявлены структуры линейной и кольцевой (дуговой) морфологии. Основная в металлогеническом отношении структурно-тектоническая зона имеет северо-восточное простирание. Мощность данной тектонической зоны достигает 70 км. Она имеет сложное внутреннее строение, которое можно охарактеризовать как линзовидно-свилеватое. Данная шовная зона названа нами Главной (рис. 1). В металлогеническом отношении в строении подобного рода шовных зон отмечается закономерность, выражающаяся в том, что золоторудные объекты концентрируются вблизи

одной из границ. В нашем случае Федоровская зона расположена вблизи юго-восточного фланга Главной шовной зоны.

Второй по значению после Главной шовной зоны является Северо-Западная региональная разрывная структура, в которую объединяются частные крупные линеаменты северо-северо-западного и субмеридионального простирания.

Относительно крупные кольцевые структуры имеют размеры от 4,5 до 60 км в диаметре. Наиболее крупной кольцевой объект (см. рис. 1, № 3) расположен к востоку-северо-востоку от Комсомольской площади. Эта уникальная для района концентрическая структура с радиусом более 70 км с развитой системой радиальных линеаментов имеет выраженный тектоно-плутоногенный характер.

В пределах Главной шовной зоны центры кольцевых структур тяготеют к приграничным областям. Комсомольская площадь и вся Федоровская зона лежат в пределах крупной кольцевой структуры (см. рис. 1, № 4). Внутреннее кольцо структуры имеет диаметр 30 км, а внешнее – около 55 км.

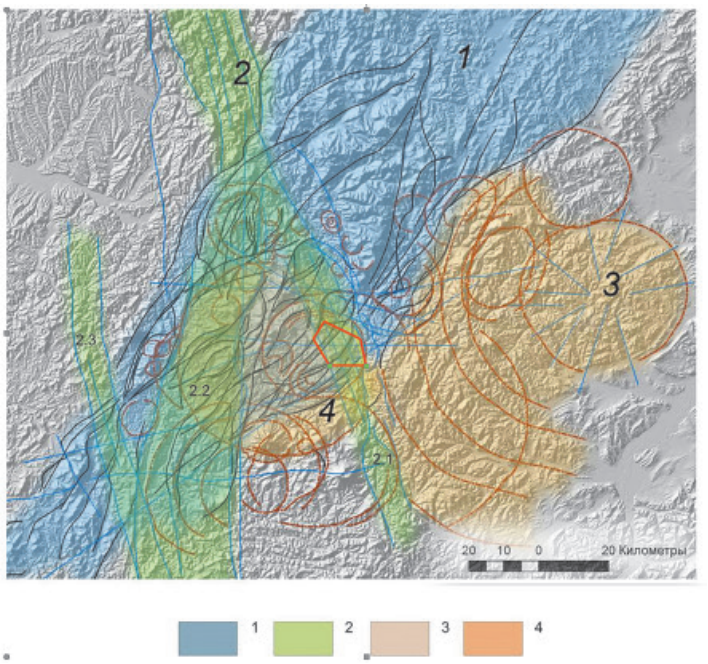


Рис. 1. Региональная структурная схема района Комсомольской площади на подложке цифровой модели рельефа:
1 – Главная шовная зона; 2 – Северо-западная зона разрывных нарушений: 2.1 – девонский грабен, 2.2 – Центральный разлом, 2.3 – Юго-западная система разрывных нарушений; 3, 4 – области, относящиеся к основным кольцевым структурам; красный контур – Комсомольская площадь

Рудоносные структуры Комсомольской площади имеют северо-восточное простирание и представляют собой линейные зоны пластических деформаций, образующие в плане линзовидный рисунок, характерный для Главной зоны в целом (рис. 2). Крупные линзы достигают 5 км по короткой оси, и их центральные части, как правило, сложены субвулканическими образованиями кундустуюльского комплекса. Внутреннее строение рудоносных зон также является линзовидно-блоковым с размером линз в первые десятки – сотни метров по короткой оси. Данные структуры представляют собой линейные участки повышенного динамометаморфизма, метасоматических изменений березитового типа, линейно-штокверкового прожилкования с присутствием стержневых кварцевых и кварц-карбонатных жил с бонанцевым распределением золота.

Проведенные исследования позволили установить региональную позицию Комсомольской площади и выявить особенности ее внутреннего тектонического строения и структурные факторы контроля золотого оруденения.

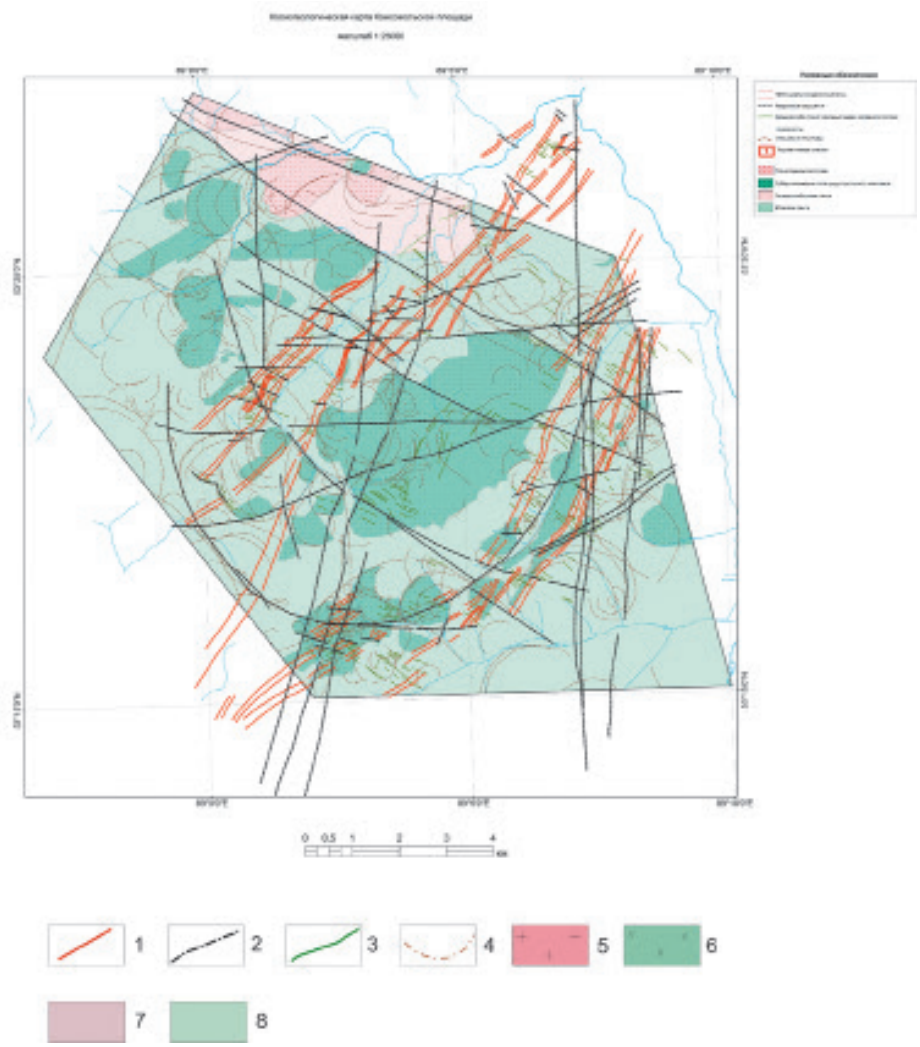


Рис. 2. Космоструктурная схема Комсомольской площади, м-б 1 : 25 000 :
1 – потенциально рудоносные зоны; 2 – разрывные нарушения; 3 – дайковые тела; 4 – кольцевые и дуговые структуры; 5 – гранитоидные интрузии; 6 – субвулканические тела кундустуюльского комплекса; 7 – западно-сибирская свита; 8 – мрасская свита

Список литературы:

1. Беневольский Б. И., Кривцов А. И. Долгосрочная стратегия геологоразведочных работ на золото // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2004. – Спец. вып. Драгоценные металлы. – С. 8–13.
2. Конышев В. О., Савостьянов Е. В., Власов Г. Н. Оценка сырьевой базы крупнообъемного месторождения Федоровское-1 и перспективы развития золотодобычи из окисленных и первичных руд // Отдельные статьи информационно-аналитического бюллетеня. – М. : Изд-во Московского Государственного горного университета, 2003. – 32 с.
3. Щербаков Ю. Г., Рослякова Н. В., Колпаков В. В. Федоровское месторождение золота и перспективы золотоносности Южно-Сибирской рудной провинции (Горная Шория) // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44, № 10. – С. 979–992.
4. Алабин Л. В., Калинин Ю. А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. – Новосибирск : СО РАН, 1999. – 236 с.
5. Аэрокосмические методы геологических исследований / под ред. А. В. Перцова. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2000. – 316 с.
6. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г., Назаров В. Н., Кузнецов А. С. Дистанционные методы геологических исследований, прогнозирования и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая). – Томск : STT, 2007. – 228 с.

Звездов В. С., Мигачев И. Ф.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С КОМПЛЕКСНОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЕЙ АНДЕЗИТОИДНЫХ И БАЗАЛЬТОИДНЫХ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ

Предложено разделение месторождений меднопорфирового семейства на формационные типы, принадлежащие базальтоидным и андезитоидным вулкано-плутоническим поясам. Показано, что различия в строении фундамента этих поясов и составе рудоносных магматических очагов отражаются не только в петрологии продуктивных плутоногенных формаций, рудно-метасоматической зональности и вещественном составе руд месторождений, но и в металлогенической зональности комплексных рудно-магматических систем, во внутренних частях которых эти месторождения локализованы. Установленные различия должны учитываться при построении прогнозно-поисковых моделей потенциальных меднопорфировых рудных районов и узлов.

Ключевые слова: вулканоплутонические пояса, меднопорфировые месторождения, рудно-магматические системы, рудно-формационная зональность, прогнозно-поисковые модели, рудные районы и узлы.

Медно-порфировые месторождения (МПМ) являются ведущими в мире по запасам и добыче Cu и Mo, а также сопутствующих Au, Ag, Re. В отраслевых программах развития МСБ горнодобывающей отрасли России они рассматриваться в качестве первостепенных, что подтверждается вовлечением в эксплуатацию Михеевского и Томинского месторождений на Урале, обеспечивших не менее четверти общей добычи меди России в последние годы. Доразведка Малмыжского месторождения и проектирование ГОКа в Хабаровском крае также позволяют надеяться на начало разработки этого крупного объекта в обозримом будущем, что, несомненно, отразится на доле МПМ в обеспечении сырьевой базы цветной металлургии страны.

Одним из направлений повышения эффективности ГРР на медно-порфировые руды является совершенствование геолого-генетических основ прогнозирования, с учетом которых построены прогнозно-поисковые модели (ППМ) рудных районов (РР), узлов (РУ) и полей (РП) с целью модернизации методов и технологий прогноза, поисков и оценки месторождений и, прежде всего, скрытых, т. е. не выходящих на дневную поверхность. Существенный интерес в этом отношении представляет расшифровка строения меднопорфировых рудно-магматических систем с комплексной металлогенией (КМП РМС), в которых кроме МПМ отмечаются месторождения цветных и благородных металлов других рудно-формационных типов (РФТ). Установление металлогенической зональности подобных систем может быть использовано при прогнозе как меднопорфировых, так и сопряженных с ними месторождений.

МПМ сосредоточены в вулканоплутонических поясах (ВПП): базальтоидных (островодужных и рифтогенных) и андезитоидных (окраинно- и внутриконтинентальных). Состав и металлогеническая специализация рудоносных известково-щелочных вулканоплутонических ассоциаций (ВПА), участвующих в строении этих поясов, предопределяются «материнскими» магматическими очагами в земной коре (ЗК) океанического, континентального и переходного типов. Различия в составе и металлоносности этих очагов отражаются в петрологии ВПА, метасоматической зональности и минералого-геохимических особенностях руд месторождений медно-порфирового семейства, что в той или иной степени нашло отражение в их отечественных (А. И. Кривцов, И. Г. Павлова, В. Т. Покалов, В. С. Попов и др.) и зарубежных (А. Сазерленд-Браун, Р. Силлитоу, Дж. Оярзун, Дж. Фрутос, С. Кеслер, Дж. Лоуэлл, Дж. Джилберт, В. Холлистер, Д. Кокс, Д. Сингер и др.) классификациях.

Геолого-промышленные количественные (статистические) модели (ГПКМ) распределения МПМ по классам крупности (запасам руды и металлов) и содержаниям полезных компонентов, построенные нами по базам данным USGS [2, 3], дополненным сведениями по ряду отечественных и зарубежных объектов, разведанных в последние 15 лет, показали зависимость запасов и содержаний Cu, Mo, Au и Ag от геотектонической обстановки формирования месторождений. Эти соотношения отражают вариации мощностей и строения блоков ЗК, вовлеченных в процессы

рудообразования. Самыми значительными запасами Cu, Mo и Ag обладают Cu-Mo-порфировые месторождения андезитоидных окраинно-континентальных ВПП, характеризующихся мощным сиалическим слоем ЗК, в то время как наибольшие запасы Au сосредоточены в объектах Au-Cu-порфирового типа островодужных базальтоидных поясов с океанической корой. В то же время используемые в известных классификациях МПМ отношения Cu/Mo и Au/Mo в рудах характеризуются существенным наложением областей распределения и низкой корреляцией содержаний металлов (значимая корреляция установлена только для Au и Ag), что не позволяет рассматривать их в качестве надежных критериев разделения медно-порфирового семейства на типы. Более достоверным критерием типизации МПМ является их геотектоническая позиция, от которой зависят петрология продуктивных плутоногенных формаций, рудно-метасоматическая зональность и вещественный состав руд месторождений. По этому критерию месторождения семейства могут быть разделены на два формационных типа: золото-медный (с повышенным содержанием Au в рудах при практическом отсутствии Mo) и молибденово-медный (с повышенным содержанием Mo), а вмещающие их РМС – на две группы, принадлежащие базальтоидным и андезитоидным ВПП. Первая связана с магматическими формациями габбро-диорит-тоналитового ряда Na профиля, вторая – с K-Na и Na-K формациями габбро-диорит-гранодиоритового и диорит-гранодиорит-монцонитового рядов.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций последних десятилетий, а также данные собственных исследований показали, что многие МПМ локализованы во внутренних частях крупных РМС с комплексной металлогенией. Во фланговых частях таких систем встречаются мезотермальные Au-Cu и Au-Pb-Zn скарновые, жильные, жильно-прожилковые и метасоматические (Au)-Ag-полисульфидные, Au-сульфидно-кварцевые, иногда Au-порфировые месторождения, а в верхних периферийных – эпитермальные жильные и стратоидные Cu-Au и Au-Ag «высокой (HS) и средней (IS) сульфидизации», а также самородной серы. Присутствующие в разных частях КМП РМС разнотипные рудные объекты генетически связаны с едиными магматическими очагами. Однако их сочетания (наборы РФТ) в системах базальтоидных и андезитоидных ВПП, как показало сравнение рудно-формационной зональности нескольких десятков рудных районов и узлов с комплексной металлогенией, различны. Причина – более мощная и разнородная ЗК континентального либо переходного (сиало-фемического) типов андезитоидных ВПП, наличие «промежуточных» магматических очагов в верхних частях сиалического слоя наряду с глубинными «материнскими» на границе с базальтовым слоем («двойственность» источников металлоносных расплавов рассматривается рядом исследователей как одно из главных условий формирования гигантских МПМ). Как следствие, андезитоидные ВПП характеризуются более сложным строением в сравнении с базальтоидными. В них выделяются до трех структурно-формационных этажей с «собственной» металлогенией, отвечающих раннему, среднему и позднему этапам развития. В ряде систем наряду с МПМ и «сопряженными» (парагенетичными) с ними месторождениями других РФТ, возникшими на раннем этапе становления ВПП, отмечаются рудные объекты «совмещенного» типа – фундамента поясов, а также образовавшиеся на более поздних этапах развития последних. Базальтоидные ВПП с очагами в океаническом субстрате (базальтовом слое ЗК) обладают более простым строением. Для них характерны КМП РМС только с «сопряженными» типами оруденения (таблица).

Установленные различия в рудно-формационной зональности КМП РМС базальтоидных и андезитоидных поясов в сочетании с их петрологическими, рудно-метасоматическими и геохимическими характеристиками позволили выделить две группы таких систем: золото-медно-порфировую диоритовую и молибден-меднопорфировую гранодиорит-монцонитовую. Обладая рядом сближающих их признаков, эти КМП РМС в то же время обнаруживают специфические черты строения и особенности входящих в их состав рудных образований.

Для золото-меднопорфировых диоритовых систем характерно присутствие лишь сопряженных типов оруденения – эпитермального: стратоидного, жильного и жильно-прожилкового Ag-Au-теллурового IS типа, реже (Ag)-Au-Cu-сульфосолевого (люцонит-энаргитового, энаргит-блеклорудного) HS типа; мезотермального: Au-Cu- и Cu-скарнового, реже Au-порфирового, жильного Au-сульфидно-кварцевого и Au-Ag-полисульфидного; вулканогенного медного (типа

манто); гистеромагматического магнетитового (в габбро-диоритах начальных фаз становления продуктивных плутоногенных формаций).

Молибден-меднопорфировые гранодиорит-монцонитовые КМП РМС отличаются более разнообразными типами сопряженного оруденения – эпитермального: стратоидного, жильного, жильно-прожилкового Au-Cu-сульфосолевого (люцонит-энаргитового, люцонит-теннантитового) HS типа и реже Ag-Au-теллурового IS типа, гнездово-вкрапленного серного; мезотермального: Au-порфирового, жильного Au-сульфидно-кварцевого, Au- и Au-Ag-полисульфидного, а также Au-Cu и Au-Pb-Zn скарнового, метасоматического (Au)-Ag-полиметаллического. Среди КМП РМС андезитоидных ВПП нередки полиформационные системы. В их объеме кроме объектов сопряженных РФТ отмечаются месторождения и проявления совмещенного типа: образовавшиеся на более поздних этапах формирования поясов (редкометалльные, оловорудные, (Au)-Ag- и Au-кварцевые и др.), а также древние структурно-вещественных комплексов фундамента ВПП (Pb-Zn стратиформные в карбонатных толщах, нередко регенерированные в тепловом поле интрузивов продуктивной на Cu-порфировые руды формации, реже: железорудные магматические и скарновые, Au-Cu-Fe-оксидные). В обстановках существенно фемического субстрата (ЗК переходного типа) андезитоидных поясов выделенные в их пределах КМП РМС по набору РФТ месторождений «сближаются» с золото-медно-порфировыми системами базальтоидных ВПП.

Комплексные медно-порфировые рудно-магматические системы (КМП РМС) базальтоидных и андезитоидных ВПП [1]

Характеристики	Золото-медно-порфировые диоритовые КМП РМС	Молибден-медно-порфировые гранодиорит-монцонитовые КМП РМС
Геотектоническая позиция	Базальтоидные ВПП – барьерные зоны островодужных структур, рифты	Андезитоидные ВПП: окраинно- (периокеанические) и внутриконтинентальные
Состав фундамента поясов	Фемический	Сиало-фемический, фемически-сиалический
Рудоносные интрузивные формации	Габбро-диорит-кварцево-диоритовая (плагиогранитная), натриевая	Габбро-диорит-гранодиоритовая, калиево-натриевая Диорит-гранодиорит-монцонитовая, натриево-калиевая
Отношение K_2O/Na_2O	0,1–0,4	0,5–1,2
Рудоносные порфировые фазы	Диоритовые, кварцевые диоритовые порфириты, плагиогранит-порфиры	Гранодиорит-порфиры, кварцевые монцонит-порфиры
Значение индекса $S/I = Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + CaO)$. По Дж. Гриффитсу и К. Гудвину, 1982 г.	0,6–0,9	0,7–1,1
Геохимические характеристики по С. Титли и Р. Бину, 1981 г.: $S r^{87}/Sr^{86}$	0,705	0,703–0,710
Рудно-формационные типы медно-порфирового семейства	Au-Cu-порфировый Cu-порфировый	Au-Mo-Cu-порфировый Cu-Mo-порфировый
Основные и (второстепенные) типичные рудообразующие минералы	Пирит, халькопирит, магнетит, гематит, борнит (пирротин)	Пирит, халькопирит, молибденит, борнит (магнетит, галенит, сфалерит)

Окончание таблицы

Характеристики		Золото-меднопорфировые диоритовые КМП РМС	Молибден-меднопорфировые гранодиорит-монцонитовые КМП РМС
Состав метасоматических изменений и их зональность (от центра к периферии): К – калишпатизация, Б – биотитизация, Ф – филлизитизация, А – аргиллизация, П – пропилитизация		Ф–Б–П, Ф–А–П, Б–П	К–Б –Ф–А–П, Б–Ф–А–П, Ф–А–П
Месторождения, сформировавшиеся на *разных этапах* становления ВПП, в том числе сопряженные и совмещенные с медно-порфировыми в объеме единых КМП РМС	Поздний этап	Отсутствуют	Жильные и штокверковые редких металлов и земель, серебра, флюорита, сурьмы и ртути
	Средний этап	Отсутствуют	Жильные и штокверковые: Au-Ag с ведущей ролью Ag в рудах; Au-кварцевые; Cu-полиметаллические; (Sn)-Ag-полиметаллические; Mo-U, Ta-Nb, (Be)-W-Mo; Mo-порфировые. Редкометалльные (Mo, W), Sn кварцево-жильно-грейзеновые, скарновые и скарново-грейзеновые
	Ранний этап	Эпитермальные стратоидные, жильные и жильно-прожилковые: Ag-Au-Te IS типа, реже (Ag)-Au-Cu HS типа; мезотермальные: Au-Cu- и Cu-скарновые; реже Au-порфировые, жильные Au-сульфидно-кварцевые и Au-Ag-полисульфидные; вулканогенные медные (типа манто); гистеромагматические магнетитовые	Эпитермальные стратоидные, жильные, жильно-прожилковые, гнездово-вкрапленные: Cu-Au HS типа, самородной серы, реже Ag-Au-Te IS типа; мезотермальные: Au-порфировые, жильные Au-сульфидно-кварцевые, Au- и Au-Ag-полисульфидные; проксимальные Au-Cu- и дистальные Au-Pb-Zn скарновые, метасоматические (Au)-Ag-полиметаллические; редко боросиликатные стратоидные
Месторождения фундамента андезитоидных ВПП, совмещенные с медно-порфировыми в объеме единых КМП РМС		Отсутствуют	Полиметаллические стратиформные; железорудные (магнетит-гематитовые, магнетитовые, медно-титано-магнетитовые) магматические и скарновые; редко медноколчеданные и колчеданно-полиметаллические, Au-Cu-Fe-оксидные
Примеры КМП РМС		Воскресенская, Верхнеуральская, Ключевская, Круглогорская, Кияктинская, Кедабекская (Россия); Эртсберг, Бату Хайджау, Тумпангпиту, Иланг, Хуу (Индонезия); Баджио, Лепанто, Манкайян, Тампакан (Филиппины); Фрида-Ривер-Нена, Уафи-Голпу (Папуа – Новая Гвинея); Сепон (Лаос)	Екдэкгычская, Малмыжско-Болонская, Анаджаканская, Пони-Мулинская, Быстринская, Чаплинская, Левинсон-Лессинга, Центрально-Камчатская, Малетойваямская, Сеэрваямская. Медьгорская, Томинско-Березняковская, Янаслорская, Новогодненская, Элькошорская, Ауэрбаховская, Круглогорская, Тарутинская (Россия); Алмалыкская (Узбекистан); Коунрадская, Акчатауская, Карагайлы (Казахстан); Речк-Лахоца (Венгрия); Бор, Златно (Сербия); Злата Баня (Словакия); Окно-де-Фьер (Румыния); Панагюрская (Болгария); Андакколо (Чили); Бингхэм Каньон, Супериор, Минерал Парк, Коппер Каньон (США)

В целом описанные системы могут рассматриваться как закономерные совокупности магматических и рудных формаций, возникающих в ходе эволюции очагов в земной коре океанического, континентального и переходного типов и образующих вертикально-латеральные ряды, изучение строения которых может быть использовано при прогнозе как медно-порфировых, так и ассоциирующих с ними месторождений иных РФТ, что и было сделано при прогнозно-метал-

логеническом районировании территорий Дальневосточного, Уральского и Приволжского ФО России. В перспективных металлогенических зонах Амурско-Сихотэ-Алиньской, Охотско-Чукотской, Корякско-Камчатской и Уральской минерагенических провинций выделены и оконтурены потенциальные рудные районы и узлы с ранжированием по перспективности и рекомендуемой очередности постановки ГРР различного масштаба.

Список литературы:
1. Мигачев И. Ф., Звездов В. С., Минина О. В. Формационные типы медно-порфировых месторождений и их рудно-магматические системы // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 26–48.
2. Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C. Porphyry copper deposits of the world: database, maps, and preliminary analysis // U.S. Geological Survey Open-File Report 02-268. Online version. – 2002.
3. Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C. Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models // U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1155. Online version. – 2008.

Зинченко В. Н.[1], **Иванов А. С.**[2]
[1] Горно-рудное общество КАТОКА, Ангола; [2] Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

СОСТАВЫ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ КАТОКА И ЕЕ ТРУБОК-СПУТНИКОВ (АНГОЛА) НА ДИАГРАММЕ МИТЧЕЛЛА – НОВЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ ИХ МИНЕРАГЕНИИ

Данные RX-спектрального микрозондового анализа минералов-спутников алмаза (МСА) из алмазоносных кимберлитов трубки Катока (Ангола) и кимберлитов ее трубок-спутников представлены на 5Е диаграммах Р. Митчелла (Fe, Mg, Cr, Al, Mn) и треугольных диаграммах окислов этих элементов и примесных Mn, Ti и Na. Представлены также гистограммы кластерных химико-генетических групп (КГ, ХГГ) составов МСА из этих трубок, предложенных Д. Доусоном и Р. Стефенсом для пиропов и пироксенов, и В. К. Гараниным. для ильменитов и хромитов. Выявлен ряд химико-минералогических факторов, контролирующих алмазоносность изученных кимберлитов, и предложен эффективный метод отображения геохимических особенностей МСА на диаграммах Митчелла и серии треугольных диаграмм.

Ключевые слова: кимберлиты, перидотиты, эклогиты, минералы-спутники алмаза, диаграмма Митчелла, алмазоносность, кластерные группы.

Метод исследования. Химический состав высокопараметрических МСА из кимберлитов многими исследователями рассматривался в качестве показателя их алмазоносности [1, 2, 5–10]. Исследования составов МСА кимберлитов трубки Катока и ее трубок-спутников выполнены на микроанализаторе JXA-8230 (JEOL) с двумя типами спектрометров – волновыми WDS и энергодисперсионным EDS [4]. Данные о химическом составе МСА обычно представляются на бинарных или тройных диаграммах, отражающих его в окислах главных и примесных элементов. Наиболее информативной является диаграмма Р. Митчелла, учитывающая в составах МСА содержание четырех химических элементов (Fe, Mg, Al, Cr) – 4Е диаграммы [9]. Применение «пузырьковых» диаграмм А. С. Иванова [3] позволяет вводить в них пятый элемент, содержание которого отвечает диаметру аналитической (расчетной) точки на диаграмме Митчелла (5Е диаграммы) (рис. 1, а). Выделение на этих диаграммах, указанных классификационных КГ и ХГГ составов МСА, реализуется окраской аналитических точек разными цветами. Для КГ составов пиропов цвета «пузырьков» – красный и фиолетовый, для хромдиопсидов – зеленый и оливковый, а их диаметр пропорционален содержанию MnO. Для составов хромшпинелидов (голубые и бирюзовые) и пикроильменитов (черные и серые) их диаметр «пузырьков» на диаграмме Митчелла соответствует магнезиальности #Mg и содержанию Fe_2O_3 соответственно. По оси «X»

фиксируется отношение #Fe = Fe / (Fe + Mg) – коэффициент железистости, по «У» отношение #Cr = Cr / (Cr + Al) – коэффициент хромистости. Аналогичная легенда реализована и на треугольных диаграммах составов МСА изученных трубок (см. рис. 1, б).

Математическая обработка аналитических данных проведена по методике А. С. Иванова на базе авторских программных средств с использованием методов и алгоритмов кластерного анализа в варианте k-среднего и Эвклидовых расстояний (Euclidian Distance) [3, 4]. Средне-кластерные составы КГ пиропов и пироксенов рассчитаны по классификациям

Доусона [8] и Стефенса [10], а для составов пикроильменитов и хромшпинелей по классификации В. К. Гаранина [1].

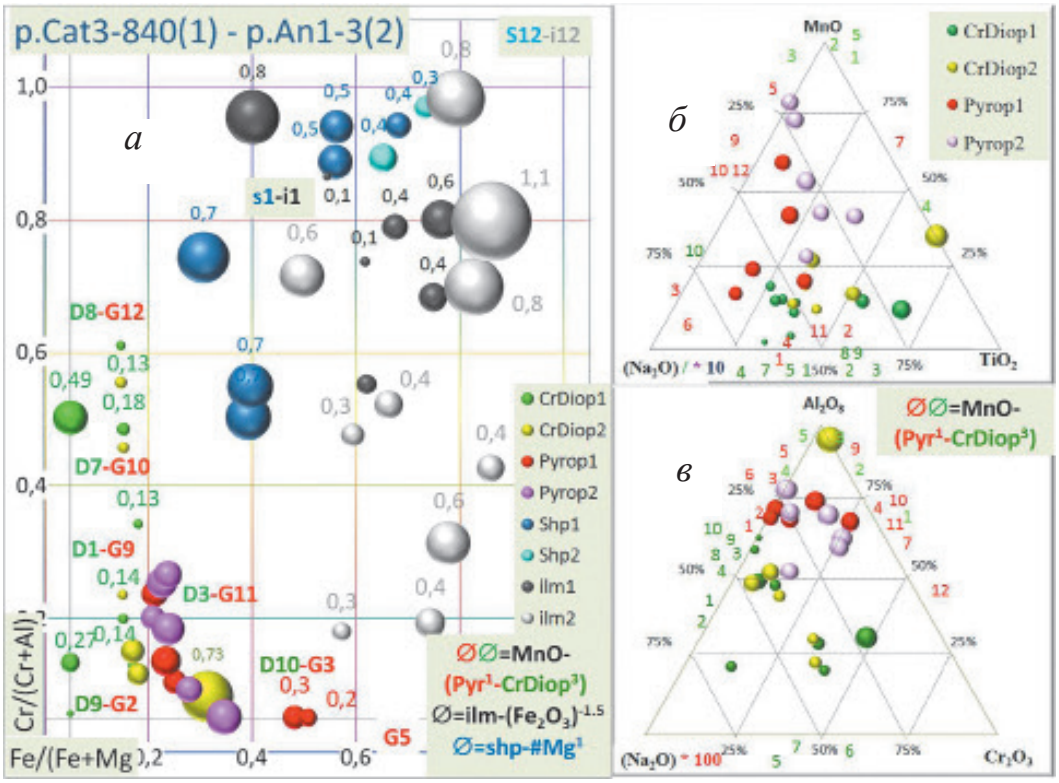


Рис. 1. Диаграмма Р. Митчелла (а) и треугольные диаграммы содержаний примесных элементов средне-кластерных значений (б, в) МСА из кимберлитов трубки Катока и ее трубок-спутников Ан-1 и Ан-3: диаметр аналитической точки («пузырька») для пиропов (КГ G1-G12, Pyrop) и диопсидов (КГ D1-D10, Diop) пропорционален содержанию MnO (красные и зеленые цифры), для ильменитов (ilm) – содержанию Fe_2O_3 (черные и серые цифры), для хромшпинелей (Shp) – #Mg (синие цифры)

Для наглядности и полноты диаграмм величины содержаний разных элементов в составах МСА приведены к одинаковому уровню (порядку) путем численных коэффициентов – ^{1}(×1), ^{3}(×3), $^{-1,5}$(×0,03), что позволят сохранить всю геохимическую информацию и отобразить ее на базе единых цифровых шкал в широком диапазоне значений содержаний разных элементов (см. рис. 1).

Материал исследования. Рядом с трубкой Катока в пределах локальной кольцевой структуры диаметром 4 км по ее периметру расположены 8 слабоалмазоносных трубок-спутников, в том числе трубки Ан-1 и Ан-3. Они прорывают архейские гнейсы (AR_2) и, вероятно, являются более поздними по времени формирования [11]. Исследованы зерна гранатов (77 из кимберлитов Катоки и 121 из Ан-1-3), пироксенов (75 и 27), пикроильменитов (173 и 223) и хромитов (49 и 3) из концентратов обогащения керновых проб геологоразведочных скважин, пробуренных на этих кимберлитовых трубках. Кимберлиты трубки Катока промышленно алмазоносны, содержания алмазов в них в среднем 0,6–0,8 кар/т. Кимберлиты трубок спутников Ан-1 и Ан-3 слабоалмазоносны – в среднем от 0,01 до 0,1 кар/т.

Результаты исследования. Расчеты железистости (#Fe) и хромистости (#Cr) МСА изученных трубок показывают (см. рис. 1, а), что для гранатов и пироксенов на диаграммах Митчелла намечаются два тренда – субвертикальный перидотитовый и субгоризонтальный эклогитовый. Первый с нарастанием индекса #Cr в пироксенах, а второй с нарастанием индекса #Fe в пиропах. В пиропах Катоки величина #Fe колеблется от 0,20 до 0,50, а Ан-1-3 – от 0,20 до 0,35; величины #Cr в обоих случаях одинаковы и колеблются от 0,25 до 0,50. Для диопсидов минимальное значение #Cr = 0,10 одинаково для обоих кимберлитов, максимальное – 0,60 для диопсидов Катоки и 0,55 для диопсидов Ан-1-3. Энстатиты встречены только в кимберлитах Катоки, их #Fe варьирует от 0,20 до 0,70. Для пикроильменитов Катоки минимальные значения #Fe = 0,3 % и #Cr = 0,65 %, максимальные – 0,75 и 0,85 соответственно. Для пикроильменитов Ан-1-3 минимальные значения #Fe = 0,50 и #Cr = 0,10, а максимальные – #Fe = 0,75 и #Cr = 0,95, но более половины их КГ здесь имеют #Cr < 0,60. Приведенные вариации Fe_2O_3 (%) в пикроильменитах Катоки – 0,1–0,6, а трубок-спутников существенно выше – 0,3–1,1. Магнезиальность #Mg хромшпинелей Катоки достигает 0,7, в то время как трубок-спутников – не более 0,4 (см. рис. 1, а).

Треугольные диаграммы демонстрируют особенности распределения содержаний малых примесных элементов (Mn, Cr, Na, Ti, Al) в составе пиропов и пироксенов (см. рис. 1, б, в). Цифрами на треугольных диаграммах по их периметру в цветовых гаммах этих минералов указаны номера их КГ. Примесные элементы, к примеру Ti, как отмечал В. А. Милашев [5], играли роль катализаторов в процессе кристаллизации алмаза, и их присутствие в составе МСА имеет индикаторное значение для оценки алмазоносного потенциала кимберлитов. На треугольных диаграммах намечаются главные петрофациальные тренды, выявленные на 5E диаграммах, имеющие минерагеническую трактовку.

В алмазоносных кимберлитах трубки Катока встречаются пиропы разнообразных КГ, как перидотитового, так и эклогитового парагенезисов, соотношение которых отражено на гистограммах (рис. 2). Наличие в них алмазов в форме октаэдров высокого качества и стоимости можно соотнести с преобладанием кластерных групп пиропов G3 (12 %) из алмазоносных вебстеритов и магнезиально-железистых эклогитов, а также глиноземистых эклогитов G6 (13 %). В трубках Ан-1 и Ан-3 пиропов этих КГ соответственно 2 и 0 % и больше зерен пиропов из ультраосновных алмазоносных дунит-гарцбургитовых парагенезисов, в которых часто встречаются алмазы в форме округлых додекаэдроидов [12]. Возможно, что большая глубина образования алмазов ультраосновного парагенезиса повышала риск их растворения в процессе генерации кимберлитовых алмазоносных расплавов и продвижения их к поверхности литосферы из перидотитового «слоя» мантии. Из пироксенов в кимберлитах трубки Катока содержатся КГ D8 – Jadeitic-diopside из алмазоносных эклогитов, реже из гранат-оливиновых пироксенитов и включений в алмазе, и D9 – Omphacite из алмазоносных эклогитов и включений в алмазе [10]. В кимберлитах трубок Ан-1 и Ан-3 КГ зерен пироксенов таких КГ не встречено (см. рис. 2, б).

Из ХГГ составов пикроильменитов в трубке Катока в отличие от кимберлитов трубок-спутников содержатся 5 % зерен ХГГ1, указывающих на идеальные условия сохранности алмазов в этом кимберлите по критерию Дж. Герни [2]. Сравнение изученных трубок по хромитам не вполне корректно из-за ограниченности их выборки из трубок-спутников, содержащей всего 2 зерна ХГГ3 и 1 ХГГ10 из неалмазоносных лерцолитов. Среди хромитов из трубки Катока 20 % зерен относятся к ХГГ1 – хромиты из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов и включений в алмазах [1].

Исходя из двухэтапной модели формирования полифациальной кимберлитовой трубки Катока [11], можно полагать более древним ультраосновной парагенезис МСА в кимберлитах, который сменяется более поздним их эклогитовым парагенезисом. На треугольной диаграмме окислов главных элементов в составе пиропов трубки Катока фиксируются оба тренда, в то время как на аналогичной диаграмме пиропов трубок Ан-1 и Ан-2 выражен лишь один тренд – ультраосновной. Для составов пироксенов на этой диаграмме отмечается один тренд – от ультраосновных к эклогитовым парагенезисам, с направленностью в сторону FeO в пироксенах трубки Катока и в сторону MgO в пироксенах ее трубок-спутников. На тройных диаграммах примесных $MnO–TiO_2–Na_2O$ и $Al_2O_3–Cr_2O_3–Na_2O$ (см. рис. 1, б, в) отмечается разнонаправленность трендов

изменения составов КГ МСА кимберлитов трубки Катока и ее трубок-спутников, что согласуется с их существенно разной алмазоносностью.

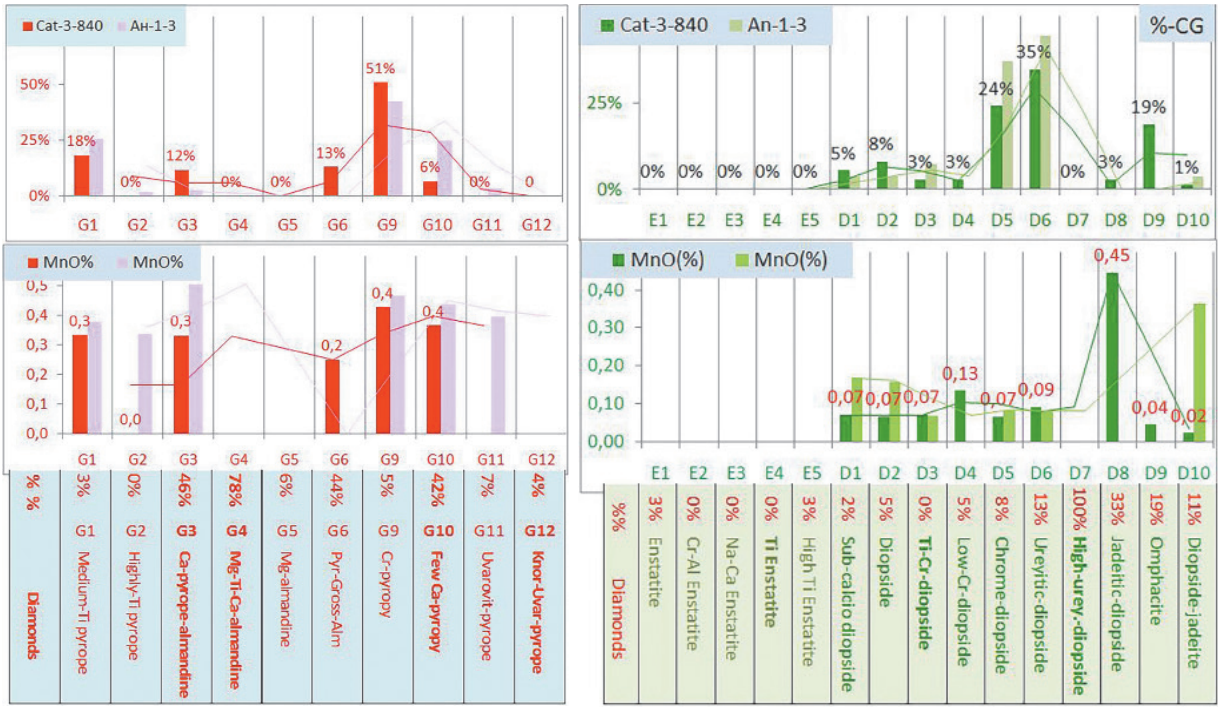


Рис. 2. Гистограммы распределения пиропов по КГ Доусона [8] (а) и диопсидов по КГ Стефенса [10] (б), (%-CG) и по содержанию MnO (%) в кимберлитах трубки Катока и ее трубках-спутниках Ан-1 и Ан-3; таблицы внизу отражают авторские названия КГ этих минералов с их долями, связанными с алмазами (Diamonds, %)

Выводы. Высокая алмазоносность кимберлитов трубки Катока в сравнении со слабоалмазоносными кимберлитами ее трубок-спутников наглядно демонстрируется на гистограммах распределения в них ряда показательных КГ МСА (см. рис. 2). Из КГ пиропов в кимберлитах трубки Катока значительно больше зерен группы G3 – 12 % из алмазоносных эклогитовых парагенезисов, чем в кимберлитах трубок Ан-1 и Ан-3, где их всего 2 %. Показательны КГ пироксенов D8 и D9 из алмазоносных эклогитов, доли которых в кимберлитах трубки Катока 3 и 19 % соответственно, а в трубках-спутниках они не встречены. Высокожелезистые гемоильмениты ХГГ 9, 10, 11 и 12 в трубках-спутниках резко преобладают (всего 46 %) над аналогичными ХГГ в трубке Катока (всего 11 %), что свидетельствует о неблагоприятных условиях сохранности алмазов (высокой фугитивности кислорода). В трубке Катока содержится 20 % ХГГ1 хромшпинелей, которые, по А. Д. Харькиву [7], отнесены к алмаз-пироповой фации глубинности, а по В. К. Гаранину [1], образовались в высокоалмазоносных дунитах и во включениях в алмазе. Характерно, что кроме ультраосновных КГ/ХГГ в комплексе МСА трубки Катока участвуют и алмазоносные эклогитовые парагенезисы, которых явно недостаточно в ее трубках-спутниках.

Особенности химико-минералогического состава МСА указывают на формирование трубок-спутников при менее благоприятных для алмазов физико-химических параметрах. Вероятно также, что при формировании трубки Катока оба минерагенических вулканических этапа ее формирования, связанных с ультраосновным и эклогитовым уровнями мантии, были фертильными [11], что в значительной мере истощило глубинные источники кимберлитовой магмы при более позднем образовании ее трубок-спутников, что определило их убогую алмазоносность.

Список литературы:

1. Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П., Марфунин А. С., Михайличенко О. А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 240 с.
2. Герни Д., Мур Р. Геохимическая корреляция между минералами кимберлитов и алмазами Кратона Калахари // Геология и Геофизика. – 1994. – № 3. – С. 12–24.

3. Иванов А. С. Пузырьковые диаграммы составов пиропов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2020. – С. 343–346.
4. Иванов А. С. Статистический анализ составов индикаторных минералов кимберлитов // Математические исследования в естественных науках. – 2018. – № 14. – С. 172–181.
5. Милашев В. А. Среда и процессы образования природных алмазов. – СПб. : Недра, 1994. – 142 с.
6. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.
7. Харькив А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н. Петрохимия кимберлитов. – М. : Наука, 1991. – 304 с.
8. Dawson J. B., Stephens W. E. Statistical classification of garnets from kimberlites and xenoliths // J. Geol. – 1975. – V. 83, № 5. – P. 589–607.
9. Mitchell R. H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology. – New York : Plenum Press, 1986. – P. 442.
10. Stephens W. E., Dawson J. B. Statistical comparison between pyroxenes from kimberlites and their associated xenoliths // J. Geol. – 1977. – V. 85, № 4. – P. 433–449.
11. Zinchenko V. N. Diamond deposits from kimberlites in Northeast of Angola. – S-Pb. : S-Pb University Edition, 2017. – 485 p.
12. Zinchenko V., Ivanov A. Correlation of habitus forms, twins and aggregates of diamond crystals with the composition of its indicator minerals from kimberlite pipes of Angola // EGU22-6809. EGU General Assembly. – 2022 – GD2.4/GMPV2.5/TS10.6 abstracts. – P. 62–63.

Зинчук Н. Н.
Западно-Якутский научный центр АН РС (Я), г. Мирный

ЛИТОГЕНЕЗ ДРЕВНИХ ОСАДОЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ИХ АЛМАЗНАЯ МИНЕРАГЕНИЯ

По типоморфным особенностям алмазов из россыпей Сибирской платформы (СП) выделены алмазоносные субпровинции, области, районы и поля, для которых спрогнозированы коренные источники. Результаты комплексного исследования алмазов из разновозрастных россыпей СП позволяют утверждать о наличии для каждого из рассмотренных алмазоносных районов типоморфных особенностей минерала, что следует учитывать при прогнозно-поисковых работах на перспективных площадях.

Ключевые слова: алмазы и их типоморфные особенности, прогнозирование и поиски.

В алмазной геологии основным объектом исследований является сам алмаз – очень устойчивый в экзогенных условиях минерал, характеризующийся широким комплексом кристалломорфологических особенностей, отражающих своеобразие термодинамических и геохимических условий его образования и рассматривающихся в качестве типоморфных признаков [1–4]. Учёт последних при поисках алмазов позволяет проводить районирование исследуемых территорий и на этой основе исключать из опоискования те площади, на которых нахождение алмазоносных кимберлитов маловероятно, что показано нами на примере Сибирской платформы (СП). Алмазопоисковые работы на СП ведутся уже на протяжении более 60 лет, в результате чего здесь открыто более 1000 кимберлитовых тел (трубки, дайки, силлы и жилы) и установлено широкое развитие россыпной алмазоносности в разновозрастных коллекторах различных генетических типов. Кимберлитовые тела распределяются по площади платформы крайне неравномерно, группируясь в 25 кимберлитовых полях. При изучении типоморфных особенностей алмазов применялась их минералогическая классификация по комплексу взаимосвязанных признаков и свойств, предложенная Ю. Л. Орловым [3] и в значительной степени основанная на физических свойствах алмазов. Согласно этой классификации выделяются 11 генетических

разновидностей алмазов с дополнительным разделением по габитусу и морфологическим типам, отражающих специфику условий их образования (формы роста, растворения и коррозии). Исследовались кристалломорфологические особенности алмазов (характер скульптур и двойники-сростки), прозрачность, окраска, пигментация, ожелезнение, фотолюминесцентные особенности, изотопный состав углерода, минералогия и химический состав твёрдых включений, сохранность, трещиноватость и механический износ кристаллов.

Центрально-Сибирская алмазоносная субпровинция (ЦСАСП) занимает центральную часть СП, южнее Маакской излучины р. Оленёк. Здесь проявлены продуктивная россыпная алмазоносность и высокоалмазоносный кимберлитовый магматизм среднепалеозойского возраста. В россыпях древнего возраста преобладают алмазы I типа первоисточника (Малоботуобинский – МБАР, Далдыно-Алакитский – ДААР, Ыгыаттинский – ЫАР, Моркокинский – МАР, Средне-Мархинский – СМАР алмазоносные районы). Характерно наличие россыпей ближнего, среднего и дальнего сноса. Наиболее широкие масштабы россыпной алмазоносности установлены в МБАР и СМАР. В ДААР обнаружены россыпи алмазов ближнего сноса, непосредственно примыкающие к кимберлитовым трубкам. Округлые алмазы встречаются здесь только на его западном (бассейн р. Алакит) и восточном (бассейн р. Силегир) флангах. В СМАР найдены россыпи алмазов в позднетриасовых–нижнеюрских отложениях, часть из которых связана с известными трубками Накынского кимберлитового поля (НКП). Особенностью алмазов отдельных территорий субпровинции является различное соотношение кристаллов октаэдрического и ромбододекаэдрического габитусов при низком (не более 10 %) содержании округлых алмазов уральского типа и кубоидов. Районирование разновозрастных россыпей МБАР с учетом возраста и местоположения свидетельствует об их полигенности и существовании смешанных ореолов. Значимых отличий алмазов из верхнепалеозойских и мезозойских отложений в пределах одного и того же участка не установлено (россыпи Солур и Восточная). В целом морфологический спектр алмазов из россыпей МБАР близок между собой, но несколько отличается от этих минералов из известных кимберлитовых трубок. Суммарное содержание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов в большинстве россыпей на 10 % ниже, чем в кимберлитовых трубках I–II групп (Мир, Интернациональная, Дачная, имени XIII съезда КПСС, Спутник), и одновременно несколько выше количество ламинарных ромбододекаэдров. В ряде россыпей (участки Заря, Искра, Тымтайдахский, Дачный-1, Глубокий и Восточный) установлено присутствие (0,5–1,0 %) так называемых алмазов IIв разновидности удачнинского типа, представленных равномерно окрашенными в желтый цвет октаэдрами с занозистой штриховкой и блоковой скульптурой без площадок {100}, ярко-желтой фотолюминесценцией и с азотным центром N+V, для которых установлен легкий ($\delta^{13}C$ = -14,7 ‰) изотопный состав углерода, а рентгеноспектральным анализом диагностирован эклогитовый состав включений. Такого рода алмазы не установлены в трубках Мир, Интернациональная и других трубках МБАР. Содержание алмазов с оболочкой IV разновидности колеблется в пределах 0,4–1,7 %, поликристаллических агрегатов VIII разновидности – 0,7–3,1 %, а бесцветных кубооктаэдров, куборомбододекаэдров и тетрагексаэдров I разновидности – 1,3–2,0 % от общего количества кристаллов. В алмазах некоторых россыпей (в частности, участка Восточный) присутствует, в отличие от коренных месторождений, так называемая леденцовая скульптура и отсутствует мелкий класс, являющийся необходимым атрибутом россыпей ближнего сноса. По этому участку также установлено повышенное содержание включений сульфидных минералов (пирит в форме кубооктаэдров по трещинам), возможно, эпигенетического происхождения. Во многих россыпях (участки Тымтайдахский, Дачный, Искра и др.) по результатам исследований отмечается высокое содержание низкоазотных и безазотных кристаллов, практически отсутствующих в трубках Мир и Интернациональная. Количество алмазов с пониженным содержанием азота составляет в общей сложности до 30 % всех кристаллов. Отличие этих алмазов заключается в том, что, во-первых, количество таких индивидов в россыпях значительно больше, чем в трубках Таежная и Амакинская (не более 10 %); во-вторых, среднее содержание азота в них ниже ($1–2 \times 10^{19}$ см$^{-3}$), чем в кристаллах трубки Таежная ($4–5 \times 10^{19}$ см$^{-3}$), в-третьих, эти алмазы в россыпях представлены в основном октаэдрами, в то время как в трубке Таежная основная их масса – ромбододекаэдры. Общей

особенностью кристаллов с пониженным содержанием азота является зеленая, реже желто-зеленая фотолюминесценция.

На этапе среднемасштабного районирования нами все проявления и россыпи алмазов сгруппированы в три россыпных поля (Ирелях-Маччобинское с разделением на Центральный и Юго-Западный ореолы, Чуоналыр-Курунг-Юряхское, с разделением на Северо-Западный и Лапчанский ореолы и Бахчинское). Первое поле охватывает россыпные проявления и россыпи алмазов нижнеюрских отложений, а остальные – верхнепалеозойских, включая только одну мезозойскую россыпь участка Солурский. Большинство алмазов из данных россыпей относятся к *Ирелях-Маччобинскому россыпному полю*. По типоморфным особенностям алмазов они достаточно гетерогенны, несмотря на преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов. Содержание кристаллов октаэдрического габитуса колеблется в значительных пределах от 22,2 % (участок *Нижне-Юлегирский*) до 64,3 % (участки *Лосиха* и *Безрудность ВГ*). Доля ламинарных кристаллов ромбододекаэдрического габитуса для большинства участков (10,5–22,2 %) почти в два раза выше, чем в трубках Мир и Интернациональная. Аналогичным образом наблюдаются заметные (7,1–35,7 %) колебания в содержании двойников и сростков, фотолюминесцентных особенностях, причем по большинству участков количества кристаллов с сине-голубой фотолюминесценцией (13,6–42,8 %) заметно выше по сравнению с этими диатремами. Также наблюдаются резкие (18,8–63,1 %) колебания в содержании целых камней, что может свидетельствовать о своеобразии литолого-фациальных условий формирования этих россыпей. Все это дает возможность выделить в пределах Ирелях-Маччобинского россыпного поля центральную ассоциацию алмазов. Наиболее контрастным ореолом в пределах *Центрального россыпного поля* характеризуется участок *Тымтайдахский* с пониженным (43,5 %) содержанием кристаллов октаэдрического и повышенным – переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому (35,4 %) и ромбододекаэдрического (11,2 %) габитусов. Здесь отмечено присутствие (3,2 %) желтых ромбододекаэдров II разновидности, высокое (27,4 %) количество двойников и сростков с преобладанием незакономерных сростков, повышенные (25,8 %) концентрации окрашенных камней и кристаллов с зеленой, желтой и оранжевой (в сумме 45,2 %) фотолюминесценцией, преобладающих над индивидами с розово-сиреневым свечением. Характерна также невысокая степень сохранности (целостности) кристаллов при очень низкой (6,5 %) роли камней с механическим износом «выкрашивания» и пониженном содержании примесного азота в форме А-центра. В целом для алмазов Юго-Западного ореола Ирелях-Маччобинского россыпного поля характерна значительная дифференциация типоморфных особенностей алмазов отдельных участков. При этом *участок Куранахский* отличается от трубки Интернациональная низким (40 %) содержанием кристаллов октаэдрического и высоким (32,1 %) – индивидов переходного от октаэдрического габитусов I разновидности, при повышенном (1,4 %) содержании алмазов с оболочкой IV разновидности. Еще более контрастными по типоморфным особенностям алмазов являются два ореола рассеяния алмазов в пределах верховья р. Улахан-Еленг и в бассейне р. Чуоналыр-Южный. Для первого характерно преобладание кристаллов октаэдрического (54,7 %) и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов, причем для них, в отличие от трубок Мир и Интернациональная, характерно резкое преобладание индивидов со сноповидной (48,5 %) штриховкой над кристаллами с полицентрически растущими гранями (25,8 %), при фактическом отсутствии (1,9 %) алмазов с занозистой штриховкой. Другими их типоморфными особенностями являются сравнительно высокое (17,5 %) содержание двойников и сростков и очень низкое (4,1 %) количество окрашенных камней, а также индивидов с твердыми включениями (10,3 %). Среди алмазов более половины составляют кристаллы с пониженным содержанием примесного азота в форме А-центра, а также индивиды с однородным распределением центров розово-сиреневой фотолюминесценции, не характерных для трубок Мир и Интернациональная. Все это позволяет утверждать, что алмазы участка *Улахан-Еленгский* характеризуются типоморфными особенностями, близкими для кристаллов богатого типа первоисточника наиболее продуктивной фазы кимберлитового магматизма МБАР. В то же время по ряду типоморфных особенностей (отсутствие алмазов с занозистой штриховкой, высокое содержание двойников и сростков, небольшое количество окрашенных камней, а также кристаллов с включениями) эти алмазы заметно отличаются от таковых из основных коренных месторождений

района. Это может свидетельствовать о нахождении здесь высокоалмазоносного коренного источника, что также подтверждается особенностями распределения кристаллов по гранулометрии, характерной для россыпей ближнего сноса. Аномальный для МБАР комплекс типоморфных особенностей характерен также, по предварительным данным, для алмазов бассейна р. Чуоналыр (Южный), для которых установлено высокое (5 %) содержание кристаллов с оболочкой IV разновидности и поликристаллических агрегатов (5,0 %) VIII разновидности. Такого рода индивиды повышенной хрупкости могут сохраняться только в россыпях ближнего сноса. С алмазами участка Улахан-Еленгский изученные кристаллы сближает однородное распределение центров розово-сиреневого свечения и высокое содержание кристаллов с пониженной концентрацией примесного азота в форме А-центра. Коренным источником алмазов, поступающих в россыпи ручьев Улахан-Еленг и Чуоналыр (Южный), могут быть неизвестные кимберлитовые тела, расположенные на водоразделе этих водотоков. Для алмазов отдельных участков *Чуоналыр-Курунг-Юряхского россыпного поля* также отмечается значительная дифференциация типоморфных особенностей этого минерала, несмотря на то, что для них в целом характерно преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов. По сравнению с Ирелях-Маччобинским россыпным полем, оно характеризуется пониженным (не более 14,3 %) содержанием ламинарных ромбододекаэдров при полном отсутствии типичных округлых алмазов, небольшом (8,1–14,3 %) количестве кристаллов с сине-голубой фотолюминесценцией, повышенной (21,6–28,6 %) роли индивидов с желто-зеленым свечением и сравнительно высоком (35,1–43,2 %) числе целых камней. Исходя из типоморфных особенностей, алмазы Чуоналыр-Курунг-Юряхского россыпного поля можно объединить в северо-западную ассоциацию. Следует также отметить повышенное (до 10 %) содержание алмазов с эклогитовой ассоциацией твердых включений по участку Солурский, практически отсутствующих в трубках Мир и Интернациональная. Алмазы этого участка характеризуются аномально высоким количеством кристаллов с эпигенетическими сульфидными включениями, возникающими при гидротермальной минерализации древнего вторичного коллектора, находящегося на площадях, прилегающих к зоне Буордахского разлома. Типоморфные особенности алмазов из верхнекаменноугольных и мезозойских отложений участка Солурский очень близки, что свидетельствует об их сложной экзогенной истории. На это также указывает высокий средний вес кристаллов (17,7–19,3 мг) при отсутствии мелких камней класса -1+0,5 мм, причем последние в основном представлены осколками. Вместе с тем для алмазов характерно высокое (40 %) содержание камней с механическим износом «выкрашивания», что может свидетельствовать о нахождении их коренных источников на значительном удалении при существовании сноса с запада. Для алмазов Бахчинского поля характерно резкое преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов при низком (не более 7,7 %) содержании ламинарных ромбододекаэдров, двойников и сростков, окрашенных камней и сравнительно небольшом (не более 23,1 %) количестве кристаллов с сине-голубой фотолюминесценцией, а также превалирование слаботрещиноватых камней. Среднемасштабное районирование МБАР позволяет оконтурить ореол с юга по водоразделам рек Малая Ботуобия и Мурбай, с востока – рек Малая Ботуобия и Вилюйчан, с запада – по р. Большая Ботуобия, с северо-запада и севера – по р. Вилюй. Площади за пределами указанного контура района характеризуются преобладанием округлых алмазов уральского (бразильского) типа, характерных для Южно-Тунгусской области. В пределах МБАР в отдельных россыпях установлена близость типоморфных особенностей алмазов из отложений верхнепалеозойского и мезозойского возрастов, что свидетельствует о формировании последних за счет размыва более древнего коллектора или коренного источника среднепалеозойского возраста. Миграционная способность алмазов из россыпей, сформированных за счет размыва кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста и древних вторичных коллекторов, обычно проявляется в пределах алмазоносного района. Результаты исследования типоморфных особенностей алмазов из наиболее хорошо изученных кимберлитовых тел свидетельствуют о неоднородностях в строении верхней мантии даже в пределах ЦСАСП, особенно в отношении распределения достаточно редких окрашенных разновидностей кристаллов (II, III и IV), предположительно, эклогитового генезиса, связанных с глубинными алмазоносными ксенолитами различного состава. Эти разновидности алмазов являются редкими и акцессорными

в кимберлитовых телах, однако их находки в россыпях даже в единичном количестве могут служить основанием для локализации территории поиска коренных источников. Проведенный анализ типоморфных особенностей алмазов свидетельствует о высокой перспективности россыпных проявлений ЦСАСП на обнаружение новых высокопродуктивных кимберлитовых трубок.

Список литературы:
1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск : Гео, 2010. – 650 с.
2. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М. : Недра, 2003. – 603 с.
3. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. 2-е изд. – М. : Наука, 1984. – 264 с.
4. Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра, 1998. – 555 с.

Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н.
ЗЯНЦ АН РС (Я), г. Мирный

ДРЕВНИЙ ГИПЕРГЕНЕЗ И АЛМАЗНАЯ МИНЕРАГЕНИЯ

Приведены результаты комплексного исследования позднедевонских кор выветривания на терригенно-карбонатных породах, образованиях трапповой (долериты и туфогенные выделения) и кимберлитовой формаций. Рассмотрено распределение материала древних кор выветривания в верхнепалеозойских осадочных толщах в основных алмазоносных районах Сибирской платформы и сделаны выводы об их алмазной минерагении.

Ключевые слова: древние коры выветривания позднедевонского–раннекаменноугольного возраста и продукты их переотложения.

На древних платформах мира в алмазоперспективных районах широко развиты древние коры выветривания (КВ) на различных породах [1–3], а также отложения, обогащенные продуктами их размыва и переотложения в различных фациальных обстановках. Наиболее детально КВ в алмазоносных регионах изучены в Малоботуобинском районе (МБАР) Сибирской платформы (СП), в которых благоприятные палеогеографические условия для формирования выветрелых толщ существовали в позднедевонское – раннекаменноугольное время. Поскольку на рассматриваемой территории в конце девона произошло сокращение морского бассейна [1–3], то на северо-западе и северо-востоке Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС) сформировались прибрежные низменные равнины. Выравнивание пенепленизированного рельефа и образование элювия на исходных породах протекало постепенно на протяжении всего периода формирования территории, при котором продукты КВ поступали в коррелятивные толщи равномерно, что связано с незначительными в это время изменениями тектонического режима и палеорельефа. Поэтому отложения раннего карбона ТВС отражают погребенную поверхность выравнивания на границе девона и карбона и по всему разрезу обогащены продуктами выветривания, представляя тем самым формацию древних КВ. В пределах МБАР СП древние КВ развиты на различных породах: терригенно-карбонатных раннего палеозоя, долеритах, туфах, туфобрекчиях трубчатых тел и кимберлитах. В структурном плане древние КВ приурочены преимущественно к конседиментационным палеоподнятиям [1–3], в пределах которых в период формирования перекрывающих их отложений развивались обстановки денудационных и денудационно-аккумулятивных равнин. В отдельных разрезах установлены верхние горизонты КВ, свидетельствующие о формировании в них полных профилей. В процессе выветривания разрушенный материал субстрата сносился в пониженные участки центральной части прогиба. Возможно, на небольших поднятиях в прогибе КВ могла достигать значительной мощности. В Далдыно-Алакитском алмазоносном районе (ДААР) также устанавливается приуроченность КВ к палеоподнятиям и их склонам. Поля развития площадных остаточных КВ на терригенно-

карбонатных породах ордовика и силура тяготеют к Чукук-Мархинскому и Верхне-Алакитскому поднятиям и их склонам, на которых установлены фрагменты более мощных (до 15 м) и широких (по площади) элювиальных толщ. В позднедевонское – раннекаменноугольное время на большей части территории Непско-Ботуобинской и Анабарской антеклиз и их склонов, а также почти на всей площади МБАР и ДААР выветриванию подвергались повсеместно обнажавшиеся терригенно-карбонатные породы раннего палеозоя. Пелитоморфные продукты выветривания этих пород представлены диоктаэдрическими минералами. На самой ранней стадии выветривания это первичные минералы (гидрослюды и монтмориллонит-гидрослюдистое смешанослойное образование – МГСО), а на более поздних стадиях и вторичные минералы (типа каолинита). Особенностью глинистой составляющей КВ терригенно-карбонатных пород независимо от времени их формирования следует считать повсеместное присутствие в ее составе диоктаэдрической гидрослюды $2M_1$ с Al и Fe^{3+} в октаэдрических позициях. Характерным минералом в продуктах выветривания этих пород является также МГСО с различной тенденцией к упорядоченности. Учитывая общие черты в вещественном составе продуктов выветривания *пород трапповой формации (туфов, туфогенных образований и долеритов*), целесообразно рассматривать их минералого-геохимические особенности совместно, акцентируя внимание не только на отличительных чертах состава, характеристике первичных минералов, но и на некоторых аспектах строения и кристаллической структуры, что подчеркивает главнейшие типоморфные признаки элювиальных продуктов. Характерными минералами легкой фракции выветрелых пород трапповой формации являются в различной степени измененные плагиоклазы (от андезина до битовнита) и гейландит. Вверх по разрезам в породах обычно увеличивается содержание олигоклаза, что связано с меньшей устойчивостью средних и основных плагиоклазов. В слабоизмененных зернах плагиоклазов довольно часто наблюдаются полисинтетические двойники. Гейландит в породе представлен мелкими угловатыми пластинчатыми обломками неправильной формы. Довольно характерными для КВ туфов и туфогенных пород можно считать также выделения аллофана. Типоморфным минералом тяжелой фракции пород трапповой формации является ильменит [1–3]. В КВ долеритов обычно доминируют толстотаблитчатые и пластинчатые кристаллы минерала с хорошо развитыми гранями и угловатые обломки с реликтами огранки. В КВ туфов и туфогенных пород зерна ильменита преимущественно неправильной формы со сглаженными краями, реже – остроугольные обломки. Характерна для выветрелых пород трапповой формации значительная концентрация амфиболов, моноклинных пироксенов, эпидота, клиноцоизита, цоизита, турмалина, циркона, дистена и вулканического стекла. Среди тяжелых аутигенных минералов доминируют разнообразные выделения гидроксидов железа, что придает им буроватую окраску. В глинистых минералах из слабоизмененных долеритов является Mg-Fe^{3+}-монтмориллонит, ассоциирующий с вермикулитом. Обе фазы сегрегированы друг от друга и в структурном отношении представляют механическую смесь. Данное смешанослойное образование характеризуется беспорядочным наложением слоев в структуре и пониженными значениями параметра b (0,894–0,896 нм) элементарной ячейки. Происходящее значительное перераспределение Si и вынос его избытка и железа из структуры первичных минералов обусловливают первоначальное развитие каолинита в средних частях наиболее измененных профилей, а в отдельных трубочных телах туфогенных пород (Ан-49) и гиббсита.

Для установления закономерностей преобразования кимберлитов и определения типоморфных особенностей продуктов их выветривания проведено комплексное исследование профилей выветривания СП и Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Для легких фракций образований КВ кимберлитовых пород характерно постоянное присутствие бледно-оливковых и желтовато-зеленых чешуек флогопита и продуктов его изменения (хлорита и вермикулита), обломков серпентина, а также глинисто-карбонатных агрегатов, состоящих преимущественно из смеси глинистых минералов, кальцита и доломита. В сильно химически переработанных продуктах выветривания кимберлитов увеличивается количество пиропа, корродированного по кубоидному типу [1]. Нередки в КВ кимберлитов зерна пиропа с белесой рубашкой, столь характерной для древних россыпей района. Как для плотных, так и для выветрелых кимберлитов характерны пиропы с келифитовой каймой. В зависимости от степени выветрелости кимберлитов отмечены различные следы изменения оливина (вплоть до полной его серпентинизации), пироксенов,

хромшпинелидов и пикроильменита. В глинистой составляющей продуктов выветривания кимберлитов, кроме содержащихся в легкой фракции серпентина, хлорита и вермикулита, присутствует также монтмориллонит, МГСО и гидрослюда. Судя по значению $b = 0{,}893$ нм, в октаэдрических сетках структуры разбухающих минералов содержатся в основном Fe^{3+} и Al. В нижних и средних частях КВ *кимберлитов* эта смешанослойная фаза характеризуется тенденцией к упорядоченному чередованию пакетов. К верхам профилей в ней появляются явные элементы разупорядочения структуры, в лабильных промежутках (как и в монтмориллоните) преобладают Mg и Ca. Во фракции мельче 0,001 мм слабоизмененных кимберлитов (преимущественно зона дезинтеграции) серпентин представлен пластинчатой разновидностью, структура которой состоит из слоев типов А и В [2]. Сохраняется минерал вплоть до самых верхов профилей выветривания, где характеризуется только политипом А. При этом для частиц новообразованного политипа (А) вначале характерна округлая глобулярная форма (размер глобул до 0,5 мкм). Глобулы сочленяются в вытянутые червеподобные сростки длиной в несколько микрометров. Вверх по разрезу увеличиваются размеры частиц новообразованного серпентина и его сростков. Свойственный слюде в кимберлите политип 1М обусловливает сравнительно более быстрое накопление в продуктах диоктаэдризации Al, чем выветривание слюды $2M_1$ в терригенно-карбонатных породах.

Продолжительность периодов корообразования, протекающих при теплом влажном климате и относительно хорошем дренаже территории, существенно влияет на мощность элювиальных толщ и на количество алмазов, высвобождающихся из этих толщ при их образовании, либо непосредственно на кимберлитах, либо в продуктах их ближнего переотложения во вторичных коллекторах. Оценивая с этих позиций изложенные выше данные о древних КВ основных алмазоносных районах СП как в целом, так и в наиболее богатых алмазами МБАР и ДААР, отметим, что в позднедевонское – раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время здесь существовали благоприятные условия для интенсивного корообразования. Об этом свидетельствуют, в первую очередь, сохранившиеся от размыва мощные КВ с высокозрелыми верхними горизонтами. Непосредственно в КВ россыпи алмазов формируются только над кимберлитовыми трубками, что приводит к ограниченным их размерам [1]. На других породах россыпи не образуются, за исключением случаев, когда субстратом являются вторичные коллекторы алмазов (например верхнепалеозойские отложения). Поэтому важное значение имеет установление условий размыва и переотложения продуктов КВ при накоплении верхнепалеозойских отложений. Следует отметить ситуацию, что если формирование этих отложений (и в первую очередь их грубообломочных горизонтов) происходило в условиях накопления делювиально-пролювиальных, пролювиально-аллювиальных и озерных фаций (т. е. за счет преимущественно ближнего сноса местного материала), то тогда вблизи кимберлитовых тел формировались россыпи алмазов. Обильный привнос чуждого региону терригенного материала и развитие аллювиальных фаций происходили при размыве КВ на кимберлитах и приводили к выносу обогащенных алмазами продуктов за пределы локальных участков и сильному разубоживанию их за счет «транзитного» неалмазоносного аллювия. В таких условиях образование алмазных россыпей становилось практически невозможным. Переотложение продуктов выветривания вблизи областей денудации и накопление их в основном в пресноводных континентальных водоемах, а также небольшая мощность сформировавшихся осадочных толщ и незначительные погружения их определили, в частности, слабое гидрохимическое воздействие среды на аллотигенные минералы, а также отсутствие наложенных на них процессов катагенетического преобразования. Эти условия привели к тому, что глинистые минералы верхнепалеозойских осадочных толщ основных алмазоносных районов СП, связанные с процессами переотложения различных продуктов выветривания, определенным образом наследуют структурные и кристаллохимические особенности минералов из элювиальных толщ. Это позволяет использовать типоморфные признаки однотипных минералов легкой, тяжелой и глинистой фракций, а также геохимические особенности выветрелых пород для идентификации в осадочных толщах продуктов, поступивших из источников сноса, связанных с гипергенными изменениями пород различных химического и минералогического составов.

На протяжении позднего палеозоя в МБАР (северо-восточный борт ТВС) унаследованное и некомпенсированное опускание отдельных участков территории привело к образованию ряда

конседиментационных депрессий: Ахтарандинской на западе, Улахан-Ботуобинской, охватывающей нижнее течение р. Б. Ботуобии, и Кюеляхской в верховье р. Кюелях. Между этими депрессиями располагаются участки, испытавшие относительно замедленное опускание территории. Так, на западе района установлено Чернышевское поднятие, а в районе Улу-Тогинской петли р. Вилюй – Улу-Тогинское, совпадающее с осевой линией Улу-Тогинского поднятия. Все это обусловило образование в пределах поднятий и их склонов осадков, обогащенных местным материалом, а в депрессиях – преимущественно чуждым району. Хотя в районе пока не обнаружены кимберлитовые трубки, перекрытые верхнепалеозойскими отложениями, однако находки в базальных горизонтах этих поднятий заметных концентраций алмазов и других индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) со специфическими свойствами позволяют предполагать присутствие на этой территории еще неоткрытых коренных источников. В позднедевонское – раннекаменноугольное время неоткрытые пока кимберлитовые диатремы подвергались эрозии и высвободившийся вследствие выветривания кимберлитовый материал формировал россыпи различных генетических типов. Главнейшими образованиями верхнего палеозоя МБАР, в формировании которых значительную роль сыграли позднедевонские – раннекаменноугольные КВ, являлись породы лапчанской (P_1l), ботуобинской (P_1bt) и боруллойской (P_2br) свит. Преобладание в базальных горизонтах *лапчанской свиты* крупнообломочного материала из местных источников сноса (известняки, известковистые песчаники, доломиты и др.), полевошпатово-кварцевый (нередко до кварцевого) состав минералов легкой фракции, обедненный комплекс минералов тяжелой фракции (с преобладанием их аутигенных разностей) указывают на преобладание в составе пород лапчанской свиты материала переотложенной КВ на терригенно-карбонатных породах. В разрезах лапчанской свиты, непосредственно залегающих на КВ терригенно-карбонатных пород, в нижних горизонтах отмечены максимальные концентрации каолинита и диоктаэдрической гидрослюды $2M_1$. Однако отмечены случаи, когда в пробах из нижних базальных горизонтов этих толщ указанная гидрослюда отсутствует вообще, подчеркивая неравномерность распределения выветрелого материала данного типа. Для пелитовой составляющей лапчанской свиты свойственна также повышенная концентрация Mg-Fe-хлорита, по структурно-морфологическим особенностям близкого к установленному в КВ терригенно-карбонатных пород. Это, как содержание и состав грубообломочного материала, а также минеральные парагенезисы легкой, тяжелой и глинистой фракций, позволяет утверждать, что в период формирования осадков лапчанской свиты в них преобладали продукты переотложения КВ терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя и кластических образований среднего палеозоя. Значительно меньшую роль играли в этом процессе выветрелые продукты основного и ультраосновного состава. В грубообломочном комплексе образований *ботуобинской свиты* отмечено повышенное (до 60 %) содержание гальки кварцитов. Как и для лапчанской свиты, в базальных горизонтах ботуобинской свиты не отмечены четкие закономерности распределения главнейших минералов легкой, тяжелой и глинистой фракций, что указывает на неравномерное распределение здесь материала древних КВ. Основные породообразующие минералы ботуобинской свиты – кварц и полевые шпаты. Весьма типичны здесь минералы группы эпидота, среди которых, в отличие от лапчанской свиты, преобладает эпидот. Отдельные прослои обогащены чешуйчатыми выделениями биотита, лепидомелана, мусковита и хлорита. Для тяжелой фракции характерно присутствие в различной степени окатанных зерен циркона, турмалина и апатита. В отличие от лапчанской свиты, в нижних горизонтах ботуобинской увеличивается концентрация монтмориллонита, неупорядоченных МГСО и вермикулит-монтмориллонитовых смешанослойных образований (ВМСО), что свидетельствует о возрастании в этих горизонтах роли продуктов выветривания пород основного и ультраосновного составов и уменьшении роли продуктов выветривания терригенно-карбонатных пород. На это указывают также сравнительно меньшие концентрации диоктаэдрической гидрослюды $2M_1$ и каолинита с относительно упорядоченной структурой. Нередко отмечается достаточно высокая концентрация каолинита по всему разрезу свиты, что связано с поступлением его из верхних горизонтов КВ на породах трапповой формации. В грубообломочном материале *боруллойской свиты* увеличивается содержание обломков кварца. Основное отличие пород этой свиты от нижележащих каменноугольно-пермских отложений сводится к присутствию слюдистых минералов (биотита, мусковита и лепидомелана).

Список литературы:
1. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
2. Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Б. Особенности минерагении алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М. : МГТ, 2004. – 172 с.
3. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли. Методическое пособие для магистров по специализации «Геологическая сьемка и поиски месторождений полезных ископаемых // Труды НИИГ Воронежского ун-та. – 2013. – Т. 68. – 99 с.

Ибрагимова А. А., Ткачева Е. А.
ФГБУ «Росгеолфонд», г. Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ ИЗУЧЕННОСТИ ФГБУ «РОСГЕОЛФОНД» ДЛЯ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Геологическая изученность осуществляется с целью отражения характера и степени изученности территории Российской Федерации и создания информационных баз и специализированных карт. Контурные карты геологической изученности предоставляют возможность для обоснования выбора дальнейшего направления работ.

Ключевые слова: изученность, контурные карты, благородные металлы.

Степень геологической изученности является одним из факторов обоснования постановки и определения задач региональных геологических исследований для различных частей территории Российской Федерации. Под геологической изученностью понимается совокупность геологической информации о конкретной площади проведения работ, которая может быть извлечена из опубликованных источников, фондовых материалов и действующих баз данных [1].

Актуальность работы заключается в том, что открытые данные изученности ФГБУ «Росгеолфонд» предоставляют полноту имеющихся материалов по геологическому строению и закономерностям размещений полезных ископаемых, масштабов, видов, объемов, проведенных геологосъемочных и поисковых работ, их распределении по площадям в электронном каталоге карточек геологической изученности (рис. 1).

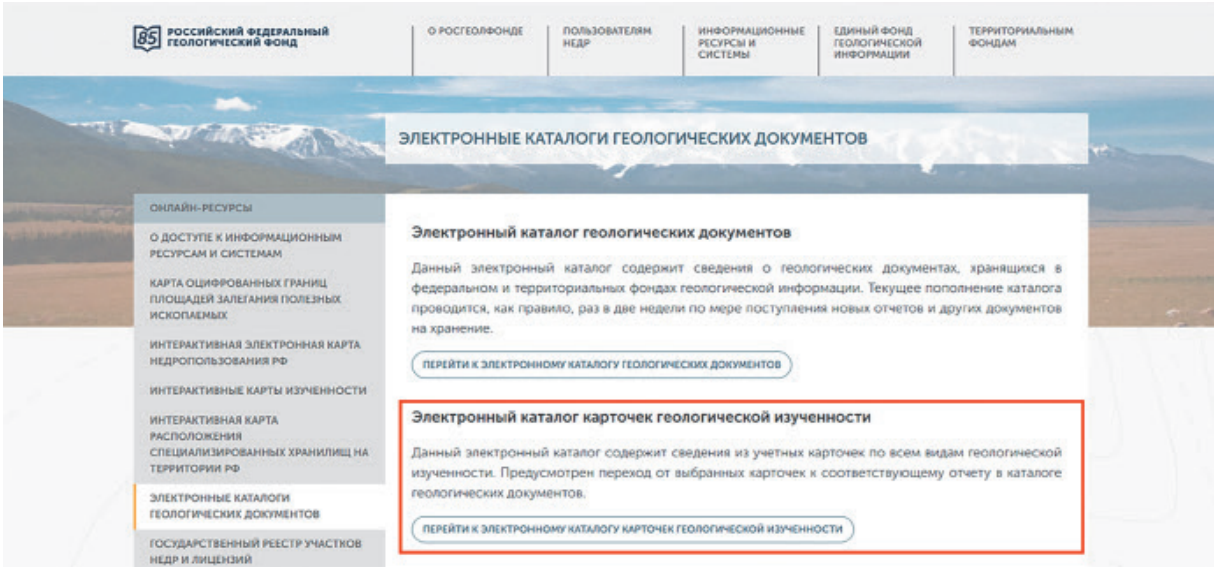


Рис. 1. Электронный каталог карточек геологической изученности на сайте ФГБУ «Росгеолфонд»

Каталог содержит сведения государственного учета результатов геологического изучения недр территории Российской Федерации по следующим видам изученности:

- геологической;
- гидрогеологической;
- инженерно-геологической;
- геофизической;
- эколого-геологической;
- геохимической.

Каталог позволит произвести поиск по основным атрибутам карточки и отчета, в данном случае было интересно найти месторождения на благородные металлы (золото, серебро, платина). Также в интерфейсе программы возможно просматривать все атрибуты карточки в специальной форме, максимально приближенной к утвержденной бумажной, выбирать нужные карточки во временную область, просматривать выбранные карточки на карте с функционалом простой ГИС-системы (масштабирование, управление слоями, сдвиг карты) и сохранять для последующего использования список выбранных карточек и контурные карты (рисунки 2, 3).

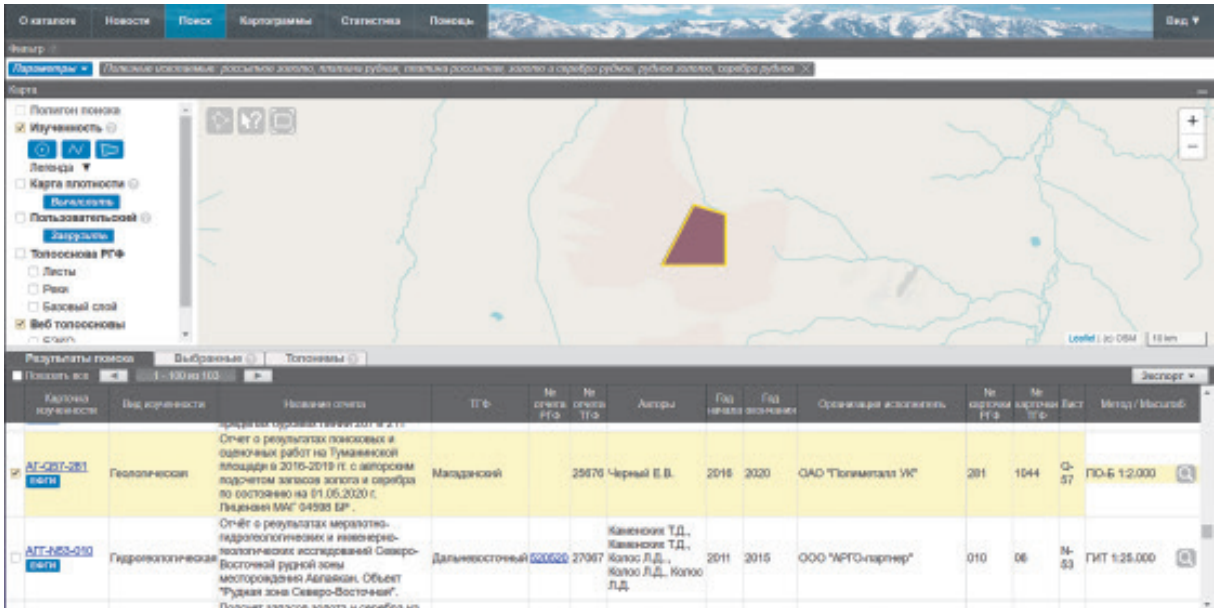


Рис. 2. Выбор карточек изученности из результатов поиска и перемещение их в перечень выбранных

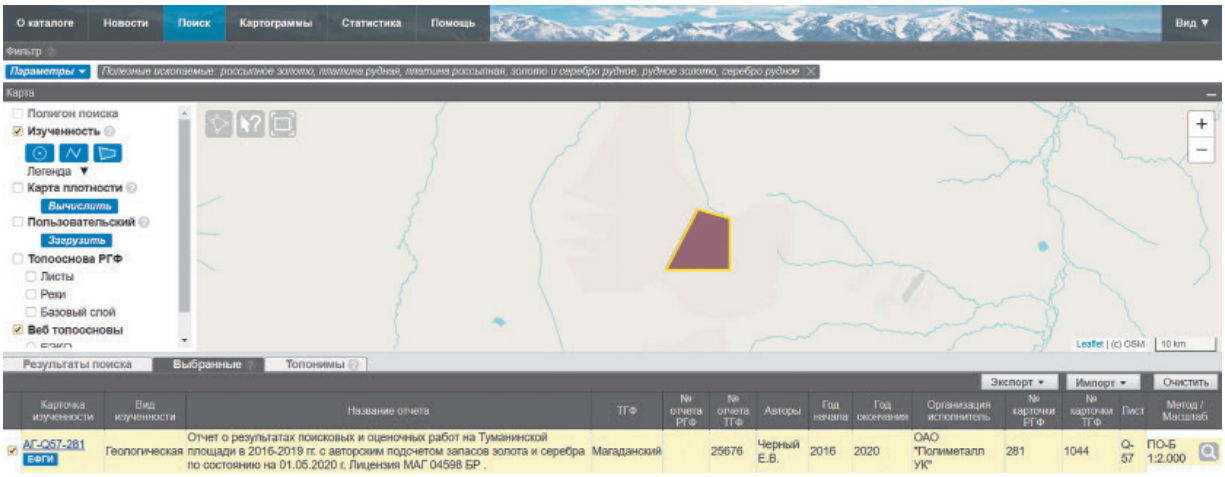


Рис. 3. Работа с перечнем выбранных карточек в закладке «Выбранные» с возможностью экспорта или импорта информации о выбранных карточках

Выбранный отчет о результатах поисковых и оценочных работ расположен на номенклатурном листе Q-57, который можно найти во вкладке «картограммы». Здесь представлены контурные карты геологической изученности в различный период времени. При выборе необходимого промежутка лет дается возможность скачать карту в формате PDF для детального рассмотрения изученности (рис. 4).

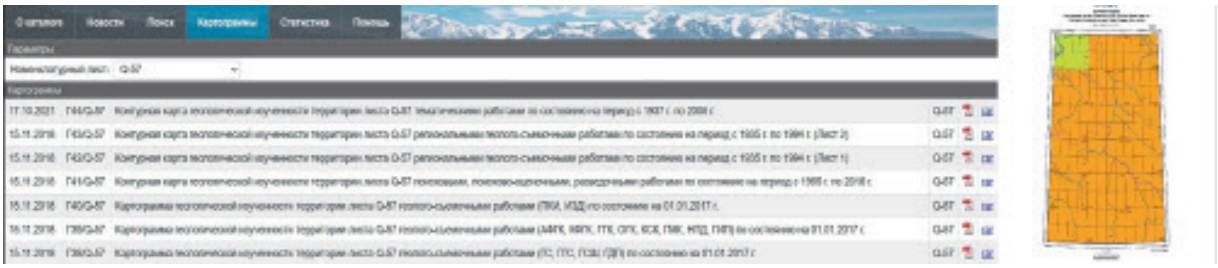


Рис. 4. Просмотр PDF-версии карты и соответствующего листа в среде интернет-каталога изученности

Также информационные ресурсы ФГБУ «Росгеолфонд» предоставляют возможность работы с интерактивной картой изученности (рис. 5). Карта представляет собой динамический свод данных изученности федерального и территориального уровней с ежедневным обновлением источников с делением по видам изученности, видам и масштабам работ и ориентирована на максимально простое и быстрое получение краткой справочной информации.

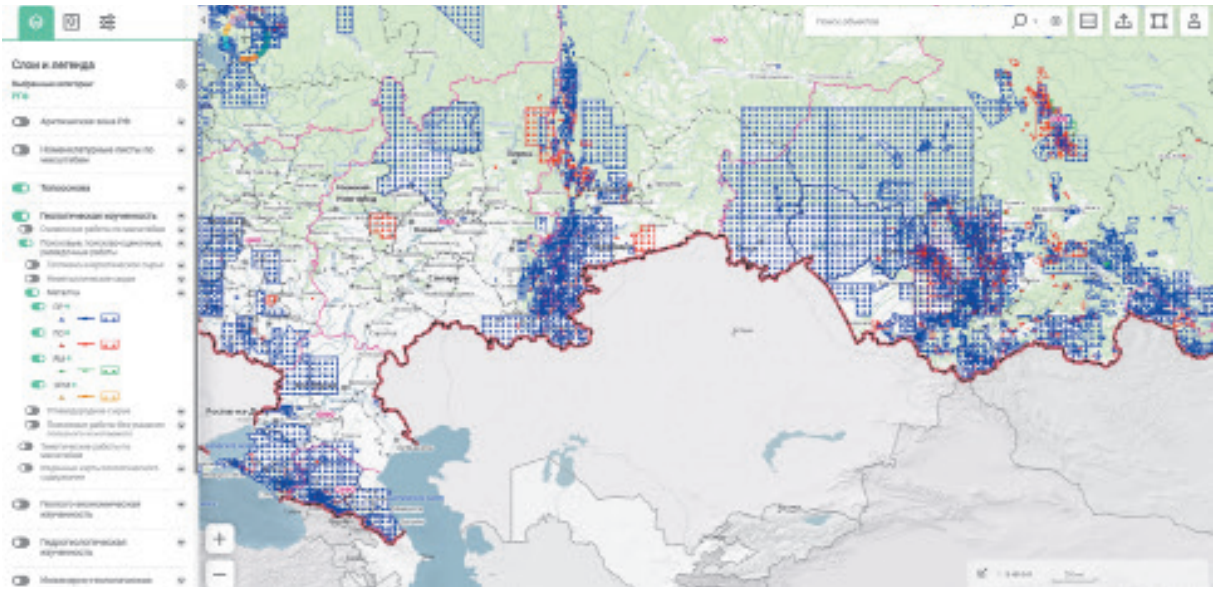


Рис. 5. Интерактивная карта изученности

Таким образом, использование открытых данных изученности ФГБУ «Росгеолфонд» предоставляет возможность в online-режиме при удобном интерфейсе прогнозировать месторождения полезных ископаемых. Постановка работ по региональному геологическому изучению недр и прогнозированию полезных ископаемых определяется народнохозяйственными, политическими, научными и иными потребностями. Состояние геологической изученности не всегда является решающим фактором в принятии решений по постановке РГР, но во многом определяет виды работ, их объемы и сроки реализации [1].

Список литературы:

1. Довбня А. В., Духовский А. А., Кирсанов А. А., Николаев В. Ф., Певзнер В. С. Методические рекомендации по геологической, геофизической, геохимической изученности и обеспеченности

дистанционными материалами для обоснования постановки РГР. – М.; СПб. : Федеральное агентство по недропользованию; ФГУП ВСЕГЕИ, 2014. – 34 с.

Иванов А. И.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ ПОЛИХРОННЫХ И ПОЛИГЕННЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

При изображении прогнозно-поисковых моделей в табличной форме обычно «суммируют» все факторы рудоконтроля вне зависимости от длительности золотонакопления и этапности рудообразования. Это зачастую приводит к «смешиванию» разновозрастных элементов (в том числе взаимно исключающих), что затрудняет понимание закономерностей формирования золотого оруденения и формирование эффективного прогнозно-поискового комплекса. Поэтому составление прогнозно-поисковых моделей полихронных и полигенных золоторудных месторождений должно учитывать особенности каждого этапа рудообразования и выделять факторы рудоконтроля для каждого из них.

Ключевые слова: прогнозно-поисковые модели, прогнозно-поисковые комплексы, факторы рудоконтроля, полигенные и полихронные месторождения рудного золота.

В 80-х годах XX века ЦНИГРИ активно включился в создание систем «прогноз–поиски–оценка» и в формирование на их основе оптимальных прогнозно-поисковых комплексов. Было показано, что прогнозные исследования занимают межстадийное положение – они замыкают и открывают каждую стадию (подстадию) геологоразведочных работ в целях обоснования перехода к более детальным работам [3]. Соответственно, прогнозирование осуществляется на разных стадиях для разных металлогенических таксонов: по результатам среднемасштабных геолого-съемочных работ прогнозируются потенциально-рудные районы; при постановке и по результатам ГСР-50 и ГДП-50 – рудные поля; для обоснования поисковых работ и по их результатам прогнозируются перспективные участки; для обоснования оценочных работ и по их результатам прогнозируется потенциальное месторождение; для обоснования разведочных работ и по их результатам прогнозируется промышленно значимое месторождение; для обоснования детальной разведки и по ее результатам прогнозируется пригодная к эксплуатации часть месторождения. А собственно прогнозирование осуществляется на основе формирования моделей прогноза и поисков «с определением эффективных сочетаний трех групп факторов: определяемых поисковой практикой, закономерностями размещения месторождений и генетическими построениями» [3, стр. 27]. При этом «эффективность и достоверность прогноза обеспечивают факторы, определяемые закономерностями размещения месторождений и обстановками нахождения известных объектов. Факторы, определяемые поисковой практикой, способствуют конкретизации прогноза, а вытекающие из генетических построений – дополняют факторы двух первых групп…» [3, стр. 26]. В результате дальнейших исследований ЦНИГРИ по методике построения карт прогноза золотого оруденения на основе моделей рудных полей и месторождений как объектов прогноза и поисков и создания прогнозно-поисковых комплексов была подготовлена целая серия соответствующих методических рекомендаций [5, 6, 8–11] и типовых многофакторных поисковых моделей золоторудных месторождений [7]. Эти разработки были закреплены в Металлогеническом кодексе (2012) [4].

В целом были приняты обобщенные варианты построения прогнозно-поисковых моделей в табличной форме с выделением групп факторов (критериев) контроля оруденения (определяемых закономерностями формирования месторождений) и поисковых признаков (по А. И. Кривцову и В. А. Нарсееву [3] – факторов, определяемых поисковой практикой).

Такой обобщенный вариант составления прогнозно-поисковых моделей для полигенных и полихронных месторождений не учитывает этапность рудообразования, что в ряде случаев при характеристике факторов рудоконтроля, приводит к «смешиванию» разновозрастных

элементов (в том числе взаимно исключающих). Это, соответственно, затрудняет понимание закономерностей формирования золотого оруденения и формирование эффективного прогнозно-поискового комплекса.

Ярким примером полигенных и полихронных золоторудных месторождений являются объекты в терригенных и карбонатно-терригенных углеродистых формациях («черносланцевые толщи»), сформированных при осадконакоплении в основном в условиях пассивной континентальной окраины континентов и претерпевших преобразования в разные этапы коллизионной стадии развития регионов. Каждый из этих этапов, включая этап осадконакопления, вносил свою лепту в золотонакопление, которое в каждом из них характеризовалось своими закономерностями. Примерами таких регионов являются Байкало-Патомская, Енисейская и Верхоянская складчатые области, контролирующие одноименные металлогенические провинции. В их пределах выявлены многочисленные, в том числе уникальные и крупные по запасам, месторождения – Сухой Лог, Вернинское, Олимпиадинское, Благодатное, Ведуга, Наталкинское, Павлик и др.

Наиболее полно изучена этапность золотого рудообразования в Байкало-Патомской металлогенической провинции. В этом процессе выделено четыре этапа – конседиментационный, линейного складкообразования, гранито-гнейсового куполообразования (регионального метаморфизма) и гранитоидного магматизма [1, 2 и др.].

В конседиментационный этап (ранний рифей–венд) в условиях пассивной континентальной окраины высокоуглеродистые толщи в определенных условиях обогащались некоторыми рудными элементами и золотом, особенно при проявлении синхронного интрузивного магматизма в зонах конседиментационных разломов при их активизации (средне-верхнерифейские и вендские отложения), что должно учитываться при разработке прогнозно-поисковых моделей.

При линейном складкообразовании (ранний палеозой) в продольных зонах складчато-разрывных деформаций (рассланцевания) в тех их участках, где *PT*-условия синскладчатого метаморфизма соответствовали «зоне хлорита», проявилась золотоносная железо-магнезиальная карбонатизация (бурошпатизация), представляющая собой рудоподготовительный процесс и фиксирующая рудоконтролирующие структуры, в пределах которых при дальнейших преобразованиях формировались золотоносные минерализованные зоны и рудные зоны (месторождения). Близкоодновременно с золотоносной бурошпатизацией в других (субпараллельных) зонах рассланцевания с более высокотемпературными условиями («зона биотита») в результате «затекания» в их пределах за счет интенсивного флюидопотока изограды биотита по восстанию (на уровень денудационного среза), происходило формирование моноклинного пирротина. Такие зоны не золотоносны и отчетливо выделяются по магниторазведочным данным отрицательными линейными аномалиями. В более низкотемпературных условиях (пренит-пумпеллиитовая фация) в зонах рассланцевания не происходили ни пирротинизация пород, ни бурошпатизация, то есть часть территории металлогенической провинции, где линейное складкообразование происходило в *PT*-условиях пренит-пумпеллиитовой фации, не перспективна на выявление месторождений коренного золота [2]. Все обозначенные геологические факторы, как положительные, так и отрицательные, должны отражаться в прогнозно-поисковых моделях.

Гранито-гнейсовое куполообразование (средний палеозой), с которым связано проявление регионального метаморфизма, привело в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций к деформации линейных складок и вместе с ними – рудоконтролирующих синскладчатых зон складчато-разрывных деформаций. Активизация последних в этот этап, наиболее интенсивная на периферии гранито-гнейсовых куполов, в ряде случаев обусловила проявление синметаморфической жильно-прожилковой кварцевой минерализации. Значительные минеральные изменения пород в этот этап происходили за изоградой биотита, где наряду с появлением различных метаморфических минералов шло преобразование золотоносных порфиробласт сидерита и анкерита в ранее сформированных зонах бурошпатизации – они псевдоморфно замещались кварцем, биотитом и другими минералами (Л. И. Салоп, Б. В. Петров, В. А. Макрыгина, А. И. Иванов и др.). При этом происходило перераспределение золота и его укрупнение [1, 2]. В участках гранитообразования в центральных частях гранито-гнейсовых куполов пластические деформации становились так велики, что золотоносные линейные зоны складча-

то-разрывных деформаций (рассланцевания) и бурошпатизации деформировались с незакономерным изменением ориентировки. Поэтому их последующая («диафторическая») активизация как деформационных структур в рудный этап становилась невозможной, и в их пределах не могли сформироваться месторождения золота. По этой причине «эпицентры» купольной деформации не включаются в перспективные на золото территории как на уровне земной поверхности, так и на глубине, что и должно быть отражено в прогнозно-поисковых моделях.

Окончательное формирование золотоносных минерализованных зон и рудных зон связано с этапом гранитоидного магматизма (верхнепалеозойский конкудеро-мамаканский комплекс). В этот этап происходила активизация рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций (рассланцевания) с локализацией в их пределах сингранитного флюидопотока, который наряду с дополнительным привносом золота приводил к мобилизации, перераспределению и локализации ранее сформированных рудных компонентов в структурно-литологических ловушках в кварцевых, сульфидно-кварцевых, кварц-сульфидных и сульфидных образованиях. Концентрация золота в пределах синскладчатых золотоносных зон складчато-разрывных деформаций при их активизации происходила только в *PT*-условиях «зоны хлорита» – так формировались золотоносные минерализованные и рудные зоны. В случае, когда в регионально-метаморфический этап породы в золотоносных зонах рассланцевания были метаморфизованы в условиях «зоны биотита» зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой или амфиболитовой фаций, при их активизации в *PT*-условиях «зоны хлорита» проявились процессы диафтореза с преобразованием высокотемпературных минералов в низкотемпературные (мусковит, хлорит, кварц, новообразованные железо-магнезиальные карбонаты и т. п.). На территории, где в синскладчатый и регионально-метаморфический этапы преобразования пород происходили в *PT*-условиях «зоны хлорита», проявление гидротермально-метасоматических процессов сингранитного этапа, протекавших также в *PT*-условиях «зоны хлорита», выявляется по «распаду» магнитного поля – линейные отрицательные магнитные аномалии, обусловленные высокотемпературным магнитным пирротином, ослабляются либо «исчезают» за счет его преобразования либо в немагнитный гексагональный пирротин, либо в пирит. Выделение на уровне денудационного среза территорий, где метаморфические и гидротермально-метасоматические процессы в пределах рудоконтролирующих зон рассланцевания при их активизации в сингранитный этап протекали в условиях «зоны хлорита», лежит в основе определения границ перспективных на выявление золоторудных месторождений площадей (рудных узлов и рудных полей).

В связи с вышесказанным необходимо констатировать, что при составлении прогнозно-поисковых моделей как в табличной, так и в графической формах необходимо поэтапное рассмотрение проявления тех или иных геологических факторов как положительных, контролирующих рудонакопление, так и отрицательных, которые позволяют отбраковать на начальном этапе неперспективные или слабоперспективные площади.

Список литературы:

1. Иванов А. И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
2. Иванов А. И. Роль метаморфических условий преобразования углеродистых карбонатно-терригенных отложений для формирования золотого оруденения на разных этапах коллизионной эпохи развития Байкало-Патомской металлогенической провинции // Отечественная геология. – 2017. – № 4. – С. 3–23.
3. Кривцов А. И., Нарсеев В. А. Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы // Советская геология. – 1983. – № 1. – С. 17–27.
4. Металлогенический кодекс России / гл. ред. Лаверов Н. П., Морозов А. Ф.; сост. Кривцов А. И., Ручкин Г. В., Карпузов А. Ф., Кочнев-Первухов В. И., Контарь Е. С., Ахманов Г. Г. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.
5. Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов / ред. Мигачев И. Ф., Константинов М. М. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – 274 с.
6. Методика поисков золоторудных месторождений / ред. Константинов М. М., Нарсеев В. А. – М. : ЦНИГРИ. – 1990. – 245 с.

7. Многофакторные поисковые модели золоторудных месторождений / ред. Константинов М. М., Нарсеев В. А. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – 120 с.
8. Основы прогнозирования золоторудных месторождений в терригенных комплексах / ред. Нарсеев В. А. – М. : ЦНИГРИ, 1986. – 192 с.
9. Прогнозирование и поиски месторождений золота / ред. Нарсеев В. А., Курбанов Н. К. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – 237 с.
10. Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. XII. Комплексирование работ по прогнозу и поискам золоторудных месторождений в терригенных толщах. Методические рекомендации. – М. : ЦНИГРИ, 1984. – 64 с.
11. Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. XIII. Комплексирование работ по прогнозу и поискам золото-сульфидно-кварцевых месторождений в эвгеосинклиналях. Методические рекомендации. – М. : ЦНИГРИ, 1984. – 49 с.

Иванов А. С.[1], **Специус З. В.**[2]
[1] Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург;
[2] Институт Геологии алмаза и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН, г. Якутск

КОМПЛЕКС ДИАГРАММ (Q-R КОД) СОСТАВОВ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТСКОЙ И АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИЙ

Изучение составов индикаторных минералов кимберлитов – наиболее востребованное научное направление. В работе выполнено комплексное обобщение всех предыдущих изучений составов индикаторных минералов с отображением составов четырех наиболее часто встречаемых минеральных групп на хорошо известной диаграмме Митчела и других исследователей. Представлены также треугольные пузырьковые диаграммы для элементов примесей и линейный размер пузырька в зависимости размера от массовой доли этой примеси в минерале. Для составов пикроильменитов размер пузырька фигуративной точки установлен от увеличения массового содержания окисного железа в пересчете на (Fe_2O_3). Для составов хромистых шпинелей такой порядок точек на графике установлен для содержания TiO_2. Для составов пироксенов и пиропов такой формат пузырьков фигуративных точек установлен для примесей окиси марганца.

Ключевые слова: кимберлиты, перидотиты, эклогиты, индикаторные минералы, диаграмма Митчелла, алмазоносность, кластерные группы.

Рассмотрение предложенных диаграмм на примере кимберлитовых трубок. В данной работе проведено обобщение всех предыдущих исследований составов индикаторных минералов (ИМК) с отображением составов четырех наиболее часто встречаемых минеральных групп на хорошо известной диаграмме Р. Митчелла и других исследователей [1, 3–5].

Состав пиропов тр. Ясная почти полностью сформирован за счет эклогитового субстрата. Эти составы показаны в розовом контуре на диаграммах. На диаграммах (рис. 1) такие составы пиропов обведены в розовый контур. Из пробы кимберлита тр. Ясная проанализировано хромшпинелей (Shp) – 15 зерен, Хромдиопсидов (CrDiop) – 51, пиропов (Pirop) – 55, пикроильменитов (ilm) – 116 зерен. Минералогическая особенность: Shp – CrDiop – Pirop – Ilm.

Состав пиропов тр. Толуопская почти полностью сформировался в перидотитовом субстрате и практически не захватил материал эклогитового субстрата (рис. 2). Из пробы кимберлита тр. Толупская проанализировано хромдиопсидов (CrDiop) – 67 зерен хромшпинелей (Shp) – 214 зерен, ильменитов (ilm) – 214 зерен, пиропов (Pirop) – 254. Минералогическая особенность CrDiop – Shp – Ilm – Pirop.

Состав пиропов алмазоносной трубки Юбилейная сформировался в перидотитовом субстрате, с захватом отдельных линз эклогитов. Кимберлитовая трубка Юбилейная – это разрабатываемое в настоящее время промышленное месторождение, в котором ежегодно добывают большие кристаллы алмазов весом более 50–100 карат (рис. 3). Из проб кимберлитов трубки

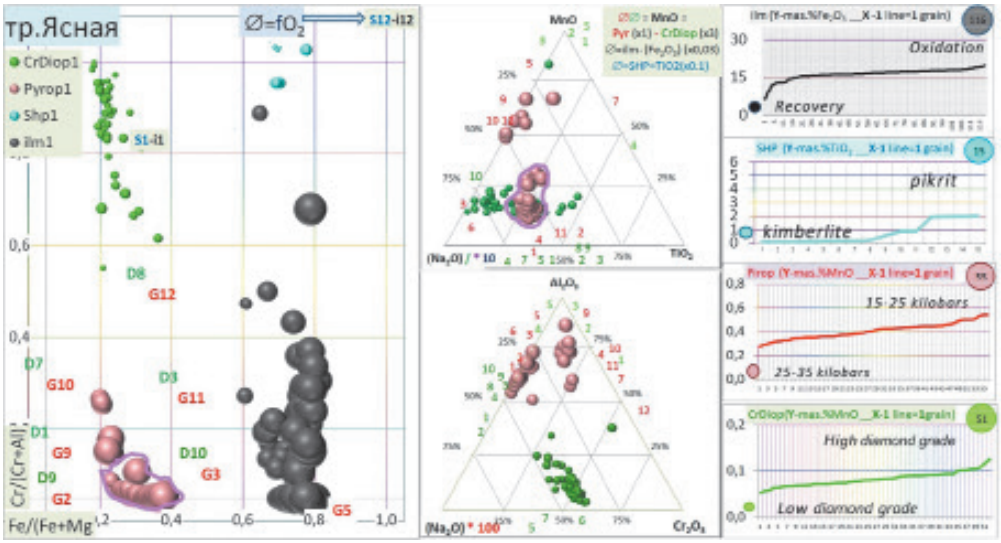


Рис. 1. Составы индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) трубки Ясная на комплексе диаграмм

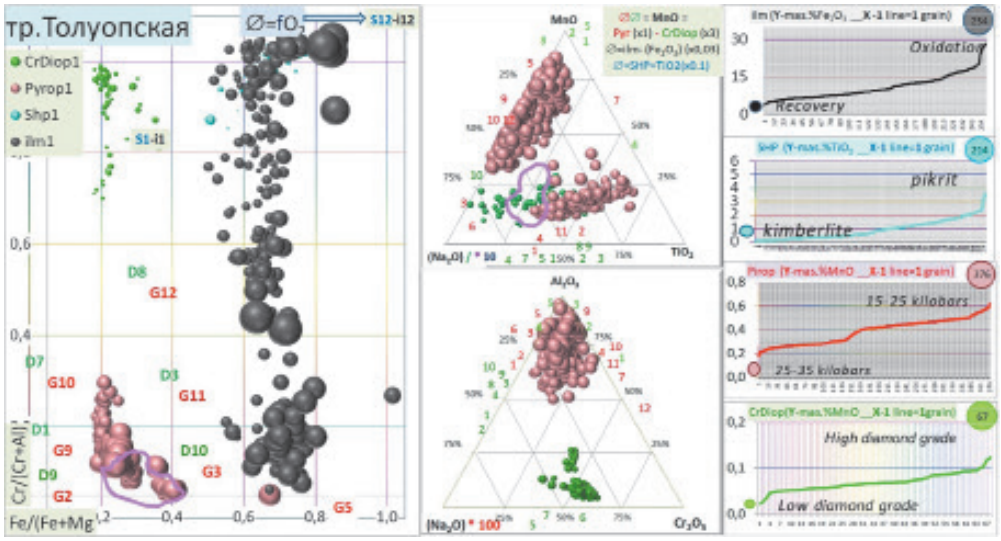


Рис. 2. Составы ИМК трубки Толупская на комплексе диаграмм

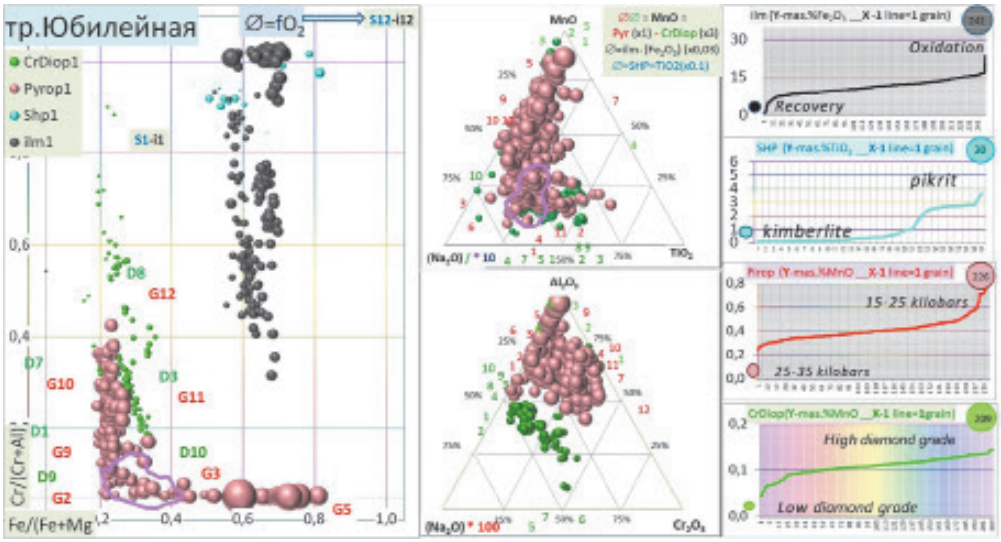


Рис. 3. Составы ИМК трубки Юбилейная на комплексе диаграмм

Юбилейная проанализировано хромшпинелей (Shp) – 30 зерен, хромдиопсидов (CrDiop) – 209 зерен, пиропов (Pirop) – 226, ильменитов (ilm) – 241. Минералогическая особенность Shp – CrDiop – Pirop – Ilm.

Состав пиропов алмазоносной трубки Пионерская (рис. 4) сформировался в перидотитовом субстрате, при этом частично захватил линзы эклогитов. Кимберлитовая трубка Пионерская относится к слабо алмазоносным кимберлитам. Из пробы кимберлита трубки Пионерская проанализировано хромшпинелей – пикроильменитов (ilm) – 6, хромдиопсидов (CrDiop) – 18, пиропов (Pirop) – 91, Shp – 383 зерен. Минералогическая особенность Ilm – CrDiop – Pirop – Shp.

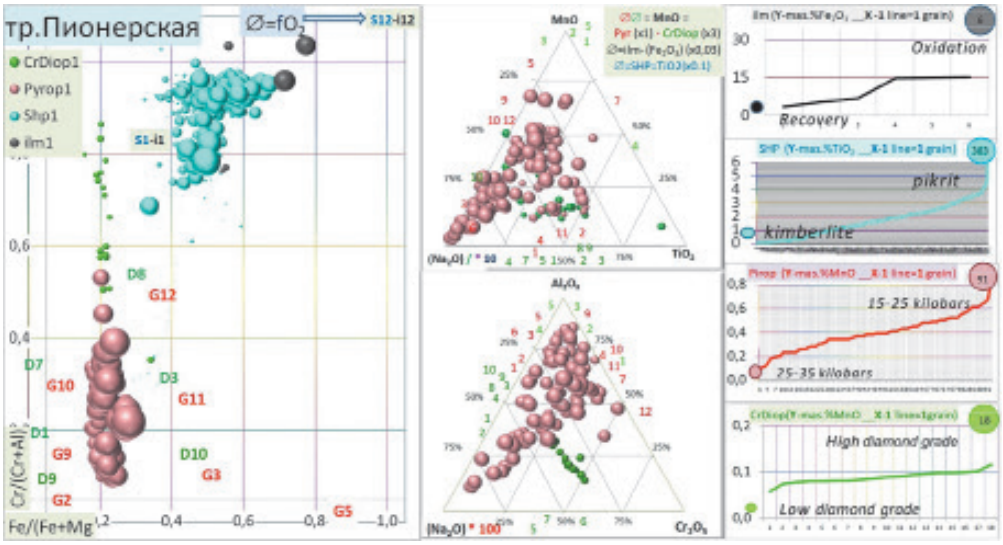


Рис. 4. Составы ИМК трубки Пионерская на комплексе диаграмм

Целевое назначение предложенного комплекса диаграмм и решаемые геологические задачи. Основной диаграммой для составов четырех групп ИМК является бинарная диаграмма, где по оси X вычисленный коэффициент железистости – Fe/(Fe + Mg) и по оси Y – хромистости – Cr/(Cr + Al). Такая диаграмма впервые была применена для составов хромшпинелей [4]. Разработанный комплекс диаграмм позволяет графически демонстрировать химические особенности одновременно четырех минералов-индикаторов кимберлитовых трубок или спутников алмаза – МСА (пироп, хромит, ильменит, пироксен). К этой диаграмме добавлены две треугольные диаграммы для составов пиропов и пироксенов – Na_2O–TiO_2–MnO и Na_2O–Cr_2O_3–Al_2O_3. На всех трех диаграммах размер фигуративных точек анализов изменяется в зависимости от дополнительных химических элементов или их параметров. Все три диаграммы строятся в офисной программе Excel-2007, где диаметр фигуративной точки анализа вычисляется путем преобразования массового содержания дополнительного измеренного элемента в зерне минерала.

Для составов пиропов этот размер полностью соответствует в проанализированных зернах (MnO мас.%), но для видимой сходимости величин фигуративных точек анализов пироксенов с другими МСА содержание MnO в пироксенах увеличено в три раза. Содержание TiO_2 в хромшпинелях уменьшено в десять раз с той же целью, а содержание Fe_2O_3 в ильменитах уменьшено в тридцать раз. В легенде графиков показаны все перечисленные преобразования.

Линейные диаграммы построены с применением сортировки анализов каждой минеральной группы ИМК по росту массового содержания дополнительного элемента, который преобразован в размеры пузырьков – фигуративных точек анализов [2]. На линейных графиках по оси Y проведены линии массовых содержаний измеренных дополнительных элементов, по которым преобразовывается и вычисляется диаметр пузырька фигуративной точки [2]. Длина линий оси X соответствует 100 % количеству проанализированных зерен. Примечательно, что на линейной диаграмме ильменитов участок линии менее 15 мас.% относится к восстановительным условиям, благоприятным для сохранности алмазов (по Дж. Герни [1]), а выше этой линии – участок окислительной обстановки, неблагоприятный для сохранности алмазов.

На линейной диаграмме пиропов участок линии MnO менее 0,4 мас.% можно отнести к высоким давлениям, а более 0,4 мас.% MnO – к меньшим давлениям и глубинам их кристаллизации. На линейной диаграмме хромшпинелей участок линии TiO_2 менее 1,0 мас.% можно отнести к зёрнам из кимберлитов, а более – к зернам из пикритов и меймечитов. На линейной диаграмме хромдиопсидов участок линии MnO менее 0,1мас.% можно отнести к слабо алмазоносным кимберлитам.

Количество проанализированных зерен минералов фиксируется линиями по горизонтальной оси X. Одна линия соответствует одному зерну, и последняя цифра по оси X соответствует количеству проанализированных зерен минерала. Это предоставляет геологу возможность наглядно оценить минералогический тип кимберлита, определить его генетическую особенность и косвенно оценить содержание алмазов в конкретном блоке кимберлитового тела. Таким образом, тип кимберлитовой пробы, который представлен на графиках, можно классифицировать по минералогическим особенностям, опираясь на преобладающие парагенезисы в четырех группах минералов.

Предложенный комплекс диаграмм можно назвать минералого-геохимическим паспортом (Q-R кодом) кимберлита, позволяющим зафиксировать физико-химические параметры его минерагенезиса.

Список литературы:

1. Герни Д., Мур Р. Геохимическая корреляция между минералами кимберлитов и алмазами Кратона Калахари // Геология и Геофизика. – 1994. – № 3. – С. 12–24.
2. Иванов А. С. Пузырьковые диаграммы составов пиропов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2020. – С. 343–346.
3. Dawson J. B., Stephens W. E. Statistical classification of garnets from kimberlites and xenoliths // Journal of Geology. – 1975. – V. 83, № 5. – P. 589–607.
4. Mitchell R. H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology. New York : Plenum Press. – 1986. – P. 442.
5. Stephens W. E., Dawson J. B. Statistical comparison between pyroxenes from kimberlites and their associated xenoliths // Journal of Geology. – 1977. – V. 85, № 4. – P. 433–449.

Иванова И. И.
АО «СНИИГГиМС», г. Новосибирск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДА РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ПОЛЕВЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ 3D-МОДЕЛИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОБЪЕКТА С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ЕГО ПЕРСПЕКТИВНОСТИ

При разведке медно-порфировых месторождений наиболее часто применяемыми геофизическими методами являются аэро- и наземная магниторазведка, съемка с вызванной поляризацией и радиометрические методы. В статье оценивается эффективность применения как вышеперечисленных, так и других методов применительно к исследованиям локального и регионального масштабов; прогноз рудоносности как по каждому геофизическому методу, так и при их комплексировании. В работе показана верификация результатов моделирования измерений на основе методов, выбранных в полевых условиях.

Ключевые слова: медно-порфировые месторождения, геолого-геофизическое моделирование, электроразведка, магниторазведка, планирование полевого эксперимента.

Введение. Общеизвестно, что медно-порфировые месторождения структурно контролируются, т. е. при их поисках и выявлении параметров важно выявить региональные и локальные системы разломов и литологическую разность пород. Различие в литологии обуславливает раз-

личные физические свойства пород. Поэтому для обнаружения и картирования геологических объектов применяют геофизические исследования различных вариаций. Как правило, используется стандартный набор методов, включающий наземную и аэромагниторазведку, электроразведку, гравиразведку. В качестве альтернативного подхода к такому способу проведения работ разработан метод проектирования полевого эксперимента, который включает в себя моделирование месторождения как системы геолого-геофизических параметров с таким выбором, который обеспечивает оптимальное решение поставленной задачи и экономическую целесообразность. Такой подход позволит повысить эффективность применения геофизических методов как с точки зрения качества данных, так и с точки зрения экономии финансовых и временных затрат.

В работе представлено применение данной технологии на месторождении Эрдэнэт, являющемся одним из крупных медно-молибденовых месторождений мира, введенным в эксплуатацию совместно Монголией и СССР в 80-х годах прошлого века.

Эрдэнэтская рудовмещающая структура, приуроченная к зоне разломов, уже достаточно детально изучена геофизическими методами и бурением до глубин 300–400 м. В настоящее время недропользователей интересует геологическое строение на более значительных глубинах. По двум участкам работ – «Центральном» и «Шанд – автором статьи ранее уже строились трехмерные геолого-геофизические модели [1] с привязанными базами данных в виде геологических блоков строения и распределения петрофизических параметров в объеме. В данной работе показан метод проектирования полевого эксперимента на основе применения большого объема априорных данных и математического моделирования, а также верификация его применения на основе полевых измерений.

Основной текст. Метод заключается в создании объемной реконструкции геологического строения и геофизической картины по каждому типу геофизических измерений. Далее на такой основе строится сеть наблюдений с оценкой аномального эффекта и разрешающей способности метода. Выбирается самый экономически целесообразный вариант измерений, позволяющий решить поставленную задачу.

Первый этап проектирования оптимальных по эффективности полевых работ заключается в построении корректной геолого-геофизической модели. Для построения такой модели необходимо архивные материалы перевести в современный формат данных. Прежде всего использовались материалы по геологии района и геофизические данные, в том числе информация по геофизическому исследованию скважин (КС и ГК), а также результаты наземных геофизических съемок методами ВЭЗ-ВП и магниторазведки.

В качестве эталона применения данного метода используется наиболее изученный в Эрдэнэтском рудном узле участок работ Центральный.

Геологическая модель. Рудное тело Центрального участка локализовано в узкой зоне кварц-серицитовых метасоматитов, развитых в месте пересечения главного нарушения и оперяющих его нарушений более высоких порядков. Размеры рудного тела – 350 х 2000 м, простирание северо-западное. Естественными границами оруденения являются неизмененные гранитоиды. Рудное тело оконтурено по вариантам бортовых содержаний меди 0,2 %, 0,25 %, 0,3 %. Оно является очень компактным, его границы при разных вариантах бортового содержания практически совпадают и имеют общую конфигурацию как в плане, так и на разрезах. Падение рудного тела северо-восточное под углами 80–85° в целом совпадает с залеганием штокообразных тел гранодиорит-порфиров, что подтверждается скважинами, пройденными в юго-восточной части рудного поля, которые в верхней части разреза вскрыли метасоматиты по гранодиорит-порфирам с промышленным оруденением, в нижних же горизонтах вошли в слабо измененные безрудные породы. В скважинах, пройденных в северо-восточной части рудного поля, отмечается обратная закономерность, т. е. в верхней части наблюдаются гранодиориты, а ниже вскрываются рудные метасоматиты. Все вышеизложенное свидетельствует о том, что рудное тело морфологически представляет собой пластину с довольно четкими контактами. Необходимо отметить, что в строении краевых частей рудного тела отмечается характерная закономерность. В скважинах, расположенных в юго-западной части (лежачий бок), отмечается заметное преобладание пирита над халькопиритом, а в северной части (висячий бок) преобладает

халькопирит. Верхняя граница рудного тела фиксируется на глубине 30–60 м от поверхности. Над ним развита зона окисления и выщелачивания. В самом рудном теле наблюдается вертикальная зональность. Верхняя часть представлена зоной вторичного сульфидного обогащения, а нижняя – первичными рудами. На Центральном участке зона вторичного обогащения развита слабо. Мощность ее составляет 10–78 м. На глубинах 80–130 м от поверхности она постепенно сменяется первичными сульфидными рудами. Граница первичных и вторичных сульфидных руд неровная и нечеткая. Характер минерализации прожилково-вкрапленный, преимущественно вкрапленный.

Геоэлектрическая модель. На Центральном участке много лет производились электроразведочные работы методом ВЭЗ-ВП, ВП-СГ и каротажные исследования скважин методом кажущегося сопротивления. В результате создана база данных первичных материалов электроразведки. Результаты измерений заново обработаны и получена геоэлектрическая модель, которая представлена на рис. 1. Видно, что «рудный коридор» уверенно фиксируется методами электроразведки. Зона разлома визуально отчетливо выделяется пониженным сопротивлением – от 200 Ом·м у поверхности до 1000 Ом·м на глубине 500 м. Вмещающая среда имеет высокий показатель – 2000 Ом·м. К ней примыкает зона повышенной поляризуемости. Изоповерхность с поляризуемостью 3,5 % окружает зону разлома (в), а более высокие значения приурочены к границе пород с высокими и низкими показателями сопротивления (г). Проектирование сети наблюдений ведется с учетом геологических требований к решению задачи. Сеть наблюдений проектировалась с учетом пожеланий недропользователя, которого интересовало глубинное строение рудных зон с выявлением подводящих каналов на площади, расположенной южнее Центрального участка.

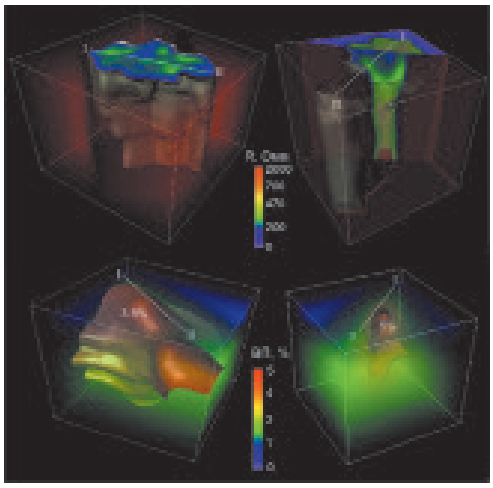


Рис. 1. Геоэлектрическая модель Центрального участка месторождения Эрдэнэт

Магниторазведочные работы как в аэро-, так и в наземном варианте там уже неоднократно выполнялась. На основе анализа данных измерений и объемной магнитометрической модели сделаны выводы о том, что эффективный шаг измерений составляет 20 м по профилю, оптимальное расстояние между профилями составляет 100 м. Также рекомендуется многоуровневая по высоте магнитометрическая съемка, позволяющая построить качественную трехмерную модель.

Выполнение работ методом импульсной индуктивной электроразведки в данном районе осложняется следующими условиями: быстрым затуханием переходных процессов, изменением электрических свойств горных пород в случае трещиноватости и распределения растворов, влиянием эффектов индукционно вызванной ВП. Учет данных факторов и выбор методики выполнения полевых работ, при котором влияние помех минимально в конкретных геологических условиях, позволил определить оптимальные параметры системы измерений. Пороговый уровень аномалии от поискового объекта принят в 20 %. Модель, для которой проводился расчет, представлена на рис. 2. Перспективной является зона трещиноватости и метасоматических изменений, понижающая удельное электрическое сопротивление среды с 2000 Ом·м до 300–800 Ом·м, в сечении ширина зоны составляет 200–2000 м, глубина от 30 до 3000 м.

При выборе сети измерений учитывалось, что основные затраты времени, а следовательно и средств при выполнении геофизических работ методом ЗСБ заключаются в размотке генераторного контура. Вопрос экономической целесообразности обычно решается путем увеличения расстояния между питающими петлями, иногда с добавлением приемных пунктов измерений между ними. С помощью математического моделирования оценено влияние расстояния от центра генераторного контура до центра поискового объекта в заданных условиях. Использовалась следующая схема наблюдения: источник размером 500 × 500 м, с силой тока 100 А; приемник с моментом 10 000 м^2. Расположение пунктов наблюдения показано на рисунке 3(В). На разрезах кажущегося сопротивления мы увидим поисковые зоны немного смещенными и значительно более слабыми по амплитуде (см. рис. 2). Отличить субвертикальную зону метасоматических изменений с шириной 2 км и сопротивлением 800 Ом·м от зоны с шириной 4 км, представленной габбро-диоритами с сопротивлением 1000 Ом·м при рассмотрении кажущегося сопротивления сложно, так же, как и выделить объекты с простиранием 300 м. Результаты моделирования показывают, что локальные объекты с повышенной проводимостью выглядят менее контрастными и смещаются относительно реального положения. Для получения высокоразрешающего разреза по верхней части необходимо использовать генераторные петли размером 100 × 100 м с шагом наблюдения 20 м. Чтобы проследить глубинное погружение низкоомных зон и определить их параметры, необходимо сгущать сеть наблюдения так, чтобы хотя бы одна петля генератора и три–пять приемных контуров находились непосредственно над объектом, т. е. шаг зондирований должен составлять максимум 500 м, при расстоянии между генераторными контурами 1,5 км.

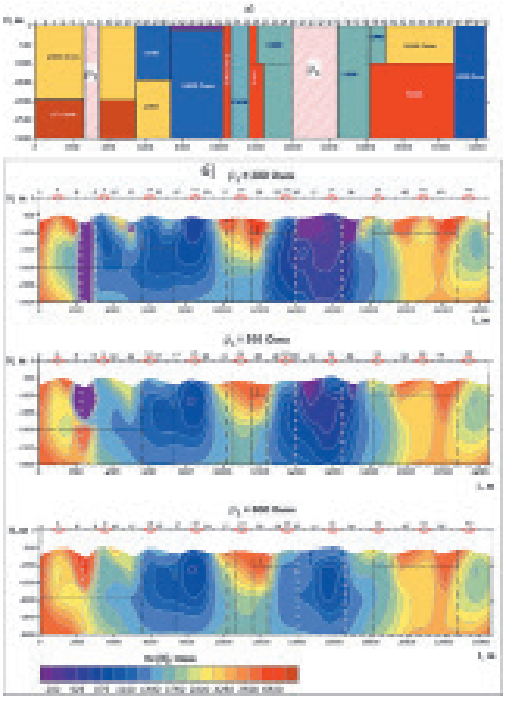


Рис. 2. Оценка разрешающей способности и визуализация кажущегося сопротивления при разных значениях проводимости перспективной области

На основании вышеописанных расчетов разработано техническое решение по сети измерений. Оно заключается в реализации измерений ряда секущих рудный коридор профилей, позволяющих определить параметры глубинного строения и выявить подводящие каналы. На участке Оюут необходимо провести минимум три секущих профиля, один из которых проводится до восточного контура площади. Для участков «Промежуточный» и «Турмалиновый» необходимо выполнить по одному секущему профилю. Через все вышеописанные профили предлагается провести еще один меридиональный, который соединит их в единый массив. Размеры оптимального генераторного контура для изучения глубинного строения составляют 500 × 500 м, расстояние между профилями – 1500 м, сила тока в генераторном контуре 100–150 А. Для верхней

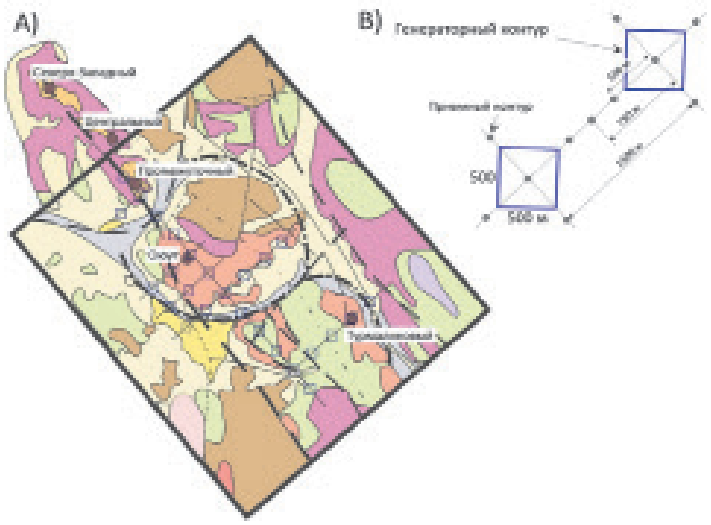


Рис. 3. Предлагаемая схема отработки ЗСБ: А – план отработки на поисковом участке, В – параметры системы измерений

части разреза предлагается использовать генераторные контуры 100 х100 м с шагом измерений между приемниками 50 м. Силу тока следует понизить до 20–30 А. Также рекомендуется сгущение сети с генераторными контурами в зонах локального понижения сопротивления. Расстояние между центрами генераторных петель там составит 500 м, между приемными – 100 м.

На основе результатов моделирования выполнены полевые исследования. В силу временны́х и погодных условий выполнены не все запланированные измерения (рис. 4). А именно: не сделаны выносные зондирования, секущие профиль, необходимые для трехмерного моделирования [2], а также детализационная съемка в аномальных зонах и зондирование ВЧР. Небольшая часть измерений не использовалась для верификации расчетов (участок Оюут) из-за низкого качества полевых измерений. Тем не менее, данных достаточно для того, чтобы оценить эффективность предварительного моделирования полевого эксперимента и рекомендовать дальнейшие виды работ.

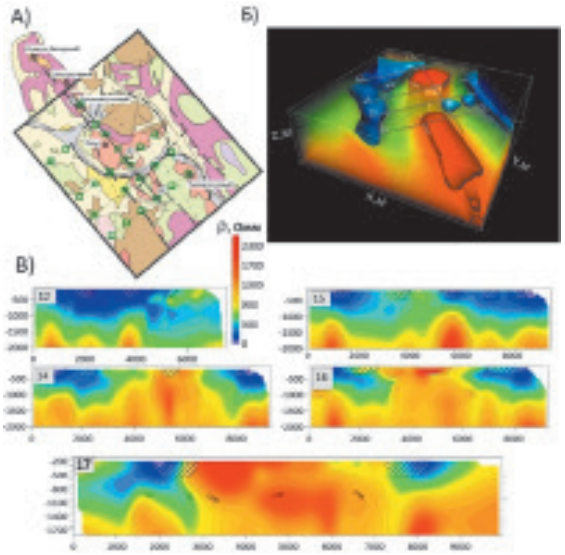


Рис. 4. Результаты полевых исследований

Верификация. Сопоставляя данные, полученные при помощи математического моделирования и в ходе полевых измерений, можно сделать вывод о том, что полученный уровень сигнала соответствовал расчетному значению. Низкоомную аномалию, на контакте которой расположено большинство рудных тел, отчетливо видно, так же, как и неизмененный высокоомный блок

пород в центре площади. За счет того, что расстояние между центрами генераторных контуров составило более 2 км и не сделаны рассечки по профилю, определить точное местоположение глубинных подводящих каналов не представляется возможным. В общих же чертах геологическое строение территории определяется в соответствии с предварительным моделированием.

Результаты. Систематизирована и проанализирована информация по рудному коридору месторождения Эрдэнэт-Овоо в Монголии. Уточнена модель медно-порфировых месторождений Эрдэнэтского района по результатам априорных геолого-геофизических данных и заверочных работ. Определен оптимальный комплекс геолого-геофизических исследований на перспективных участках. Полевые эксперименты, проведенные с использованием построенных моделей, показывают высокую достоверность и позволяют на основе предполагаемого модельного аномального эффекта от поискового объекта выбирать наиболее эффективные методы измерений и рационализировать планирование геологоразведочных работ.

Список литературы:

1. Иванова И. И., Гурьев В. А., Долгушин А. П. Построение интегрированной геолого-геофизической 3D-модели медно-молибденового месторождения порфирового типа // ГеоЕвразия. – 2021. – Т. 1. – С. 156–163.
2. Абрамов М. В., Тригубович Г. М. Адаптивная система наблюдений для 3D электроразведки // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 2, 3. – С. 9–14.

Иващенко Я.
НИТУ «МИСиС»

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье рассматривается применение искусственного интеллекта (ИИ) в горнодобывающей промышленности, возможности использования ИИ для автоматизации процессов, прогнозирования, улучшения безопасности и снижения экологического воздействия. Также обсуждаются возможные риски и социальные проблемы, связанные с использованием ИИ в горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, горнодобывающая промышленность, автоматизация, прогнозирование, безопасность, экологическое воздействие.

Современная горнодобывающая промышленность сталкивается с необходимостью повышения эффективности и снижения затрат на производство. Одним из способов достижения этой цели является применение искусственного интеллекта (ИИ) в горнодобывающей промышленности. ИИ может быть использован для автоматизации процессов, повышения точности прогнозирования, улучшения безопасности и снижения экологического воздействия.

Одним из наиболее важных применений ИИ в горнодобывающей промышленности является автоматизация процессов. С помощью ИИ можно создать автоматические системы управления горными работами, которые могут контролировать процессы добычи и переработки полезных ископаемых. Это позволяет уменьшить риски для работников и повысить производительность.

Искусственный интеллект также может быть использован для прогнозирования. С помощью алгоритмов машинного обучения можно создать модели, способные предсказывать изменения в качестве руды и других параметрах, которые влияют на производительность. Это позволяет оперативно реагировать на изменения в процессах добычи и переработки и принимать решения, которые способствуют повышению эффективности.

В горнодобывающей промышленности возможно применение искусственного интеллекта для повышения уровня безопасности. С помощью ИИ можно создать системы контроля, которые могут выявлять наличие опасных условий на рабочих местах и предотвращать возникновение аварийных ситуаций. Это позволяет снизить риски для работников и повысить безопасность производства.

ИИ также может быть использован для снижения воздействия горнодобывающей промышленности на экосистемы. С помощью ИИ можно создать системы контроля, которые могут определять уровень выбросов и других параметров, влияющих на окружающую среду. Это позволяет контролировать экологические риски и принимать меры для снижения воздействия на окружающую среду.

Применение искусственного интеллекта в горнодобывающей промышленности может привести к значительному повышению эффективности и снижению затрат на производство. ИИ может быть использован для автоматизации процессов, прогнозирования, улучшения безопасности и снижения экологического воздействия. Однако необходимо учитывать, что использование ИИ может создавать новые риски и вызывать социальные и экологические проблемы. Поэтому необходимо проводить дополнительные исследования и разрабатывать меры для минимизации рисков.

Ивлева Е. А., Пак Н. Т.
Институт геологии НАН КР, г. Бишкек

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ И КРУПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В КЫРГЫЗСТАНЕ

В Кыргызстане имеется около 100 месторождений золота, в том числе крупные и суперкрупные. По времени формирования выделяется несколько этапов, основными из которых являются палеозойские. Приводится краткий обзор этих этапов, геодинамическая обстановка, примеры месторождений с описанием нескольких крупных объектов.

Ключевые слова: Тянь-Шань, геодинамическая обстановка, интрузия, возраст, запасы.

Кыргызстан расположен в Тянь-Шаньской горной системе, входящей в состав Урало-Монгольского складчатого пояса. По особенностям геологического строения Тянь-Шань делится на Северный, Срединный и Южный Тянь-Шань, которые отделены друг от друга сутурами древних океанических палеобассейнов (рисунок).



Месторождения золота в Кыргызстане:
Сев.Т-Ш – Северный Тянь-Шань, Ср.Т-Ш – Срединный Тянь-Шань, Юж.Т-Ш – Южный Тянь-Шань

Металлогения золота определяется сложным и многоэтапным геодинамическим развитием этой территории. В последние годы появились новые датировки возраста магматизма и рудообразования, которые позволили несколько по-иному ранжировать золотое оруденение Кыргызстана. По времени формирования месторождений золота выделяется несколько основных этапов.

В докембрии известны два золоторудных месторождения – Джамгыр и Бекбулактор, расположенные в Северном Тянь-Шане. Месторождение Джамгыр золотокварцевого типа находится

в среднерифейских гранитоидах Бешторского комплекса. U-Pb возраст гранитов по циркону составляет 815 ± 6 млн лет, а Ar-Ar датировка мусковита из ореолов изменения золотоносных кварцевых жил в гранитах – 804 ± 3 и 805 ± 3 млн лет [9].

Месторождение Бекбулактор представляет собой минерализованную зону, сложенную золотоносными кварц-полевошпатовыми и кварц-серицитовыми метасоматитами в среднерифейских гранитоидах Оттукского массива Сарыджазского комплекса, который является аналогом вышеупомянутого Бешторского комплекса [6].

В докембрийских породах известны также несколько зон с повышенным геохимическим фоном золота, особенно в углеродистых отложениях.

Є–O_2. Золотоносность данного этапа широко проявлена в Северном Тянь-Шане и связана с субдукционными процессами, приведшими к образованию островодужных комплексов [1, 2].

В среднем ордовике известково-щелочной островодужный магматизм привел к формированию большой группы золото-медно-порфировых месторождений в Таласском регионе. Месторождения, как правило, размещаются в небольших порфировых субинтрузиях и во вмещающих вулканогенно-осадочных образованиях ордовика. К ним относится крупное **месторождение Талды-Булак** с запасами и ресурсами около 250 т золота и 750 тыс. т меди, месторождения Андаш, Узунбулак и др. К этой же золото-порфировой системе приурочен и ряд удаленных скарновых месторождений (Тохтонысай, Акташ и др.) [3]. Все эти месторождения принадлежат к порфировой мантийно-коровой рудообразующей системе с комбинированными источниками рудного вещества.

На окраине этой островной дуги было сформировано крупное золотокварцевое **месторождение Джеруй** с запасами около 90 т и средним содержанием 6,5 г/т, которое является не совсем типичным для порфировых систем. В строении месторождения принимают породы ортотауской свиты (R_2*or*), которые представлены кварцево-слюдистыми гнейсами, мигматитами, известковистыми сланцами. Они прорываются кварцевыми диоритами и монцодиоритами, имеющими U-Pb возраст (O_2) по циркону 462,2–466,9 млн лет [7], и серией разновозрастных даек различного состава. Более 90 % запасов находятся в пределах интрузивных пород – кварцевых диоритов и монцодиоритов. Рудные тела представляют собой штокверковые зоны, сложенные кварцевыми жилами и прожилками, сопровождающиеся кварц-калишпатовыми метасоматитами и березитами.

O_3–S. Этот этап в Северном Тянь-Шане характеризуется внедрением крупных коллизионных гранитоидных батолитов (O_3) и более мелких постколлизионных интрузий лейкогранитов, сиенитов и монцонитов (S). Золотая минерализация, связанная с этими интрузиями, концентрируется в основном в Актюз-Боординском рудном районе, в Кунгейском хребте, реже встречаются мелкие рудопроявления в Кыргызском хребте.

Месторождение Талды-Булак Левобережный является самым крупным месторождением этого возрастного интервала с запасами до 130 т при средних содержаниях 6–7 /т. Оно имеет многостадийное развитие, но основное промышленное оруденение было сформировано в условиях постколлизионной активизации в силурийское время. Месторождение располагается в крупной зоне смятия. В его строении участвуют докембрийские породы, сложенные амфиболитами, биотит-амфиболовыми и хлорит-амфиболовыми сланцами, мигматитами, слюдистыми гнейсами. Эти породы прорываются дайками, мелкими штоками и силлами монцодиоритов и сиенит-порфиров, U-Pb возраст по циркону составляет 440 млн лет (S), а Re-Os возраст золотоносного пирита – 434 млн лет [12]. Золотое оруденение сопровождается метасоматическими изменениями: березитизацией интрузивных образований, сланцев, гнейсов, мигматитов и лиственитизацией амфиболитов. Затем формируются кварц-турмалиновые метасоматиты в апикальных частях монцодиоритов и сиенит-порфиров с золото-пирит-халькопиритовой минерализацией. В рудах месторождения содержание сульфидов составляет 12–15 %. Основной минерал – пирит – является главным минералом-концентратом золота.

D–C. Золотое оруденение этого возраста наиболее развито в Срединном (Чаткальский регион), реже в Северном и Южном Тянь-Шане (Туркестано-Алай). В Северном Тянь-Шане в этот период сформировался ряд месторождений и рудопроявлений в обстановке активной континентальной окраины – Мироновское (D_2), Куранджайляу (C_2) и др.

В Срединном Тянь-Шане наиболее богатое золотое оруденение формировалось при субдукционных процессах в Бельтау-Кураминском окраинно-континентальном вулкано-плутоническом комплексе, где в корово-мантийной золотообразующей системе выделяются два типа месторождений: плутоногенные и вулканогенные. Для плутоногенных месторождений карбонового возраста наиболее характерна золото-медно-сульфидная минерализация в скарнах (Бозымчак, Каратюбе, Кичисандык, Куру-Тегерек и др.) и золотокварцевая минерализация в метасоматически переработанных гранитоидах (крупное **месторождение Ункурташ** с запасами и ресурсами 125 т золота и Андагул) и вмещающих их породах (Иштамберды). Вулканогенная золоторудная минерализация на территории Кыргызстана проявлена слабо, известны лишь мелкие месторождения золота в вулканитах девона и карбона (Кызылташ, Малаташ и др.).

Месторождение Ункурташ имеет запасы и ресурсы 150 т золота при среднем содержании 2–3 г/т. Оно относится к золотокварцевой формации и сформировано в условиях активной континентальной окраины. Золотое оруденение находится в гранодиоритах Андагульского массива (306,9 ± 2,3 [8]; 305,1 ± 2,7 млн лет [11]), который прорывает кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты семизсайской свиты (PR_1?) и алевролиты, туфопесчаники, туфы дацитов арчаконушской свиты (D_1). Гранодиориты секутся несколькими разломами СВ простирания, вдоль которых развиты гидротермальные изменения: калишпатизация, окварцевание, каолинизация, березитизация, пропилитизация. На месторождении выделено несколько минерализованных зон. Наиболее мощной и богатой является минерализованная зона «Основная». Ее протяженность – 1150 м, мощность – 100 200 м, глубина по падению – 600 м. Гранодиориты пронизаны кварц-полевошпатовыми жилами и прожилками мощностью 1–10 см, в которых находится основная часть золота, повышенные содержания обнаруживаются и вне жил. Рудные минералы представлены золотом, пиритом, молибденитом, антимонитом, арсенопиритом, шеелитом.

В Южном Тянь-Шане лишь несколько золоторудных объектов приурочены к малым гранитоидным интрузиям карбона и андезито-базальтам ($D–C_1$).

$P–T_1$. В этот интервал на всей территории Тянь-Шаня происходили коллизионные процессы, связанные с закрытием Палеоазиатского океана и последующей постколлизионной тектоно-магматической активизацией на всей территории Тянь-Шаня. На этом этапе образовалось большое количество разнообразных золоторудных месторождений в Срединном и Южном Тянь-Шане, гораздо меньше в Северном Тянь-Шане.

Месторождением пермского возраста в Северном Тянь-Шане является золотокварцевое малосульфидное месторождение Солтон-Сары.

В Срединном Тянь-Шане известен ряд крупных месторождений и рудопроявлений, связанный с постколлизионными процессами. Благодаря ремобилизации рудного вещества из вмещающих черносланцевых толщ и привносу золотосодержащих гидротерм с глубины в это время было сформировано гигантское месторождение Кумтор в Срединном Тянь-Шане. Возраст гранитной интрузии, вскрытой скважиной в районе месторождения, составляет 292 ± 3 млн лет [4], а возраст околорудного серицита – 284–288 млн лет [10]. Наиболее крупными объектами в скарнах на контакте с пермскими интрузиями являются **месторождение Макма**л с запасами золота 80 т и Кумбель.

Месторождение Кумтор относится к суперкрупным месторождениям золота в черных сланцах. Запасы месторождения оценивались в 717 т при среднем содержании 4,4 г/т [5]. В последнее десятилетие запасы и ресурсы в Кумторском рудном поле увеличены до 1000 т. Пермский этап постколлизионной тектоно-магматической активизации явился основным для формирования промышленного оруденения золота. Оруденение локализуется в породах джетымской серии венда, сложенной алевролитами, тиллоидами, углеродистыми и кремнистыми сланцами, филлитами, ритмитами карбонат-сланцевого состава. Основной рудовмещающей формацией являются углеродсодержащие породы с рассеянной пиритовой минерализацией. Золотая минерализация сопровождается кварц-калишпатовыми, кварц-альбитовыми и кварц-карбонатными метасоматитами. В них развит золотоносный пирит в виде гнезд, прожилков и вкрапленности. Около 90 % всего золота приурочено к гидротермальному пириту, остальное находится в кварце, карбонате, полевом шпате, шеелите. Золото в рудах находится в самородном, тонкодисперсном

виде и в форме теллуридов золота. Рудные тела образуют штокверки и минерализованные зоны. Перспективы всего Кумторского рудного поля нами оцениваются в 2000 т золота.

В Чаткальском секторе Срединного Тянь-Шаня большее значение имеют золото-антимонитовые месторождения. На некоторых из них выявлена связь оруденения с пермскими интрузивными комплексами (сиенитами, диоритами, гранитами) (крупное **месторождение Чаарат**, Терекканн и др.), на других интрузивные тела этого возраста не обнаружены (Терек, Кассан, Чапчама).

Большая часть известных в Южном Тянь-Шане промышленных золоторудных месторождений образовалась в пермское время, и основная их часть сосредоточена в Туркестано-Алайском секторе. Чаще всего месторождения приурочены к эндо- и экзоконтактовым зонам (в том числе скарнам) вокруг гранитоидных и сиенит-монцонитоидных массивов, прорывающих карбонатно-терригенные, реже вулканогенные и углеродистые толщи среднего-позднего палеозоя (месторождения Алтын-Джилга, Ничкесу, Апрельское, Караказык, Джангарт и др.). Крупное **месторождение Чалкуйрук-Акджилга** с запасами и ресурсами более 100 т. Золото содержится в кварц-карбонатных жилах и в скарнах. Небольшая группа месторождений располагается в метаморфических сланцах нижнего палеозоя, прорванных пермскими интрузиями (Тохтазан, Акджол, Курпсай). На этих месторождениях развито золотокварцевое, золотосульфидное, золото-сульфидно-сульфосольное, золоторедкометалльное и золото-сурьмяно-полиметаллическое оруденение. Существует также ряд месторождений, которые оторваны от породивших их интрузий на большие расстояния, такие месторождения часто находятся среди среднепалеозойских терригенных и карбонатных отложений и контролируются крупными зонами разломов (месторождения Савоярды, Иркеташ, Каракала и др.). Иногда золотосурьмяная минерализация развивается в меж- и внутриформационных джаспероидных залежах (месторождение Абшир). В Атбаши-Кокшальском секторе Южного Тянь-Шаня наиболее значимыми месторождениями являются кварц-сульфидные жильные месторождения Джангарт и Тоголок, а также скарновое месторождение Каратор.

J–K. В Южном Тянь-Шане известно несколько небольших коренных проявлений золота данного периода в Ферганском, Алайском и Заалайском хребтах. Это либо кварцевые жилы с сульфидами, либо окварцованные и сульфидизированные зоны дробления среди юрских и меловых отложений [5].

Таким образом, на такой ограниченной территории сформировано многочисленное разнотипное, разновременное золотое оруденение в связи с различными геодинамическими процессами – субдукционными, коллизионными, а также с внутриплитной тектоно-магматической активизацией.

Список литературы:

1. Геодинамика и оруденение Тянь-Шаня (Кыргызстан) / отв. ред. А. Б. Бакиров – Бишкек : Илим, 2014. – 280 с.
2. Дегтярев К. Е., Рязанцев А. В., Третьяков А. А. [и др.]. Строение каледонид Киргизского хребта и тектоническая эволюция Северного Тянь-Шаня в позднем докембрии-раннем палеозое // Геотектоника. – 2014. – № 6. – С. 3–38.
3. Золоторудные месторождения Кыргызстана / Р. Д. Дженчураева, Н. Т. Пак, В. В. Никоноров, Е. А. Ивлева. – Бишкек : Институт геологии НАН КР, 2020. – 494 с.
4. Ивлева Е. А., Пак Н. Т., Асилбеков К. А., Скрзипек Э., Хаузенбергер К., Орозбаев Р. Т. Золотое оруденение в связи с пермским магматизмом восточной части Южного и Срединного Тянь-Шаня (Кыргызстан) // Вестник КРСУ. – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 180–191.
5. Никоноров В. В., Караев Ю. В.[и др.]. Золото Кыргызстана. В 2 кн. Кн. 1. – Бишкек : Наси, 2004. – 271 с.
6. Пак Н. Т. Золотоносные метасоматиты в раннерифейских гранитоидах Кыргызстана // Актуальные проблемы современной геологии и минерагении Казахстана. – Алматы, 2012. – С. 283–291.
7. Пак Н. Т., Ивлева Е. А., Шатова Н. В., Шатов В. В. Возраст интрузий табалыкского и джеруйского комплексов месторождения золота Джеруй (Кыргызстан) // Актуальные вопросы геологии, инновационные методы прогнозирования, добычи и технологии обогащения полезных ископаемых. – Ташкент, 2022. – С. 105–108.

8. Bo Zu, Chunji Xue, Guoxiang Chi, Nikolay Pak, Xiaobo Zhao, Xinli Wang. Age and petrogenesis of the Andagul granodiorite and its implications on gold mineralization of the Kassan region, western Kyrgyzstan Tian Shan // Ore Geology Reviews – 2018. –V. 101. – P. 54–73.
9. Konopelko D., Klemd R., Petrov S. V., Apayarov F. [et al.]. Precambrian gold mineralization at Djamgyr in the Kyrgyz Tien Shan: Tectonic and metallogenic implications // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 86. – P. 537–547.
10. Mao J., Konopelko D., Seltmann R., Lehmann B., Chen W., Eklund O., Usubaliev T. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercinian events in Tien Shan, Kyrgyzstan // Economic Geology. – 2004. – V. 99. – P. 1771–1780.
11. Zhao X., Xue C., Bo Zu [et al.]. Geology and Genesis of the Unkurtash Intrusion-Related Gold Deposit, Tien Shan, Kyrgyzstan // Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology. – 2022. – V. 117, № 5. – P. 1073–1103.
12. Zhao X., Xue C., Chi C. [et al.]. Multi-stage gold mineralization in the Taldybulak Levoberezhny deposit, Tien Shan, Kyrgyzstan // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 82. –P. 217–231.

Игнатов П. А.[1], **Еременко Р. У.**[1], **Васильев А. П.**[2], **Мальков А. А.**[2], **Мальцев М. В.**[2]
[1] МГРИ, г. Москва; [2] ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

ПРИЗНАКИ РУДОВМЕЩАЮЩИХ СТРУКТУР СЮЛЬДЮКАРСКИХ КИМБЕРЛИТОВ И НА ПОИСКОВОЙ ПЛОЩАДИ БЕСТЯХ НА СЕВЕРЕ МАЛО-БОТУОБИНСКОГО РАЙОНА

Ыгыаттинский алмазоносный район, включающий Сюльдюкарское поле, имеет близкое геологическое строение с Мало-Ботуобинским районом, на севере которого расположена поисковая на коренные месторождения алмазов площадь Бестях. Вмещающие кимберлиты карбонатно-терригенные породы нижнего палеозоя в обоих районах перекрыты угленосными отложениями карбона–перми, силлами и туфами пермо-триасовых траппов и юрскими терригенными морскими отложениями. Это определяет сложность ведения поисковых буровых работ. Приведены тектонические, флюидоразрывные и минералогические признаки кимберлитовмещающих структур. В результате их картирования выделены локальные участки, где вероятны алмазоносные тела кимберлитов.

Ключевые слова: алмазоносные районы и поля, палеотектонические рудовмещающие структуры, прогноз кимберлитов, флюидоразрыв.

Результаты исследований. Мало-Ботуобинский алмазоносный район является старейшим, в котором ведётся добыча алмазов в Якутии. На его севере в зоне влияния Западного регионального разлома находится поисковая площадь Бестях. В той зоне находятся месторождения алмазов в кимберлитовых трубках Интернациональная и имени XXIII съезда КПСС, трубки Амакинская и Таежная и дайка А-21. Ыгыаттинский алмазоносный район включает Сюльдюкарское поле с одноименным алмазоносным кимберлитом. Оба района расположены в Вилюйско-Мархинском среднепалеозойском дайковом поясе и имеют близкое геологическое строение. Карбонатно-терригенные породы нижнего палеозоя вмещают кимберлиты и являются объектом поискового бурения. Они перекрыты карбон-пермскими угленосными отложениями, включающими силлы и туфы пермо-триасовых траппов, и сверху – чехлом морских терригенных юрских отложений. Таким образом, районы являются закрытыми для проведения традиционных поисков алмазных месторождений. Поиски проводятся бурением, которое сопровождается шлихо-минералогическим опробованием по сети 500 × 500 и 250 × 250 м. На участке Сюльдюкарских кимберлитов сеть бурения составила 100 × 100 и 20 × 20 м. Для сравнения приведены результаты специального изучения керна разрезов кембрия практически всех поисковых скважин на сопоставимых по площади объектах: в центральной части Сюльдюкарского поля около 10 км^2 и на площади Бестях порядка 12 км^2.

В обоих районах тектонические деформации отражают три этапа, отличающиеся региональными напряжениями: докимберлитовый (растяжение), D_2; кимберлитовый (сжатие), D_3–C_1;

мезозойской (пермь–триас) тектоно-магматической активизации (растяжение). По аналогии с хорошо изученным Накынским полем, докимберлитовые нарушения выражены сбросами, тектоническими брекчиями и крутопадающими зеркалами скольжения. Этап внедрения кимберлитов отличается развитием взбросов, милонитов, межслоевых складок волочения, зон рассланцевания, зеркал скольжения с горизонтальными бороздами, субвертикальными сутурами и стилолитами, флюидовзрывными брекчиями базитов и карбонатного состава прожилками барита [1, 4]. Посткимберлитовые нарушения выражены прожилками битумов в породах нижнего палеозоя и угленосных песчаниках перми. Тектонические нарушения и узлы их пересечения маркируются прожилковым осветлением красноцветных пород кембрия [1].

Картирование признаков докимберлитового растяжения на рассматриваемых площадях показало наличие основных север-северо-западных разломов и оперяющих их северо-восточных. На площади Бестях установлены широтные структуры.

Картирование признаков сдвигов, в том числе контролирующих кимберлиты, показало развитие субширотно-северо-западных разломов и подновление субмеридиональных структур. Сюльдюкарские кимберлиты локализованы в узле пересечения ССВ и ЗСЗ разломов с ведущим значением субширотного взбросо-сдвига.

На участке с кимберлитами проведено картирование вторичной минерализации в виде кальцитов с красной фотолюминесценцией, интенсивной пиритизации и прожилкового осветления, а также флюидоразрывных брекчий и прожилков карбонатного состава. Выявлены асимметричные открытые на запад ореолы [3]. Именно здесь в наклонной скважине НС-1, пройденной зимой 2022 г., вскрыты прожилки порфирового кимберлита карбонатного состава (рис. 1). Представляется, что само тело таких предположительно высокопродуктивных кимберлитов должно располагаться в десятках метров южнее забоя этой скважины. Можно предположить, что его позиция аналогична полуслепой апофизе кимберлитов Ботуобинского месторождения Накынского поля.

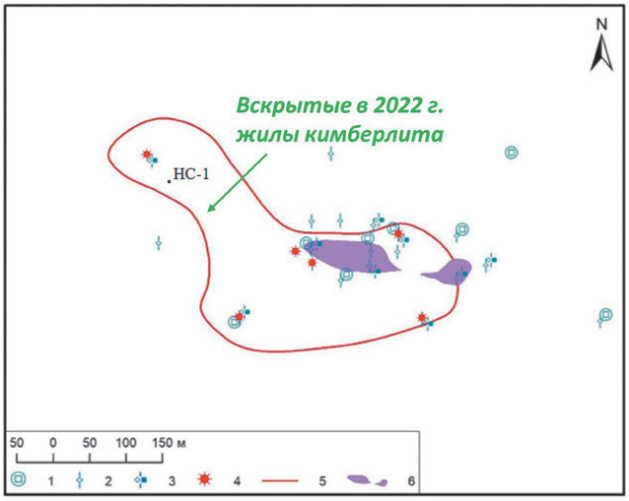


Рис. 1. Ореол красной фотолюминесценции прожилковых кальцитов на участке Сюльдюкарских кимберлитов

Картирование складок волочения и обрамляющих их зон рассланцевания выявило их кустовое распространение [2]. При этом кимберлиты в центральной части Сюльдюкарского поля локализованы в ареале кустов складок волочения. На площади Бестях предполагается фрагмент такой структуры центрального типа.

Картирование флюидоразрывных брекчий и прожилков карбонатного состава в центральной части Сюльдюкарского поля позволило наметить структуру центрального типа с радиусом 3–4 км с центром с кимберлитами. На участке кимберлитов эти образования слагают ореол в несколько размеров самих кимберлитов, который асимметрично вытянут вдоль рудовмещающего субширотного взбросо-сдвига. Это также подтверждает отмеченную выше вероятность присутствия кимберлитов на западном фланге участка.

Флюидоразрывные карбонатные брекчии и прожилки на площади Бестях по большей части локализованы в субмеридиональных и ЗСЗ сдвигах. В скважине 62.651-115.85, расположенной в узле пересечения такого сдвига с субмеридиональным разломом, выявлены два интервала эндогенных брекчий с обломками различных нижнепалеозойских карбонатных осадочных пород и песчано-глинисто-карбонатным цементом. В одной из проб, отобранной с глубины 164 м, в цементе брекчии по ICP-AS, выполненному в ЦАЛ ВГРЭ, установлены повышенные содержания хрома (279,13 ppm) и бария (169,73 ppm). Это сопоставимо с концентрациями данных элементов в околотрубочном пространстве Сюльдюкарских кимберлитов.

В пределах площади Бестях найдены прожилки барита, серия которых маркирует отмеченный выше ЗСЗ сдвиг и узел его пересечения. Необходимо напомнить, что на всех алмазоносных телах кимберлитов Накынского поля, а также и в Сюльдюкарском поле, в околотрубочных ореолах имеются прожилки барита. Эти данные в совокупности с признаками сдвигов показывают картину, весьма близкую площади Накынского поля, в которой в швах Диагонального разлома локализованы алмазоносные трубка Ботуобинская и дайки Мархинского тела и Майского месторождения. Это служит основанием выделения на площади Бестях потенциально кимберлитоконтролирующей структуры ЗСЗ сдвига.

Анализ количественных характеристик и пространственного расположения разных цветов фотолюминесценции подтверждает (рис. 2) правильность локализации перспективной структуры на юго-западном фланге Бестяхской площади.

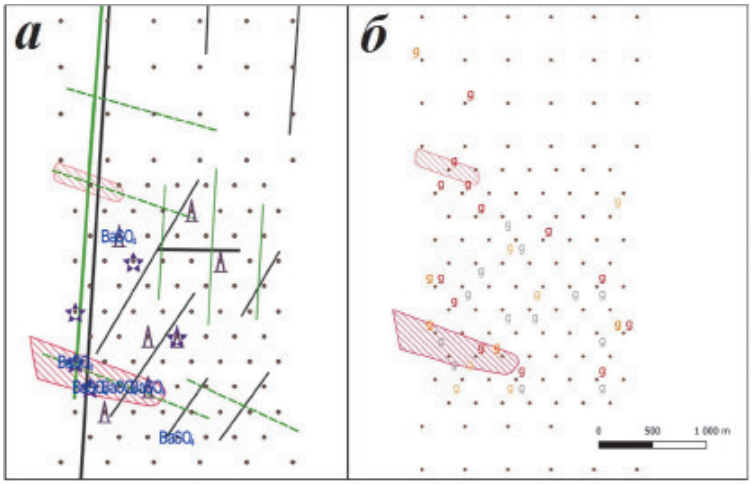


Рис. 2. Перспективные участки локализации на площади Бестях, выделенные на основании картирования признаков тектонических деформаций и флюидоразрывных нарушений (а) и цветов фотолюминесценции кальцитов (б)

Выводы. Выделение и картирование признаков сдвигов и флюидоразрыва, прожилкового осветления и баритовой минерализации в породах нижнего палеозоя по керну поисковых скважин позволяет выделять структуры, контролирующие и вмещающие кимберлитовые тела.

На участке Сюльдюкарских кимберлитов наклонная скважина подтвердила перспективы обнаружения на западном фланге кимберлитов. Более крупное тело предположительно высокопродуктивных кимберлитов предполагается в участке локального растяжения взбросо-свдиговой структуры.

В пределах поисковой площади Бестях Мало-Ботуобинского района локализована перспективная структура ЗСЗ сдвига и узел ее пересечения с субмеридиональным долгоживущим разломом.

Список литературы:

1. Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Ковальчук О. Е. Индикаторные свойства прожилкового осветления красноцветных отложений при прогнозировании и поисках кимберлитов : методическое пособие. – Мирный : АЛРОСА, 2022. – 155 с.

2. Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Новиков К. В., Толстов А. В. Складки волочения в осадочных породах, вмещающих кимберлиты Западной Якутии // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 83–92. – DOI: 10.47765/0869.\3.
3. Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Толстов А. В., Колесник А. Ю., Мальцев М. В. Гидротермальная минерализации в осадочных породах кембрия как индикатор рудовмещающей структуры кимберлитов Сюльдюкарского поля Якутии // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 93–105.
4. Игнатов П. А., Новиков К. В. Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя : методическое руководство. – Мирный, 2019. – 76 с.

Изох А. Э.
ФГБУ «ИГМ СО РАН», г. Новосибирск

ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВОГО МАГМАТИЗМА ЮГА СИБИРСКОГО КРАТОНА И СВЯЗАННОЕ С НИМ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГМ СО РАН.

Проведен анализ возрастных рубежей ультрамафит-мафитового магматизма юга Сибирского кратона включая Центрально-Азиатский складчатый пояс и связанного с ним медно-никелевого и ЭПГ оруденения. Показано, что мантийный магматизм проявился в широком возрастном интервале от палеопротерозоя до мезозоя в различных геодинамических обстановках. Наиболее продуктивными в отношении Cu-Ni-ЭПГ оруденения являются этапы внутриплитного магматизма, связанного с крупными изверженными провинциями, и особенно их центральные области. Другим важным условием Cu-Ni продуктивности является возможность коровой контаминации серой в промежуточных камерах.

Ключевые слова: ультрамафит-мафитовый магматизм, медно-никелевое оруденение, крупные изверженные провинции, LIP.

В России платиноносные ультрамафит-мафитовые интрузивы с Cu-Ni-ЭПГ оруденением известны на Кольском полуострове, в Карелии, в Сибири, на Дальнем Востоке и Камчатке. Для Кольского полуострова показано, что рудоносные массивы связаны с крупными изверженными провинциями (LIP). К таким примерам можно отнести Cu-Ni-ЭПГ месторождения ультрамафит-мафитовых интрузий (Мончегорский, Федорово-Панский, Пеникат, Койлисмаа, Киваккa, Луккулайсваара) Кольско-Карельского региона. Они связаны с двумя LIP – Мистассини и Матачиван [11]. Тесная связь Cu-Ni-ЭПГ оруденения наиболее ярко проявлена на примерах Сибирской, Таримской и Эмейшаньской LIP [3]. На юге Сибирского кратона и его складчатом обрамлении оценки рудоносности ультрамафит-мафитового магматизма изучаются на протяжении нескольких десятилетий [5, 7, 9, 11]. Показано что мантийный магматизм также проявился в широком возрастном интервале от палеопротерозоя до мезозоя. При этом он проявляется в различных геодинамических обстановках – в офиолитах, в островодужных или обстановках активных континентальных окраин, – однако и в этом случае наиболее продуктивными являются возрастные рубежи, связанные с крупными изверженными провинциями [6, 10].

Позднепалеопротерозойский этап (1880–1865 млн лет) рудоносного ультрамафит-мафитового магматизма проявлен на западе Алданского щита – чинейский комплекс (Чинейский, Луктурский и Верхне-Сакуканский массивы), в Селенгино-Становой зоне (габбро-анортозиты, Кенгурак-Сергачинский массив), Малозадойский массив Шарыжалгайского выступа), а также габброиды, предшествующие гранитоидам Саянского и приморского комплексов. Наиболее перспективными являются массивы чинейского комплекса, где на Рудном участке Чинейского массива разрабатываются медные руды с высокими содержаниями ЭПГ. Этот этап мантийного магматизма хорошо синхронизируется с близкими по возрасту (1880–1870 млн лет) дайковыми роями (Ghost swarm) и силлами (Morel sills, Mara River), которые отмечаются в Северной Канаде на Слейв кратоне [6, 10].

К следующему позднепалеопротерозойскому этапу (1700–1750 млн лет) относятся крупные интрузивы автономных анортозитов Алданского щита (Геранский, Лантарский, Каларский и Харагочинский) и аналогичные массивы на Хангае в Монголии (Муст-Ула, Олон-Худук и Ходжулингольский). К этому этапу, по-видимому, относится медно-никелевое месторождение Кун-Манье, расположенное в Зейском районе Амурской области.

Пока единственным примером позднемезопротерозойского этапа является Среднечеремшанский массив Шарыжалгайского выступа, с которым связано Cu-Ni оруденение. Возраст массива 1258 ± 5 млн лет, что позволяет коррелировать его формирование с крупной изверженной провинцией Маккензи в Канаде [11].

Неопротерозойскому этапу (725 млн лет) на юге Сибири отвечает формирование Йоко-Довыренского расслоенного массива в Северном Прибайкалье, сопровождающегося Cu-Ni оруденением (Озерное месторождение) и малосульфидной ЭПГ минерализацией [2]. В Шарыжалгайском выступе фундамента Сибирского кратона часть долеритовых даек северо-западного простирания (нерсинский комплекс) имеет тот же возраст. Аналогичный возраст получен Р. Эрнстом для слаборудоносного Верхнекингашского массива кингашского комплекса (225 млн лет) [6]. Следует отметить, что для Cu-Ni руд Кингашского массива установлены высокие содержания ЭПГ. В центральной части Восточного Саяна также установлены проявления ЭПГ-Cu-Ni сульфидных руд, связанных с ультрамафит-мафитовыми массивами [5]. На этой территории выделены три рудных узла (Барбитайский, Удинско-Бирюсинский и Бирюсинско-Тагульский). Для Тартайского массива получен возраст 718 млн лет [8] (Подлипский и др.), что позволяет относить его к этому же этапу. Синхронность возрастных данных и положение массивов позволяет сопоставлять их с Франклинской LIP Северной Лаврентии [6]

Ультрамафит-мафитовые интрузивы раннего палеозоя наиболее широко распространены в южном обрамлении Сибирского кратона. Некоторые из них соответствуют островодужному этапу (540–520 млн лет). Они ассоциируют с островодужными вулканитами в структурах Кузнецкого Алатау, Горной Шории, Восточного Саяна и Озерной зоны Западной Монголии. Несмотря на высокую магнезиальность некоторых интрузивов, значимых ЭПГ-Cu-Ni с ними не установлено. В то же время на аккреционно-коллизионном этапе (500–465) также широко проявлены ультрамафит-мафитовые интрузивы, с некоторыми из которых связаны ЭПГ-Cu-Ni рудопроявления. Особенно перспективными являются массивы, которые располагаются среди черносланцевых вмещающих пород (задуговых бассейнов). К таким примерам можно отнести массивы Нижнедербинского ареала (особенно Азертакский массив), Запевалихинский массив, а также Пограничный массив, с которым связаны Cu-Ni руды.

Для этого этапа на близком возрастном уровне и в одних и тех же районах фиксируются ультрабазит-базитовые и базитовые ассоциации различного типа: расслоенные низкотитанистые, низкощелочные, ультрабазит-базитовые интрузии; высокотитанистые, умеренно щелочные и щелочные габброиды, габбро-монцодиоритовые массивы и щелочно-базальтоидные ассоциации [4]. Это позволяет рассматривать этап 500–465 млн лет как своеобразное правление LIP, сопровождающееся аккреционно-коллизионными событиями.

Таким образом, большинство ЭПГ-Cu-Ni рудоносных интрузивов связано с проявлениями мантийного магматизма крупных изверженных провинций. Наиболее перспективными являются центральные области соответствующих провинций, а также области интерференции разновозрастных LIP. Наиболее перспективными рубежами являются позднепалеопротерозойский этап (1880–1865 млн лет) и неопротерозойской этап (725 млн лет). Важным условием Cu-Ni продуктивности являются высокие степени плавления литосферной мантии, а также возможность коровой контаминации серой в промежуточных камерах. Перспективными в отношении ЭПГ минерализации являются центральные области LIP.

Список литературы:

1. Арискин А. А., Костицын Ю. А., Данюшевский Л. В., Меффре С., Николаев Г. С., Мак-Нил Э., Кислов Е. В., Орсоев Д. А. Геохронология довыренского интрузивного комплекса в неопротерозое (Северное Прибайкалье, Россия) // Геохимия. – 2013. – № 11. – С. 955–972.
2. Добрецов Н. Л., Борисенко А. С., Изох А. Э., Жмодик С. М. Термохимическая модель

пермотриасовых мантийных плюмов Евразии как основа для выявления закономерностей формирования и прогноза медно-никелевых, благородно- и редкометалльных месторождений // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 9. – С. 1159–1187
3. Изох А. Э., Шелепаев Р. А., Егорова В. В. Эволюция базитового магматизма кембро-ордовикского коллизионного этапа Алтае-Саянской складчатой области (на примере Западного Сангилена) // Фундаментальные проблемы геологии и тектоники Северной Евразии. Тезисы докладов конференции. – Новосибирск : СО РАН, филиал «Гео», 2001. – С. 24–26.
4. Мехоношин А. С., Толстых Н. Д., Подлипский М. Ю., Колотилина Т. Б., Вишневский А. В., Бенедюк Ю. П. Платинометалльная минерализация дунит-верлитовых массивов Гутаро-Удинского междуречья (Восточный Саян) // Геология рудных месторождений. – 2013. – № 3. – С. 189–202
5. Мехоношин А. С., Эрнст Р. Е., Сёдерлунд У., Гамильтон М. А., Колотилина Т. Б, Изох А. Э., Поляков Г. В., Толстых Н. Д. Связь платиноносных ультрамафит-мафитовых интрузивов с крупными изверженными провинциями (на примере Сибирского кратона) // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 5. – С. 1043–1057.
6. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири / Под ред. Г. В. Полякова, В. И. Богнибова – Новосибирск : СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1995. – 151 с.
7. Подлипский М. Ю., Мехоношин А. С., Толстых Н. Д., Вишневский А. В., Поляков Г. В. Минералого-геохимические особенности Тартайского массива, Восточно-Сибирская металлогеническая провинция // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 3. – С. 195–220.
8. Поляков Г. В., Изох А. Э., Кривенко А. П. Платиноносные ультрамафит-мафитовые формации подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47 (12). – С. 1227–1241.
9. Поляков Г. В., Толстых Н. Д., Мехоношин А. С., Изох А. Э., Подлипский М. Ю., Орсоев Д. А., Колотилина Т. Б. Ультрамафит-мафитовые магматические комплексы Восточно-Сибирской металлогенической провинции (южное обрамление Сибирского кратона): возраст, особенности состава, происхождения и рудоносности // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54 (11). – С. 1689–1704.
10. Толстых Н. Д., Орсоев Д. А., Кривенко А. П., Изох А. Э. Благороднометалльная минерализация в расслоенных ультрабазит-базитовых массивах юга Сибирской платформы. – Новосибирск : Параллель, 2008. – 194 с.
11. Ernst R. E., Jowitt S. M. Large Igneous Provinces (LIPs) and metallogeny // Soc. Econ. Geol. Spec. Publ. – 2013. – V. 17. – P. 17–51.

Истомин В. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ НИЖНЕЮРСКИХ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В данной статье рассматриваются россыпи алмазов нижнеюрского возраста прибрежно-морского генезиса Сибирской платформы. Особенное внимание уделено условиям образования алмазоносных месторождений и участков с повышенным содержанием алмазов в пределах алмазоносного Муно-Тюнгского района.

Ключевые слова: плинсбах, свита, алмазы, россыпи.

С юрскими отложениями южной части Лено-Анабарского, западного склона Приверхоянского, восточных районов Ангаро-Вилюйского прогибов и северо-западного крыла Вилюйской синеклизы связана различная по масштабу промышленная алмазоносность. Как правило, промежуточные коллекторы концентрируются вблизи крупных перерывов и несогласий, обычно приуроченных к основаниям структурных подъярусов. Наиболее значимые из коллекторов связаны

с базальными горизонтами рэт-гетангских, титонских отложений в плинсбахских, тоарских, байос-батских и келловейских слоях [2].

Тюнгская свита (J_1tn) имеет широкое площадное распространение с юго-запада на северо-восток и приурочена к зоне сочленения Анабарской антеклизы и Вилюйской синеклизы, где повсеместно залегает непосредственно на нижнепалеозойском цоколе, на долеритах триаса, отложениях укугутской свиты или дьяхтарской толще, а также вскрыта многочисленными поисковыми скважинами и шурфами. Морские отложения тюнгской свиты относятся к категории алмазоносных формаций. По находкам в породах аммонитов *Amaltheus* и двустворок *Harpax laevigatus, Tanczedia bicarinata, Anradulonectites incertus, Aguilerella tiungensis,* возраст свиты датируется плинсбахом (Росгеолфонд. Геологический отчет № 487815, 2005. Л. 55–56).

Базальный горизонт укугутской свиты в районе Накынского поля является верхней залежью крупной промышленной россыпи алмазов Нюрбинская. С кимберлитовыми телами Накынского поля – коренными месторождениями алмазов – пространственно и генетически сопряжены погребённые мезозойские россыпи алмазов ближнего сноса в делювиальных, делювиально-пролювиальных, делювиально-коллювиальных образованиях карстовых воронок дьяхтарской толщи и в пролювиально-аллювиальных и озёрных отложениях укугутской свиты. Они относятся к разным геолого-промышленным типам, но рассматриваются как две промышленные залежи единой россыпи Нюрбинская.

Многоярусная гетерогенная россыпь Нюрбинская – уникальная по всем параметрам алмазоносная россыпь рэт-раннеплинсбахского возраста. Она является крупнейшей по размеру запасов алмазов в Российской Федерации. Россыпь относится к числу сложно построенных древних россыпей ближнего сноса минерагенической формации древних конгломератов. Она сформировалась в результате длительной денудации высокоалмазоносных кимберлитовых тел Накынского поля кимберлитов в континентальных условиях, переноса и переотложения алмазоносного материала, на первом этапе – в карстовых полостях в условиях тёплого влажного климата, на втором – в условиях аллювиально-озёрной равнины в умеренном климате. Основным поставщиком алмазов для россыпи являлась высокоалмазоносная кимберлитовая трубка Нюрбинская, в меньшей мере – все остальные кимберлитовые тела Накынского поля. Она имеет чётко выраженное двухъярусное строение. К нижнему ярусу относятся образования дьяхтарской толщи, а к верхнему – породы нижней части укугутской свиты (Росгеолфонд. Геологический отчет № 521881, 2015. Л. 73–74).

В бассейне р. Тюнг отложения тюнгской свиты, вскрытые шурфами разрезы на междуречье рек Далдын и Чимидикян максимальной мощностью 8 м, можно подразделить на две пачки: нижняя (7,0 м) сложена в основном алевритами с горизонтом (1,0 м) брекчиевидных конгломератов в основании; верхняя сложена песками и песчаниками светло-серыми преимущественно мелкозернистыми, часто косослоистыми. В кровле иногда отмечается линзовидный прослой (0,1–0,5 м) конгломератов, относящиеся к эйкской свите.

В прибрежно-морских осадках тюнгской свиты известные находки алмазов приурочены к базальным линзовидным телам конгломератов, гравелитов, реже гравелитистых песчаников, в составе которых отмечается повышенное количество зерен пиропов и пикроильменитов I–II классов износа, что может интерпретироваться как подпитка коллектора от коренных источников Верхне-Мунского кимберлитового поля среднепалеозойского возраста, чему свидетельствует находка гальки глиммеритового состава (Францессон Е. В., 1978 г.) в одном из шурфов на междуречье рек Далдын и Чимидикян (участок Лагерный).

Аномальный участок на р. Тюнг выше устья р. Чимидикян характеризуется своеобразием кристалломорфологических особенностей алмазов. Среди изученных кристаллов преобладают (42,4 %) типичные округлые алмазы уральского (бразильского) типа, в основном скрытослоистые (24,5 %). Суммарное содержание кристаллов октаэдрического (17,2 %), переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому (7,9 %) габитусов и ламинарных ромбододекаэдров (17,3 %) довольно высокое (42,4 %). Причем содержание индивидов октаэдрического габитуса также высокое (23,3 %) и в крупных классах, где они с ламинарными ромбододекаэдрами (23,3 %) превалируют над типичными округлыми кристаллами (16,7 %), что соответствует кимберлитовым трубкам Верхне-Мунского поля [1]. В правом небольшом притоке р. Тюнг, на участке Алексеевский,

найден алмаз весом 5 390 мг (или 26,95 карата), названный «Счастливая Находка», предположительно из «железистых галечников» нижнеюрского возраста, в которых были обнаружены и диагностированы двухстворки брахиопод и пелеципод (Беджиев Р. А.,1978 г.).

Все вышеприведенные данные дают основания по-новому подойти к перспективам потенциально-промышленной алмазоносности нижнеюрских морских отложений, широко развитых в непосредственной близости от алмазоносных кимберлитовых тел палеозойского возраста на Муно-Тюнгской и Муно-Моторчунской площадях.

Список литературы:

1. Граханов С. А., Шаталов В. И., Штыров В. А., Кычкин В. Р., Сулейманов А. М. Россыпи алмазов России. – Новосибирск : Академическое издание «ГЕО», 2007. – С. 48–49.

2. Мащак М. С., Кропачев А. П., Сотникова Г. Г., Сметанникова Л. И., Чеканов В. И., Оленникова Е. В. Легенда Анабаро-Вилюйской серии листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Объяснительная записка // Главный редактор М. С. Мащак. – СПб., 2009. – С. 128–129.

Казаков В. Ф.

ООО «Норникель Технические Сервисы», г. Санкт-Петербург

РАЗВЕДКА И РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАЛНАХСКОГО РУДНОГО УЗЛА

Основу сырьевой базы горнодобывающих предприятий ЗФ ПАО «ГМК “Норильский никель”» составляют сульфидные медно-никелевые руды трех месторождений: Норильск-1, Талнахского и Октябрьского. Месторождения ТРУ разрабатываются подземным способом, Октябрьское месторождение – рудниками Октябрьский, Таймырский. Комсомольский и Скалистый? Талнахское месторождение – рудниками Маяк, Комсомольский и Скалистый. С 2008 г. на месторождениях возобновлены разведочные работы, по результатам которых получен количественный и качественный прирост богатых и медистых руд.

Ключевые слова: Талнахский рудный узел, медно-никелевые руды, геологоразведочные работы.

Основу сырьевой базы горнодобывающих предприятий ЗФ ПАО «ГМК “Норильский никель”» составляют сульфидные медно-никелевые руды трех месторождений: Норильск-1, Талнахского и Октябрьского. Кроме сульфидных медно-никелевых месторождений компанией разведаны и разрабатываются месторождения каменного угля, подземных вод, строительных материалов, необходимых как для обеспечения основного производства цветных и благородных металлов, так и для обеспечения жизнедеятельности промрайона.

В состав Талнахского рудного узла (ТРУ) входят запасы медно-никелевых руд двух месторождений: Талнахского и Октябрьского. Руды месторождений представлены тремя промышленными типами: богатыми (массивными), медистыми (вкрапленные во вмещающих породах), вкрапленными в интрузиве. В зависимости от минералогического состава указанные типы руд на каждом месторождении имеют различные качественные показатели по содержанию цветных и драгоценных металлов. Месторождения ТРУ разрабатываются подземным способом, Октябрьское месторождение – рудниками Октябрьский, Таймырский. Комсомольский и Скалистый, Талнахское месторождение – рудниками: Маяк, Комсомольский и Скалистый. Ежегодно на рудниках выполняется эксплуатационно-разведочное бурение в объеме не менее 70 тыс. пог. м с целью получения достоверной геологической информации, используемой для планирования и реализации горно-технических, экономических и организационных мероприятий, своевременного обеспечения горного предприятия вскрытыми, подготовленными и готовыми к выемке балансовыми запасами руд, текущего и перспективного планирования развития горных работ, управления процессом добычи руды и контроля полноты отработки рудных залежей (горизонтов).

Начиная с 2008 г. на месторождениях ТРУ возобновились разведочные работы, предпосылками послужили два основных фактора: наличие перспектив обнаружения новых областей

распространения медно-никелевого оруденения по результатам ревизионных работ и приближение фронта отработки богатых и медистых руд к фланговым частям залежей. Вследствие локализации залежей медно-никелевых руд на значительной глубине решение геологических задач в регионе возможно преимущественно с применением колонкового бурения, поэтому на перспективных участках достижение цели производилось путем развития разведочной сети. Работы преимущественно проводились на западном и восточном флангах Октябрьского месторождения, на восточном фланге Талнахского месторождения. По результатам работ, проведенных на перспективных участках в 2008–2021 гг., на западном фланге Октябрьского месторождения установлены новые области распространения богатых и медистых руд, в том числе оконтурены новые залежи; на восточном фланге Октябрьского месторождения обнаружены новые залежи богатых руд и уточнена морфология богатых руд залежей Северная-3 и Северная-4; на восточном фланге Талнахского месторождения в поле рудника Скалистый получен значительный прирост медистых руд. В совокупности по выполненными работами обеспечен качественный и количественный прирост богатых и медистых руд, который составил 3,73 млн т и 7,41 млн т руды соответственно.

Помимо геологоразведочных работ, проводимых в границах месторождений, реализуются поисковые объекты на перспективных слабоизученных площадях за пределами Норильского района: Арылахская, Микчандинская и Южно-Норильская площади. Предварительно на таких объектах выполняются площадные аэро- и наземные геофизические исследования, наземные геохимические работы, комплекс ФАИЭТ. Полученные данные позволяют формулировать локальный прогноз перспективности участков для постановки буровых работ.

Список литературы:

1. Бурмистров Ю. Б. Доразведка северных флангов рудника «Таймырский» (залежь «Северная -4») (подсчет запасов по состоянию на 01.01.2017 г.). – Норильск, 2017. – 100 с.
2. Бурмистров Ю. Б. Ревизионно-заверочные работы на флангах рудника «Таймырский» (залежь «Северная 3») (подсчет запасов по состоянию на 31.12.2015 г.). – Норильск, 2015. – 760 с.
3. Казаков В. Ф. Доразведка флангов Октябрьского месторождения. – СПб., 2022. – 2085 с.
4. Киселев А. Н. Поиски богатых медно-никелевых руд на восточных флангах рудника «Скалистый». – Норильск, 2016. – 702 с.
5. Матвеев И. А. Поиски богатых медно-никелевых руд на глубоких горизонтах и флангах Талнахского рудного узла (оперативный подсчет запасов по состоянию на 01.12.2010 г.). – Норильск, 2010. – 2035 с.

Калинин А. А., Кудряшов Н. М.
ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты

ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ЗОЛОТА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА

Формирование золоторудных месторождений и рудопроявлений в северо-восточной части Фенноскандинавского щита связано с двумя этапами коллизионных событий – неоархейским в период ~ 2,8–2,6 млрд лет и палеопротерозойским ~ 1,9–1,7 млрд лет назад. Минерализация золота формировалась на стадиях накопления вулканогенно-осадочных толщ при магматической активности, при региональном метаморфизме вулканогенно-осадочных комплексов, под воздействием поздне- и посторогенного магматизма. В неоархейских зеленокаменных поясах, вовлеченных в коллизионные события в палеопротерозое, установлены месторождения не только архейского, но и палеопротерозойского возраста.

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит, зеленокаменные пояса, золото, метаморфизм, геохронология.

Обобщение собственных и опубликованных данных о времени и геодинамической обстановке формирования месторождений и рудопроявлений золота в Кольском регионе [1, 2, 5–8]

Табл. Основные этапы формирования золоторудных и золотосодержащих месторождений и рудопроявлений в северо-восточной части Фенноскандинавского щита

Геодинамическая обстановка	Интервал времени, млрд лет	Металлогенические события, связанные с данным этапом	Геологические структуры (зеленокаменные пояса, интрузивы)	Месторождения и рудопроявления
Формирование зародышей Мурманского, Инари-Кольского и Хетоламбинского микроконтинентов	> 2,93			Неизвестны
Образование древних островодужных систем и их аккреция к микроконтинентам	2,88–2,77	Формирование вулканогенно-осадочных толщ, вмещающих эпигенетические проявления золота	Пояс Колмозеро-Воронья, Тикшеозерский	Пеллапахк, Оленинское
Образование эпиконтинентальных рифтогенных зеленокаменных поясов	2,80–2,66		Стрельнинский, Урагубский, Аллареченский, Оленегорский и др. пояса	Неизвестны
Объединение микроконтинентов в суперконтинент Кенорленд (коллизия «континент–континент»)	2,77–2,66	Орогенные месторождения Au и минерализация, связанная с посторогенным магматизмом	Пояс Колмозеро-Воронья Оленегорский пояс	Няльм-1 (Au) Проявления Au в железистых кварцитах Оленегорской группы месторождений
Рифтогенез (мантийные плюмы – начальная стадия раскола Кенорленда)	2,53–2,42	Расслоенные интрузии базит-гипербазитов	Федорово-Панский интрузив	Федорова тундра, Киевей, Сев. Каменник, Вост. Чуарвы (PGE+ Au)
Период «дремлющей тектоники» (осадконакопление во внутриконтинентальных прогибах)	2,3–2,11	Формирование толщ, вмещающих эпигенетические рудопроявления золота	Пояса Салла-Куолаярви, Печенга-Имандра-Варзуга, Куусамо, Перапохья	Неизвестны
Геодинамические события	Интервал времени, млрд лет	Металлогенические события, связанные с данным этапом	Геологические структуры	Месторождения и рудопроявления
Рифтогенез и реактивизация внутриконтинентальных бассейнов с формированием межконтинентальных рифтов красноморского типа (мантийный плюм, разрыв континента Кенорленд)	2,11–1,92	Расслоенные интрузии базит-гипербазитов	Центрально-Лапландский	Кевица (Ni, Cu + PGE, Au)

Окончание таблицы

Геодинамическая обстановка	Интервал времени, млрд лет	Металлогенические события, связанные с данным этапом	Геологические структуры (зеленокаменные пояса, интрузивы)	Месторождения и рудопроявления
		Интрузии габбро-верлитовой формации	Пояс Печенга-Имандра-Варзуга	Печенгская группа мест-й (Cu, Ni + PGE, Au)
		Формирование толщ, вмещающих эпигенетические проявления золота, отложение золотосодержащих колчеданных руд	Пояса Салла-Куолаярви Центрально-Лапландский, Печенга-Имандра-Варзуга	Колчеданные руды Панареченской и Южно-Печенгской структуры, Прихибинья
Образование суперконтинента Колумбия; аккреционные орогены типа «дуга–континент»	1,93–1,86	Орогенные рудопроявления золота	Центрально-Лапландский пояс, шир-зона Сиркка, Южно-Печенгская зона (пояс Печенга-Имандра-Варзуга)	Суурикуусикко Сааттопора, Левиярви и др. Пороярвинская площадь
Внутриконтинентальные коллизии типа «континент–континент»	1,87–1,70	Орогенные рудопроявления золота Рудопроявления и месторождения, предположительно связанные с посторогенным гранитоидным магматизмом	Стрельнинский пояс Тикшеозерский пояс Пояс Салла-Куолаярви Пояс Куусамо Пояс Перапохья Центрально-Лапландский пояс, шир-зона Колари	Сергозерское, Ворговый Кичаны Майское Юомасуо и др. Ромпас Лауринойя, Куэрвиттико Пахтаваара

Примечание. Последовательность геодинамических событий составлена по данным [3, 4, 9, 13].

и сопоставление их с данными по месторождениям золота в сопредельной, хорошо изученной части Финляндии [10–12] показало, что образование золоторудных месторождений связано с двумя этапами коллизионных событий – неоархейским (~ 2,8–2,6 млрд лет) и палеопротерозойским (~ 1,9–1,7 млрд лет) (таблица).

На каждом этапе формирование месторождений и рудопроявлений проходило:

• при магматической активности на стадиях накопления вулканогенно-осадочных толщ (минерализация порфирово-эпитермальной рудной системы Пеллапахк–Оленинское, серебряно-висмутовая с золотом минерализация в диоритах Сергозеского рудопроявления, колчеданные руды Панареченского);

• при региональном метаморфизме вулканогенно-осадочных комплексов (орогенные месторождения и рудопроявления Няльм, основная рудная зона Сергозерского, Ворговый, Пороярвинская площадь, месторождения и рудопроявления поясов Центрально-Лапландского и Куусамо);

• под воздействием поздне- и посторогенного магматизма (палеопротерозойские месторождения Майское, Райапалот, урановые с золотом рудопроявления Ромпас, Озерное, золото-медно-железорудные месторождения Куэрвитикко, Лауринойя, золотая минерализация неоархейского возраста в скарноидах и гидротермальных жилах Оленегорской группы месторождений).

В неоархейских зеленокаменных поясах, вовлеченных в коллизионные события в палеопротерозое, установлены месторождения не только архейского, но и палеопротерозойского возраста (Сергозерское, Ворговый, Кичаны).

На многих объектах выявлено несколько импульсов активизации гидротермально-метасоматических процессов [10–12]. Отмечено, что такие импульсы нередко совпадают во времени с формированием интрузий или даек определенных комплексов гранитоидов в районе месторождения или рудопроявления, причем это касается не только рудных объектов, предположительно связанных с магматизмом (например, минерализация золота на месторождении Райапалот, альбититы рудопроявления Озерного), но и метаморфогенно-гидротермальных месторождений (например, Исо-Куотко и Суурикуусикко).

Месторождения, сформировавшиеся в неоархейское время, в палеопротерозое были метаморфизованы, признаки наложенного метаморфизма установлены на рудопроявлениях Пеллапахк-Оленинской порфирово-эпитермальной системы и проявлении Няльм-2 в поясе Колмозеро-Воронья. Кроме того, структуры кристаллизации сульфидных расплавов как признак наложенного метаморфизма отмечены в кварцевых жилах в диоритах Сергозерского рудопроявления, несущих серебряно-висмутовую с золотом минерализацию, и в колчеданных рудах Панареченского проявления, то есть в объектах палеопротерозойского возраста, сформировавшихся до пика регионального метаморфизма.

Список литературы:

1. Баянова Т. Б., Егоров Д. Г. U-Pb возраст железорудной формации Кольского п-ова / Геология и полезные ископаемые Северо-Запада и Центра России. – Апатиты : Полиграф, 1999. – С. 19–24.
2. Бушмин С. А., Беляцкий Б. В., Крымский Р. Ш., Глебовицкий В. А., Буйко А. К., Савва Е. В., Сергеев С. А. Изохронный Re-Os возраст золота жильного золотокварцевого месторождения Майское (Северная Карелия, Балтийский щит) // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 448, № 1. – С. 76–79.
3. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС / М. В. Минц и др.; отв. ред Г. С. Гусев, Н. В. Межеловский, В. П. Федорчук. – М. : ГЕОКАРТ : ГЕОС, 2010. – Т. 1. – 407 с.
4. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС / М. В. Минц и др.; отв. ред Г. С. Гусев, Н. В. Межеловский, В. П. Федорчук. – М. : ГЕОКАРТ : ГЕОС, 2010. – Т. 2. – 399 с.

5. Горяинов П. М., Иванюк Г. Ю., Баянова Т. Б., Базай А. В., Астафьев Б. Ю., Воинова О. А. Состав, происхождение и возраст редкоземельно-благороднометаллльного оруденения в породах полосчатой железорудной формации Кольского п-ова //Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона. Труды ФНС. – 2012. – Т. 9. – С. 235–238.
6. Калинин А. А., Казанов О. В., Кудряшов Н. М., Бакаев Г. Ф., Петров С. В., Елизаров Д. В., Лялина Л. М. Новые перспективные золоторудные объекты в Стрельнинском зеленокаменном поясе (Кольский полуостров) // Геология рудных месторождений. – 2017. – № 6. – С. 470–500.
7. Сафонов Ю. Г., Волков А. В., Вольфсон А. А., Генкин А. Д., Крылова Т. Л., Чугаев А. В. Золото-кварцевое месторождение Майское (Северная Карелия): геологические и минералого-геохимические особенности, вопросы генезиса // Геология рудных месторождений. – 2003. – Т. 45. – № 5. – С. 429–451.
8. Kalinin A. A., Kudryashov N. M. Porphyry-Related Metamorphosed Au-Ag and Cu-Mo Deposits in the Precambrian of the Fennoscandian Shield // Minerals. – 2021. – V. 11. – P. 139; DOI:10.3390/min 11020139.
9. Melezhik V., Prave A. R., Fallick A. E., Kump L. R., Strauss H., Lepland A., Hanski, E. J. (eds) Reading the Archive of Earth's Oxygenation, Volume 1: The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context for the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. – Springer-Verlag, 2013. – 503 p.
10. Molnár F., O'Brien H., Stein H, Cook N. D. J. Geochronology of hydrothermal processes leading to the formation of the Au–U mineralization at the Rompas prospect, Peräpohja belt, Northern Finland: application of paired U–Pb dating of uraninite and Re–Os dating of molybdenite to the identification of multiple hydrothermal events in a metamorphic terrane // Minerals. – 2017. – V. 7. – P. 171. – DOI: 10.3390/min7090171.
11. Molnar F., Middelton A., Stein H., O'Brien H., Lahaye Y., Huhma H., Pakkanen, L., Johanson B. Repeated syn and post orogenic gold mineralization events between 1.92 and 1.76 Ga along Kiistala Shear Zone in the Central Lapland greenstone belt, northern Finland // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 101. – P. 936–959.
12. Pohjolainen E., Molnár F., O'Brien H., Huhma H., Tiljander M., Sorjonen-Ward P., Lukkari S., Johanson B., Talikka M. U-Pb geochronology of monazite from the Hangaslampi gold deposit in the Paleoproterozoic Kuusamo schist belt, northern Finland: implications for dating multi-stage mineralizing events // Mineral Resources to Discover – 14th SGA Biennial Meeting. – 2017. – V. 3. – P. 1039–1042.
13. Rasilainen K., Eilu P., Halkoaho T. et al. Assessment of undiscovered metal resources in Finland // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 86. – P. 896–923.

Калинин Ю. А.[1, 2], Шелепаев Р. А.[1, 2], Жимулёв Ф. И.[1], Томиленко А. А.[1], Куйбида М. Л.[1], Хусаинова А. Ш.[1], Греку Е. Д.[1], Яковлев В. А.[1], Шаповалова М. О.[1], Затолокина К. И.[1]

[1] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; [2] НГУ, г. Новосибирск

К МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ОРУДЕНЕНИЯ «КУМРОЧСКОГО ТИПА» (КАМЧАТКА)

Источником гидротермальной рудоносной системы месторождения Кумроч являлись интрузии диоритовых порфиритов миоцен-плиоценового возраста. Интрузивы диоритовых порфиритов, содержащие вкрапленную медную минерализацию, зоны объемной гидротермальной проработки с золоторудными полисульфидно-кварцевыми жилами могут рассматриваться как части единой золото-медно-порфировой рудно-магматической системы «кумрочского типа».

Ключевые слова: Камчатка, месторождение Кумроч, золото-медно-порфировая рудно-магматическая система, модель.

Разведочные работы, проведенные в последнее десятилетие АО «Быстринская горная компания», перевели золоторудное месторождение Кумроч, расположенное в средней части Восточно-Камчатской тектонической зоны (ВКТЗ), в разряд крупных. Формирование одиночного крупного месторождения в этой области позволяет поставить вопрос о поисках других месторождений в данном рудном районе и привлекает внимание к изучению металлогенического потенциала всего среднего сегмента ВКТЗ. Геология, минералогия и геохимия месторождения Кумроч рассмотрены в открытых источниках недостаточно подробно, что затрудняет создание прогнозно-поисковых моделей для названного региона.

ВКТЗ сложена аккретированными образованиями внутриокеанических островных дуг и вулканических островов, что определяет мафический профиль земной коры региона и металлогеническую специализацию, включающую следующий набор элементов: Cu, Zn, Hg, Sb, Cr, Au, Ag, Pt, Ni, Co. В геологическом строении района выделяются два структурных этажа: нижний, представленный образованиями позднемелового – раннепалеогенового возраста и имеющий складчато-надвиговую структуру, и верхний, сложенный вулканогенными образованиями миоцен-плиоценового и четвертичного возраста. В состав фундамента входят тектонические пластины туфогенной хапицкой свиты и песчаниково-алевролитовой дроздовской свиты, представляющей собой флишевую толщу палеогенового возраста. На фундаменте залегает толща миоцен-плиоценовых туфов зеленовато-серых псаммитовых и мелкопсефитовых, кристаллолитокластических. Туфы слабо деформированы, а сама толща разбита на серию тектонических блоков крутопадающими разломами с амплитудами в сотни метров. Наиболее молодой пострудный комплекс раннечетвертичного возраста представлен дацитовыми лавами и лахаровыми конглобрекчиями вулкана Шиш, залегающими на раннечетвертичной поверхности выравнивания, сопровождаемой корами выветривания по неогеновым туфам и секущим их диоритовым порфиритам.

Интрузивные образования представлены диоритовыми порфиритами и диоритами, слагающими дайки, штоки, секущие дроздовскую свиту, значительно реже – неогеновые туфы. Диоритовые порфириты рассматриваются как интрузивная часть миоцен-плиоценового вулкано-плутонического комплекса.

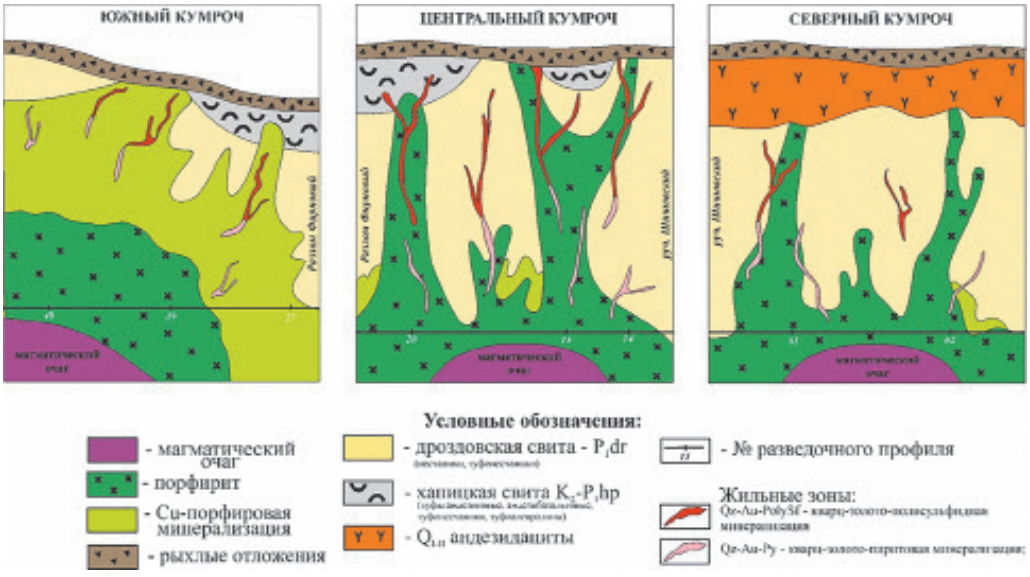
Золотое оруденение представлено кварцевыми и сульфидно-кварцевыми жилами, группирующимися в жильные и прожилковые зоны, которые прослеживаются с северо-востока на юго-запад через всю площадь месторождения. Ширина полосы развития рудоносных зон и жил в центральной и северо-восточной части месторождения составляет 750-1000 м, протяженность – 2,3 км. Местами жильные зоны и жилы соединяются друг с другом, иногда наблюдается их разветвление. Жилы и жильные зоны сопровождаются на контактах околорудными метасоматитами пирит-адуляр-серицит-кварцевого состава. Мощность околорудных метасоматитов составляет первые метры на верхнерудных горизонтах с постепенным уменьшением до первых десятков сантиметров к нижнерудным. Все рудные зоны субпараллельны по отношению друг к другу с падением на СЗ под углами 60–80°. Рудные зоны, кроме единства структурной позиции, объединяет однородность их внутреннего строения. Рудообразование во всех зонах является двухстадийным и представлено ранним убогосульфидным и поздним полисульфидным продуктивными минеральными комплексами, проявленными в разной степени.

Все рудные жилы месторождения Кумроч сложены белым или серым кварцем, иногда халцедоновидным, часто имеющим брекчиевидную текстуру, образованную обломками вмещающих пород, и жильного кварца ранних генераций. Часто жильный кварц настолько насыщен включениями пород, что все жильное тело сложено гидротермальной брекчией. Обломки представлены вмещающими породами: окварцованными осветленными кремово-серыми песчаниками и алевролитами или пиритизированными и аргиллизированными диоритовыми порфиритами. Рудные минералы представлены сфалеритом, галенитом, халькопиритом и пиритом. Пирит является сквозным минералом, характерным для всего разреза, и не образует значительных скоплений в кварцевых жилах. Сфалерит, галенит и халькопирит образуют устойчивую ассоциацию, характерную для рудных жил. Соотношение этих минералов изменчиво, чаще всего преобладает сфалерит, в некоторых участках жил – галенит, халькопирит всегда встречается в подчиненном количестве. Особенностью жил является высокая насыщенность рудными

минералами: часто встречаются гнезда сфалерита, до 8 см в поперечнике, прожилки и линзы, сложенные преимущественно срастаниями сфалерита и галенита при подчиненном количестве кварца. Содержания золота в первом приближении коррелируют с содержанием сфалерита, галенита и халькопирита.

Месторождение Кумроч обладает рядом особенностей, отличающих его от золотосеребряных эпитермальных месторождений, характерных для областей современного и кайнозойского вулканизма. Среди таких особенностей наиболее важными являются следующие: 1) отсутствие структурного контроля жильных образований со стороны элементов вулканических структур района, локализация рудоносных жил в деформированных осадочных толщах; 2) отчетливо золоторудная специализация месторождения, высокое золото-серебряное отношение (1 : 1 – 1 : 3, вместо 1 : 50 – 1 : 100); 3) слабая проявленность коломорфных почковидных агрегатов низкотемпературного халцедоновидного кварца; 4) своеобразный минеральный состав руд, представленных крупными сростками галенита и сфалерита при важной роли халькопирита. Некоторые особенности минерального состава (частый халькопирит, арсенопирит, единичные зерна энаргита, гессит) позволяют его относить к переходному среднесульфидному типу (IS). Данные изучения изотопного состава кислорода и серы также лучше согласуются с IS типом рудоносного флюида; 5) среднетемпературный режим гидротермального процесса (180–350 °С), установленный на основе изучения флюидных включений. 6) изотопный состав серы и кислорода из сульфидов и кварца продуктивной ассоциации, указывающий на магматогенный источник флюидов при незначительной добавке метеорных вод. 7) широкая проявленность рудоносных гидротермальных брекчий.

Перечисленные признаки указывают на связь гидротермальной рудоносной системы месторождения Кумроч с плутоническим источником рудных компонентов, флюидов и энергии. Повсеместно рудоносные жилы локализуются либо в диоритовых порфиритах миоцен-плиоценового возраста, либо на расстоянии не более 300 м от контакта с ними, внутри области объемной гидротермальной проработки вмещающих пород. Оруденение чаще всего локализовано в песчаниках и алевролитах дроздовской свиты, значительно реже в туфогенных отложениях. Таким образом, источником гидротермальной рудоносной системы месторождения Кумроч являлись рудоносные интрузии диоритовых порфиритов миоцен-плиоцена. Ряд геологических признаков свидетельствует о том, что интрузивы диоритовых порфиритов, содержащие вкрапленную медную минерализацию, зоны объемной гидротермальной аргиллизации и пиритизации и золоторудные полисульфидно-кварцевые жилы могут рассматриваться как части единой золото-медно-порфировой рудно-магматической системы «кумрочского типа» (рисунок).



Модель формирования рудной минерализации для рудного поля Кумроч

Можно выделить следующие признаки присутствия медно-порфировой рудно-магматической системы (РМС) в районе.

1. Геотектоническая обстановка становления интрузивов, их приуроченность к вулкано-плутоническому поясу активной континентальной окраины. Наличие рудоносных порфировых интрузий на конвергентных окраинах литосферных плит является не исключением, а правилом. Их полное отсутствие в Камчатском сегменте Тихоокеанской активной окраины, вероятно, связано с недостаточной опоискованностью территории на данный геолого-промышленный тип.

2. Особенности минерализованной и потенциально-рудоносной интрузии: диоритовый состав, порфировая и порфировидная структуры, являющиеся признаками близповерхностного уровня становления интрузии. Принадлежность интрузии к магнетитовой серии устанавливается как широким развитием акцессорного магнетита в диоритах, так и другими геохимическими особенностями.

3. Медная минерализация в диоритовых порфиритах, представленная тонкой рассеянной вкрапленностью халькозина, борнита и халькопирита, встречена в штоке на ручье Фирновом, в керне буровых скважинах на Южном Кумроче, в естественных обнажениях порфиритов в истоках Левой Быстрой, на р. Правая Быстрая, в сильно аргиллизированых диоритовых порфиритах в долине ручья Скалистый, а также в порфировом штоке участка Водопадный. Вкрапленность встречается как в сильно аргиллизированных, так и в относительно неизмененных породах. В некоторых обнажениях, например на ручье Фирновом, медная минерализация развита вдоль тонких кварцевых прожилков (1–5 мм). Можно предположить, что вкрапленность сульфидов меди характеризует наиболее ранний этап гидротермального преобразования пород, процессы аргиллизации приводили к выносу меди из породы и переотложению ее в богатых жильных зонах позднейшей кварцево-жильной полисульфидной ассоциации. Повышенные содержания халькопирита в золото-полисульфидных жилах «кумрочского типа», не характерные для эпитермальных золоторудных месторождений, также рассматриваются нами как признак геохимического «родства» между ранней медной вкрапленной и поздней кварцевожильной золоторудной минерализацией.

4. Широкое развитие гидротермальных брекчий, пространственно, структурно и генетически связанных со штоками диоритовых порфиритов. Значительные объемы гидротермально измененных пород, часто слагающих значительную часть штоков интрузивных пород, свидетельствуют в пользу представлений о том, что штоки являлись купольными структурами, служившими ловушкой для магматогенных флюидов, источником которых были существенные объемы интрузивных пород, залегающих на глубине.

5. Наличие безрудных высокотемпературных кварцевых жил участков Водопадный и Скалистый (температура гомогенизации в интервале 331–515 °С и соленость более 50 мас. %, NaCl-экв.) с магнетитом и гематитом, секущих интрузии диоритовых порфиритов.

6. Наличие калиевых метасоматитов с содержанием K_2O более 5 мас.%. при крайне низком содержании калия в исходных магматических породах (K_2O / Na_2O – 0,02–0,64).

7. Наличие в шлиховых пробах из ручьев, дренирующих участки месторождения Кумроч, знаков молибденита, характерного для медно-порфировой РМС.

8. Повышенные содержания золота (на уровне десятых долей г/т) в гидротермально измененных диоритовых порфиритах участка Кумроч Южный.

9. Совпадающие геохимические аномалии золота, серебра и меди в почвах, что особенно характерно для участка Водопадный, в пределах которого кварцевых жил с золото-полисульфидной ассоциацией пока не выявлено.

С точки зрения модельных построений важной структурной предпосылкой продуктивности гидротермальной рудообразующей системы является наличие экрана над рудоносным порфировым интрузивом. С нашей точки зрения, таким экраном для месторождения Кумроч могла выступать тектоническая пластина туфов хапицкой свиты, перекрывающая складчато-надвиговый пакет песчаников и алевролитов дроздовской свиты. Присутствие в геологической структуре двух различных по литологическому составу и реологическим свойствам пологозалегающих толщ или пластин, «трещинного коллектора» и «экрана-флюидоупора», а также рудоносной интрузии миоцен-плиоценовых порфиритов является благоприятной геологической

предпосылкой для поиска оруденения как «кумрочского» (полисульфидного) типа, так и золото-медно-вкрапленного (порфирового). Совокупность этих двух типов минерализации соответствует модельным представлениям о золото-медно-порфировом типе оруденения.

Таким образом, в масштабах рудного поля Кумроч перспективными на выявление новых рудных тел являются эндо- и экзоконактовые зоны интрузий диоритовых порфиритов, сопровождающиеся объемной гидротермальной проработкой вмещающих песчаников и алевролитов дроздовской свиты. Минералогическое картирование и опробование участков интрузивных массивов на комплексную золотомедную вкрапленную минерализацию может привести к выявлению рудных тел и месторождений медно-порфирового типа в пределах ВКТЗ.

Калита В. А., Алексеев Я. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

К ВОПРОСУ УЧЕТА РОССИЙСКИХ ЗАПАСОВ УПОРНЫХ РУД

Освоение запасов упорных руд позволило существенно нарастить мировую, и в том числе российскую, минерально-сырьевую базу золота. Переработка данного вида золоторудного сырья требует использования специальных высокотехнологичных гидрометаллургических мощностей, дорогостоящих и производимых в ограниченном количестве. Наличие объективных данных о запасах упорных руд в стране необходимо для оценки перспектив развития индустрии производства золота.

Ключевые слова: упорные руды, минерально-сырьевая база золота, гидрометаллургический комбинат, учет запасов.

Начало освоения залежей упорных руд ознаменовало новый этап в мировой золотодобыче, позволив в условиях быстрого сокращения легкоизвлекаемых запасов существенно нарастить сырьевую базу золоторудного сырья.

Согласно оценкам экспертов доля упорных руд, в которых золото находится в виде тонких вкраплений в сульфидах, составляет порядка 30 % в общей структуре мировых запасов [1]. Кроме того, следует учитывать, что существуют еще и руды двойной упорности (при наличии в них природного углерода). По статистическим данным, на долю таких руд приходится еще 2 % мировых запасов золота.

В России, в частности у компании Polymetal Int. (АО «Полиметалл»), занимающей второе место по объемам производства золота, к 2022 г. сырье однократной упорности составляло 22 %, двойной упорности – почти 60 % (а неупорное – лишь чуть более 18 %). В стране еще в 2012 г. был введен в строй первый комплекс выщелачивания золотосодержащих концентратов – Амурский гидрометаллургический комбинат (АГМК) компании «Полиметалл», способный осуществлять переработку упорных руд. В настоящее время ведется строительство второй очереди комбината – АГМК-2, где будут перерабатываться также и руды двойной упорности [4]. В конце 2018 г. начал функционировать аналогичный Покровский автоклавный комплекс (Покровский ГМК) компании «Петропавловск» (ныне принадлежит УГМК) для переработки упорных руд.

Таким образом, значение упорных (и дважды упорных) руд в качестве источника для извлечения товарного золота как в мире в целом, так и в России в обозримом будущем будет очевидно характеризоваться заметным ростом. Соответственно, корректные данные о запасах такого сырья должны быть уже сегодня систематизированы и доступны заинтересованным пользователям.

Однако при существующей системе учета весьма сложно получить реальную картину состояния дел с запасами упорных руд по российским объектам. Некоторые из месторождений, на которых, по данным недропользователей, содержатся в той или иной мере упорные руды, по состоянию на 01.01.2022 г. не фигурируют в ГБЗ РФ с указанием запасов данного типа руд. Сведения о ряде таких месторождений приведены в таблице.

Кроме того, последующая автоклавная переработка может потребоваться для первичных концентратов, которые планируется получать методом кучного выщелачивания на базе место-

рождений Панимба и Раздолинская (Красноярский край) компании ПАО «Полюс», – в перспективе предполагается провести соответствующие испытания [3].

Месторождения, содержащие упорные руды по данным недропользователей

Месторождение	Субъект РФ	Примечание
Кедровое	Магаданская обл.	На базе месторождения проектируется создание областного Центра переработки упорных золотоносных руд
Павлик	Магаданская обл.	Существует проблема переработки упорных руд – от 10 до 30 % всего золота здесь вкраплено в сульфидах
Албазинское	Хабаровский край	Компания «Полиметалл»: используется флотационное обогащение с последующей переработкой концентрата методом автоклавного окисления на АГМК
Дяппе	Хабаровский край	Переработка гравитационно-флотационного концентрата из первичных руд планируется на Покровском ГМК
Верхне-Алиинское	Забайкальский край	Руды месторождения сложные для обогащения (упорные). После получения гравитационно-флотационного концентрата предусмотрен гидрометаллургический передел
Итакинское	Забайкальский край	Месторождение представлено двумя участками с комбинацией цианируемых и упорных руд
Кючус	Республика Саха (Якутия)	Рекомендована комбинированная гравитационно-флотационная схема получения суммарного концентрата, который в дальнейшем будет направляться на предприятия, осуществляющие извлечение золота гидрометаллургическими методами. Руды характеризуются повышенным содержанием мышьяка и антимонита, а также имеют высокое содержание ртути. Кроме того, в рудах есть углеродная составляющая, что создает дополнительные сложности при переработке [2]
Воронцовское	Свердловская обл.	Компания «Полиметалл»: месторождение является источником сырья для производства концентратов руд двойной упорности
Пещерное	Свердловская обл.	Флотационный концентрат из упорных руд месторождения предназначен для переработки на Амурском ГМК

Без учета вышеперечисленных и, не исключено, других официально не зарегистрированных российских объектов с упорными рудами, получить объективную оценку их запасов по стране в целом практически невозможно. Соответственно, трудно оценить, в частности, потребность в высокотехнологичных перерабатывающих мощностях для таких руд на перспективу.

Выводы. Представляется целесообразным, привлекая недропользователей, технологов (ООО «НИЦ Гидрометаллургия» и др.) и специалистов ФГБУ «Росгеолфонд», разработать методику предоставления и учета данных о запасах упорных руд с целью их своевременного отражения в государственных балансах РФ по всем соответствующим российским объектам, и в первую очередь – наиболее значимым.

Список литературы:

1. Добывающая промышленность. Переработка упорных руд: проблемы и пути решения. – URL: https://dprom.online/mtindustry/kak-pyeryerabativat-uporniye-rudi/ (дата обращения: 31.10.2022).

2. Коммерсант. Рынок золота и драгметаллов. Кючус побелел от золота. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/5027598 (дата обращения: 08.10.2021).
3. ПОЛЮС. Активы. Панимба и Раздолинская. – URL: https://polyus.com/ru/operations/development_projects/panimba-and-razdolinskaya/ (дата обращения: 14.02.2023).
4. POLYMETAL. Активы. Амурский гидрометаллургический комбинат – 2. – URL: https://www.polymetalinternational.com/ru/assets/growth-projects/pox-2/. (дата обращения: 14.02.2023).

Калмыков Б. А., Трусов А. А. АО
«ГНПП "Аэрогеофизика"», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ОТРАЖЕНИЯ ПОГРЕБЕННЫХ РУДОНОСНЫХ ИНТРУЗИЙ В АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

На ряде примеров показаны возможности выявления погребенных интрузий разного состава по материалам аэрогеофизических съемок, что является актуальным на современном этапе проведения прогнозно-поисковых работ на рудные полезные ископаемые.

Ключевые слова: комплексные аэрогеофизические съемки, погребенные интрузии, рудные полезные ископаемые.

Значительное количество эндогенных рудных залежей различных полезных ископаемых связано с интрузивными телами, играющими рудогенерирующую и рудовмещающую роль при их формировании. Большинство из них локализуется в зонах эндо- и экзоконтактов различной протяженности.

К настоящему времени основные рудные месторождения, выходящие на поверхность, уже выявлены, что определяет направленность поисковых работ на обнаружение погребенных, слепых рудных объектов. В связи с этим возрастает роль геофизических методов, фиксирующих сигналы от глубинных геологических объектов, что особенно важно на ранних стадиях проведения поисковых работ. Опережающие геофизические работы позволяют локализовать перспективные участки для проведения тяжелых горно-буровых работ.

Наиболее экспрессными являются опережающие аэрогеофизические работы, позволяющие в кратчайшие сроки получить системную геофизическую информацию на обширных поисковых площадях. В состав современного комплекса входят: аэромагниторазведка, аэроэлектроразведка, аэрогаммаспектрометрия и развивающаяся аэрогравиразведка. Каждый из этих методов имеет свою глубинность, разрешающую способность и направлен на выявление объектов с соответствующими петрофизическими параметрами. Масштаб работ определяется размерами промежуточного поискового объекта и изменяется от 1 : 2 000 – 1 : 10 000 при детальных поисковых работах до 1 : 25 000 – 1 : 50 000 при прогнозно-минерагенических исследованиях.

Характерной особенностью аэрогеофизических материалов является их системный характер, выраженный в покрытии значительных территорий однородной метрической информацией по комплексу признаков, отвечающих применяемым геофизическим методам. Сеть полученных наблюдений зависит от масштаба аэросъемочных работ, однако шаг измерений вдоль линии полетов зависит в основном от скорости носителя и возможностей применяемой аппаратуры. При проведении современных аэрогеофизических съемок средний шаг измерений составляет: для магниторазведки 1–5 м, для электроразведки 5–8 м, для гамма-спектрометрии 30–50 м. Расстояния между линиями полетов изменяются от 500 м при съемке масштаба 1 : 50 000 до 100 м при съемке масштаба 1 : 10 000. Современные навигационные технологии, а также использование легких летательных аппаратов (включая беспилотные) позволяют применять и более детальные системы съемочных профилей.

Интрузивные породы и сопровождающие их наложенные процессы характеризуются присущими им петрофизическими свойствами. В благоприятных геологических ситуациях петрофизические параметры интрузий и связанных с ними областей наложенных процессов могут отличаться от параметров вмещающих пород с разной степенью контрастности, что позволяет

выявлять положение данных интрузивных тел даже в слепом залегании по аэрогеофизическим данным. Особая поисковая значимость погребенных интрузий заключается в присутствии сохраненных от эрозии пород кровли (экзоконтакта), в которых локализуются основные рудные залежи, часто приуроченные к надкупольным зонам скрытых гранитоидных массивов.

Погребенные интрузии разного состава отличаются характерными для них формами отражения в аэрогеофизических материалах.

Кислые интрузии. Основным индикационным свойством кислых интрузий является их низкая плотность, в связи с чем на фоне более плотных геологических образований они проявляются локальными отрицательными гравитационными аномалиями субизометрической морфологии или изолированными областями пониженных значений поля силы тяжести с градиентными зонами разной контрастности.

Вторым характерным свойством кислых интрузий являются сопровождающие их становление гидротермально-метасоматические процессы, оказывающие интенсивное воздействие на вмещающие породы. Это приводит к образованию в них ореолов наложенных изменений, развитых в экзоконтактах интрузий и проявленных как в латеральном (боковом) направлении, так и в вертикальном – во вмещающих породах кровли слепых интрузивных тел. Участки проявлений наложенных гидротермально-метасоматических процессов отражаются в аэрогамма-спектрометрических материалах областями характерной радиогеохимической специализации: калиевой, уран-калиевой, урановой, торий-калиевой и др.

Пространственное совмещение локальных отрицательных гравиметрических аномалий и локальных областей характерной радиогеохимической специализации позволяет выявлять погребенные интрузии гранитоидов.

Меньшей выразительностью наложенные процессы характеризуются в материалах магниторазведки. Образование вторичной рудной минерализации сказывается на изменении характера магнитного поля в перекрывающих породах и дуговых магнитных аномалиях по периферии интрузии.

Неглубоко залегающие интрузивные тела могут проявляться в электрическом поле участками повышенных сопротивлений, затухающих в направлении погружения интрузии.

С гранитными интрузиями и сопровождающими их постмагматическими процессами связано значительное количество рудных месторождений: золота, вольфрама, молибдена, олова, полиметаллов и др., что определяет повышенный поисковый интерес к участкам их возможного слепого залегания.

Средние интрузии. Интрузивные тела диоритов и их разновидностей часто отличаются относительно повышенной намагниченностью и выявляются локальными магнитными аномалиями средней интенсивности на фоне вмещающих их слабомагнитных образований. Породы обладают несколько более повышенной плотностью, чем гранитоиды, и в благоприятных условиях могут отображаться слабыми отрицательными аномалиями поля силы тяжести. При неглубоком залегании в перекрывающих породах могут проявляться области характерной радиогеохимической специализации, а также участки повышенных сопротивлений.

С интрузиями диоритов связаны проявления эпитермального золото-молибден-медно-порфирового оруденения, скарновые месторождения железа, полиметаллов.

Основные интрузии. Характерной особенностью интрузий габброидов является их высокая намагниченность. Интрузии основного состава проявляются контрастными магнитными аномалиями, интенсивность и контрастность которых затухают по мере погружения их под перекрывающие толщи. В трансформантах магнитного поля отчетливо отражается внутренняя структура сложнопостроенных интрузий.

Второй особенностью габброидов является их высокая плотность, в связи с чем интрузии сопровождаются локальными положительными аномалиями силы тяжести. Пространственное совмещение локальных положительных магнитных и гравиметрических аномалий позволяет выявить погребенные интрузии основного состава. Неглубоко залегающие интрузии габброидов могут проявляться повышенным уровнем поля сопротивлений.

Слепые даечные тела долеритов проявляются слабоконтрастными линейными магнитными аномалиями и их системами. При дальнейшем погружении линейные магнитные аномалии расплываются и гаснут.

С интрузиями основного состава связаны залежи медно-никелевых, титаномагнетитовых руд, скарновые месторождения железа.

Дайковые пояса позволяют выявлять и прослеживать тектоно-магматические зоны, контролирующие проявления кимберлитового магматизма.

Ультраосновные интрузии. Интрузии гипербазитов в неизмененном состоянии характеризуются высокой плотностью и отражаются интенсивными положительными гравитационными аномалиями. Верхние части интрузий, затронутые постмагматическими и корообразовательными процессами, теряют повышенную плотность, вследствие чего аномалии затухают. Мелкие тела ультраосновных пород вследствие интенсивной серпентинизации могут проявляться на фоне более плотных пород слабоинтенсивными отрицательными гравитационными аномалиями.

Серпентинизированные тела гипербазитов вследствие развития вторичного магнетита проявляются интенсивными положительными магнитными аномалиями. В условиях слепого залегания магнитные аномалии теряют контрастность и интенсивность.

Вследствие развития корообразовательных процессов верхние части ультраосновных интрузий приобретают повышенную пористость и обводненность. Это приводит к понижению электрического сопротивления пород, вследствие чего они проявляются локальными аномалиями повышенной электропроводности. Погребенные тела ультрабазитов могут отражаться на геоэлектрических разрезах, построенных по материалам импульсной аэроэлектроразведки МПП крутопадающими зонами повышенной электропроводности.

С интрузиями ультраосновного состава связаны месторождения хромитов, титаномагнетитовых руд, а с кимберлитовыми трубками взрыва – месторождения алмазов. К корам выветривания дунит-гарцбургитов приурочены залежи кобальт-железо-никелевых руд.

Возможности выявления погребенных интрузий разного состава с применением комплекса аэрогеофизических методов будут способствовать повышению эффективности прогнозно-поисковых работ на современном этапе.

Приводятся примеры отражения погребенных интрузий приведенных типов в аэрогеофизических полях и моделях.

Камагурова С. В.
ГУ «ИМР», г. Ташкент, Узбекистан

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ЗОЛОТОРУДНОГО УЧАСТКА НИЖНЕКЕНЖАСАЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАУЛЬДЫ

Приведены сведения о местоположении участка, состоянии его изученности, особенности геологического строения, условия локализации и параметры золотого оруденения, количественные показатели изменчивости свойств оруденения с определением группы сложности геологического строения участка, методы подсчета геологических запасов, влияние промышленного освоения участка на расширение сырьевой базы флюсовых руд действующего рудника Каульды и увеличение производства золота.

Ключевые слова: золотосодержащие руды, флюсовые руды, оруденение, рудные тела, группа сложности геологического строения, геологические запасы, эксплуатационные запасы, технико-экономические расчеты.

Золотосодержащие руды месторождения Каульды используются в качестве флюса на Алмалыкском медеплавильном заводе. В настоящее время в связи с увеличением потребности АО «Алмалыкский ГМК» в золотосодержащих флюсовых рудах для медеплавильного производства актуальное значение в целях расширения их сырьевой базы приобретает вовлечение в отработку новых перспективных золоторудных участков.

Участок Нижнекенжасай расположен в юго-западной части Каульдинского рудного поля в 2,3–2,4 км от разрабатываемого участка Южный Каульды и в 18 км к югу от медеплавильного завода. В качестве перспективного он выделен при проведении в 1989–1997 гг. в Централь-

ном блоке Алмалыкского района поисковых работ на основе объемного картирования. В 1998–2003 гг. бывшим ГГП «Шаркий Узбекистон» на участке была проведена предварительная оценка, а в 2016–2022 гг. Алмалыкской экспедицией АО «Узбекгеологоразведка» – детальная оценка. По материалам оценочных работ сотрудниками ГУ «ИМР» разработано технико-экономическое обоснование (ТЭО) разведочных кондиций для подсчета запасов золотосодержащих руд участка Нижнекенжасай.

Участок приурочен к вулкано-тектонической депрессии субмеридионального простирания, выполненной преимущественно лавами и туфами андезито-базальтов и андезитов чашлинского вулканогенного комплекса среднего карбона. Золотое оруденение локализуется в межформационных тектонически ослабленных и гидротермально-измененных зонах. По морфологическим особенностям и условиям залегания рудных тел участок Нижнекенжасай, как и другие участки месторождения Каульды относится к типу залежей.

Участок изучен вертикальными колонковыми скважинами, пробуренными по 9 разведочным профилям с расстоянием между ними 40 м. Расстояние между скважинами в зависимости от расположения минерализованных зон составляло от 40 до 80 м со сгущением при детализации до 20–30 м.

По данным проведенных оценочных работ на участке выделено 10 рудных тел, представленных в основном горизонтальными и пологими залежами с углами падения до 15–20°, залегающими на различных горизонтах вулканогенных пород. Глубина залегания рудных тел от 35–50 м до 180–190 м от поверхности. Расстояние между перемежающимися в разрезе рудными телами варьирует от 5–10 до 20 м. Протяженность рудных тел по простиранию от 80–100 до 150–220 м при ширине от 10–20 до 50–90 м. Мощность рудных пересечений колеблется от 1,0 до 10 м, по отдельным рудным телам до 15–20 м, содержание золота по пересечениям от 3–5 до 10–15 г/т, по отдельным пересечениям до 30–80 г/т. Выделение рудных тел с увязкой рудных пересечений произведено в ТЭО на основе отстроенной их объемной каркасной модели с применением программного комплекса Micromine.

Определена также группа сложности геологического строения участка с определением количественных показателей изменчивости свойств оруденения. Коэффициент вариации содержания золота составил по бортовому его содержанию 2,0 г/т – 163 %, по бортовому содержанию 1,5 г/т – 186 %, что характерно для золоторудных месторождений 4-й группы сложности геологического строения [1, 2]. Отнесение участка Нижнекенжасай по сложности геологического строения к 4-й группе подтверждается также низким показателем сложности границ оруденения (менее 0,4), что связано со сложной морфологией рудных тел.

В достаточной степени изучен вещественный состав золотосодержащих руд. Хотя по содержанию кремнезема (в среднем 57,9 %) и глинозема (13,6 %) руды не соответствуют требованиям для флюсовых руд (содержание кремнезема в зависимости от их класса и сорта от 60 до 70 %, глинозема от 12–13 до 8 %), однако они могут шихтоваться с более кремнеземистыми рудами участков Центральный, Южный Каульды месторождения Каульды, а также месторождения Кызылалма. Содержание в рудах мышьяка и сурьмы не превышает допустимое [1].

Вскрытие рудных тел предусматривается съездами с пройденного с поверхности уклона. Система отработки рудных тел в зависимости от их мощности и условий залегания – камерно-столбовая и камерная горизонтальными слоями с закладкой.

По результатам выполненных в ТЭО кондиций повариантных (бортовое содержание золота 2,0 и 1,0 г/т) технико-экономических расчетов в качестве оптимального для подсчета запасов золотосодержащих руд участка Нижнекенжасай принят вариант бортового содержания золота 1,5 г/т, который обеспечивает более полное извлечение золота из недр при положительных экономических показателях.

Геологические запасы золотосодержащих руд подсчитаны методом блочного моделирования и для контроля традиционными методами. Доля запасов золота по категории C_1 составила от общих запасов категории C_1+C_2 – 34,1 %.

При проектной годовой добыче золотосодержащих руд 50–55 тыс. т (по аналогии с количеством добываемой руды на участках Центральный и Южный Каульды) подсчитанные с учетом потерь и разубоживания при добыче эксплуатационные запасы участка Нижнекенжасай

обеспечат работу горнодобывающего предприятия на срок более 10 лет. Имеются перспективы увеличения запасов за счет доизучения флангов. Руды участка характеризуются повышенным содержанием золота (в среднем 8,8 г/т), и его промышленное освоение не только расширит сырьевую базу действующего рудника Каульды, но и увеличит производство золота.

Так как по сложности геологического строения участок Нижнекенжасай относится к 4-й группе, то его разведка может совмещаться с эксплуатационной разведкой и вскрытием рудных тел [1, 2].

Список литературы:

1. Инструкция по применению классификации запасов к золоторудным месторождениям, ГКЗ РУз, 2022.
2. Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, ГКЗ РУз, 2022.

Каминский Ф. В.
ФГБУ «ГЕОХИ» РАН, г. Москва

РАННЯЯ ИСТОРИЯ ПОИСКОВ АЛМАЗОВ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ И РОЛЬ ЦНИГРИ В ОТКРЫТИИ ЭТОЙ ПРОВИНЦИИ

В 1970–1974 гг. по инициативе Министра геологии СССР академика А. В. Сидоренко силами Онежской партии ЦНИГРИ, Северо-Двинской экспедиции Архангельского геологического управления и Центральной партии Геологического управления центральных районов были проведены поисковые работы на алмазы на Онежском полуострове Белого моря в Архангельской области. В результате этих работ в шлиховых пробах аллювия обнаружены хромсодержащие пиропы, открыто 17 трубок мончикитовых брекчий, и в двух из них (Болванцы и Карахта) обнаружены алмазы. По итогам работ впервые было сделано заключение об алмазоносности севера Архангельской области. При этом наличие промышленных месторождений алмаза на Онежском полуострове признано маловероятным. Было рекомендовано вести дальнейшие поиски алмазоносных кимберлитовых трубок к востоку от Онежского полуострова, на Зимнем берегу Белого моря.

Ключевые слова: алмаз, Архангельская провинция, Онежский полуостров, поиски, открытие.

В настоящее время Архангельская алмазоносная провинция является вторым (после Якутии) производителем алмазов в России, в котором ежегодно добывается несколько миллионов каратов алмазов. В многочисленных публикациях по истории изучения этой провинции приводятся подробные данные об открытиях месторождений им. Ломоносова и им. Гриба, но, к сожалению, отсутствуют данные по ранней истории поисковых работ на алмазы, которые в итоге и привели к открытию месторождений. Для восполнения этого пробела приводятся сведения о ранней стадии поисков алмазных месторождений в Архангельской провинции в начале 1970-х годов, в результате которых были найдены первые алмазы, и была установлена принципиальная алмазоносность Севера Русской платформы.

В 1969 г. Министр геологии СССР академик А. В. Сидоренко посетил Архангельск для ознакомления с работами Архангельской геологоразведочной экспедиции (АГРЭ). В ту пору это была небольшое подразделение в составе Северо-Западного геологического управления с центром в Ленинграде. Экспедиция вела геологическую съемку масштаба 1 : 200 000, разведку стройматериалов и гидрогеологические работы. В качестве интересной перспективы руководство экспедиции (начальник В. А. Котельников, главный геолог В. П. Гриб) показало министру образцы брекчий, слагающих четыре трубообразные тела на Онежском полуострове Белого моря (Лывозеро, Карахта, Куртяево и Болванцы). Первые брекчии, слагающие трубку Лывозеро в районе пос. Нёнокса, были обнаружены еще в 1936 г. Н. Ф. Кольцовым, остальные были разбурены

А. Ф. Станковским и М. А. Даниловым при заверке геофизических аномалий в процессе геологической съемки [5]. Природа брекчий оставалась неясной, и А. В. Сидоренко дал поручение ЦНИГРИ, где к тому времени была образована группа по изучению алмазных месторождений, исследовать перспективы возможной алмазоносности как самих трубок, так и всего района.

В июне 1970 г. директор ЦНИГРИ И. С. Рожков направил в Архангельск Ф. В. Каминского с заданием изучить брекчии и дать заключение об их перспективах. В июне–июле 1970 г. Ф. В. Каминский провел полевые работы в районе пос. Нёнокса и изучил керн скважин, в сентябре–октябре 1970 г. выполнил минералого-петрографическое исследование брекчий и дал заключение о том, что они по составу относятся не к кимберлитам (как предполагалось), а к щелочным базальтоидам группы мончикитов. Несмотря на это, в результате обнаружения в составе брекчий гранатов пироп-альмандинового состав, я не исключил возможности обнаружения в мончикитах алмазов [1]. На основании этого заключения для оценки перспектив алмазоносности Онежского полуострова в ЦНИГРИ осенью 1970 г. решением И. С. Рожкова была создана Онежская поисковая партия, в состав которой вошли Ф. В. Каминский (руководитель), А. А. Константиновский, С. В. Пиотровский и несколько техников. В 1972 г. в АГРЭ с той же целью была создана Северо-Двинская партия (в дальнейшем экспедиция). Онежская партия и Северо-Двинская экспедиция Архангельской КГРЭ выполняли совместные полевые и камеральные работы по поискам алмазов на Онежском полуострове, отразившиеся в совместных отчетах.

В 1971 г. наша партия начала шлиховое опробование рек Онежского полуострова. Это были первые шлиховые работы в регионе, поскольку ранее их эффективность считалась сомнительной из-за широкого распространения ледниковых отложений. Поэтому мы, наряду с отбором шлихов в водотоках опробовали также ледниковые отложения для «снятия регионального фона». В дальнейшем мы отказались от этой методики и просто опробовали водотоки и прибрежные отложения с увеличением объема шлиховых проб до 40 литров. В том же году мы также выполнили детальный минералогический анализ мончикитовых брекчий и среди акцессорных минералов в трубках Болванцы и Карахта обнаружили гранаты с содержаниями Cr_2O_3 до 6 % (то есть относящиеся к алмазной ассоциации).

Осенью 1971 г. первые результаты работ были доложены Первому секретарю Архангельского обкома КПСС Б. В. Попову. Это был исключительно интересный человек, сохранявший среди многих своих важнейших дел (включая Новую Землю, Плесецкий космодром и др.) особый интерес к геологическим работам. Он поручал нам анализы многочисленных проб, которые собирал при своих поездках в различные районы области. Выслушав мой доклад, Борис Вениаминович связался по телефону с А. В. Сидоренко, и они тут же определили целевое финансирование АГРЭ по алмазной отрасли в размере одного миллиона рублей. Этот объем вначале было даже трудно освоить, но в дальнейшем при расширении поисков финансирование многократно увеличилось. В результате значительного увеличения объема и расширения направлений работ АГРЭ была преобразована сначала в Архангельскую комплексную геологоразведочную экспедицию (АКГРЭ), затем в Архангельский геологоразведочный трест (АГРТ), и, наконец, в самостоятельное Архангельское геологическое управление (АГУ), начальником которого стал М. В. Толкачёв. Он вывел Управление на новый уровень, сильно интенсифицировал его работы, включившие также поиски бокситов и нефти. Главным геологом всех этих организаций непрерывно оставался В. П. Гриб. Приказом по Министерству куратором АГУ по поискам алмазов был назначен Ф. В. Каминский.

В 1972 г. Онежская партия ЦНИГРИ провела шлиховое опробование главных водотоков Онежского полуострова и прибрежных отложений вокруг всего полуострова. В одной из проб, взятой из аллювия р. Верховки, был обнаружен гранат с содержанием Cr_2O_3 более 10 %. В этом году были также открыты новые щелочно-базальтоидные трубки Луговая, Масляная и Солоная. В том же году, основываясь на находках кнорринготовых гранатов в мончикитах, мы провели валовое опробование трубок Болванцы и Карахта (по 5–8 тонн из каждой трубки). Созданные в поле обогатительные установки были чисто гравитационными. Концентрат порциями проходил рентгеноструктурный анализ. В итоге на фоне линий граната, хромита и некоторых других минералов в рентгенограммах концентрата были выявлены линии алмаза. Результаты этих работ были представлены нами в 1974 г. на Третьем Всесоюзном совещании по геологии алмазных

месторождений в г. Мирном [3] и доложены А. В. Сидоренко; он рекомендовал нам их опубликовать и представил в «Доклады АН СССР» [2].

В 1973 г. для проверки наших результатов Мингео СССР организовало дополнительное, независимое опробование мончикитовых брекчий на алмазы. Для этого в пос. Нёнокса силами Геологического Управления центральных районов (ГУЦР) была организована полевая обогатительная лаборатория под руководством В. О. Ружицкого. Ими было обогащено более 15 тонн брекчий и найдены два кристалла алмаза крупнее 1 мм непосредственно на месте работ, что полностью исключало возможность заражения проб.

В 1973–1974 гг. было открыто еще десять трубок и составлен окончательный совместный отчет Онежской партии ЦНИГРИ и Северо-Двинской экспедиции АГРТ по результатам поисков алмазов на Онежском полуострове. В итоге работ Онежской партии ЦНИГРИ и Северо-Двинской экспедиции АГУ было открыто 17 трубок щелочных базальтоидов, образовавших Нёнокское поле на Летнем (южном) берегу Белого моря. В двух из трубок (Болванцы и Карахта) были найдены алмазы. На этом основании впервые сделан вывод об алмазоносности севера Русской платформы. При этом мы заключили, что промышленные месторождения алмаза на Онежском полуострове маловероятны, и, руководствуясь представлениями о зональности кимберлитовых провинций, рекомендовали вести дальнейшие поиски алмазоносных кимберлитовых трубок к востоку от Онежского полуострова, на Зимнем берегу Белого моря. Подтверждением этой рекомендации явилось обнаружение Е. М. Веричевым уже в 1975 г. алмазоносного кимберлитового силла в русле р. Мела на Зимнем берегу [4].

Несмотря на это, зимой 1974–1975 гг. новое руководство ЦНИГРИ (директор института П. Ф. Иванкин и назначенный заведующим отделом алмазов Б. И. Прокопчук) приняло решение о прекращении работ как на Летнем, так и на Зимнем берегу Белого моря и о переброске Онежской партии ЦНИГРИ на Северный Тиман. Работы на Зимнем берегу были продолжены силами АГУ и Западного аэрогеофизического треста и привели к открытию в 1980–1981 гг. месторождения им. Ломоносова.

Список литературы:

1. Каминский Ф. В. Щелочно-базальтоидные брекчии Онежского полуострова // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1976. – № 7. – С. 50–59.
2. Каминский Ф. В., Клюев Ю. А., Константиновский А. А., Пиотровский С. В., Сочнева Э. Г., Южаков В. М. Признаки алмазоносности щелочных базальтоидов севера Русской платформы // Доклады АН СССР. – 1975. – Т. 222, № 4. – С. 939–942.
3. Каминский Ф. В., Константиновский А. А., Пиотровский С. В., Южаков В. М. Геологические предпосылки и предварительные результаты поисков алмазов на Онежском полуострове // Геология и прогнозирование алмазных месторождений. Тезисы докладов III Всесоюзного межведомственного совещания по геологии алмазных месторождений (г. Мирный, 3–8 июня 1974 года). – М., 1974. – С. 52–54.
4. Станковский А. Ф., Веричев Е. М., Гриб В. П., Скрипниченко В. А., Соболев В. К. Новый тип магматизма в венде Севера Русской платформы // Доклады АН СССР. – 1979 – Т. 247, № 6. – С. 1456–1460.
5. Станковский А. Ф., Данилов М. А., Гриб В. П., Синицын А. В. Трубки взрыва Онежского полуострова // Советская геология. – 1973. – № 8. – С. 69–79.

Карабаев М. С.[1], Кодиров О. З.[2], Юсупов А. Б.[2], Садиров Р. М.[2]

[1] Университет геологических наук, г. Ташкент, Узбекистан;

[2] Институт Геологии и геофизики имени Х. М. Абдуллаева, г. Ташкент, Узбекистан

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ РАЗНОВИДНОСТЯХ ПОРОД И МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЗОНАХ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ)

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Института геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева №281-20.

Для определения роли вмещающих пород как потенциальных источников полезных компонентов изучено распределение главных элементов в различных литологических разновидностях пород, а также в осадочно-метаморфических, контактово-метаморфических, метасоматических и магматических образованиях исследуемой площади. Установлены содержания, средние содержания и степень концентрации элементов. Сравнение результатов показывает, что степень золотоносности не обнаруживает связи с составом и возрастом вмещающих пород, наиболее высокие концентрации рудогенных элементов характерны для метасоматически измененных пород.

Ключевые слова: Центральные Кызылкумы, элементы, распределение, степень концентрации, типы пород, статистическая обработка, генезис оруденения.

Применение геохимических данных в геологических изысканиях позволяет решать важнейшие задачи поисковых работ – определение перспектив оруденения в пространстве. В этой работе раскрыта возможность использования результатов статистической обработки данных по характеру распределения главнейших рудных элементов в породах для выявления условий рудообразования на золоторудных объектах гор Ауминзатау, Кульджуктау и Букантау (Центральные Кызылкумы), которые отличаются по условиям формирования и масштабу оруденения.

Характер распределения главных и сопутствующих элементов в породах и рудах определялся статистическим анализом геохимической информации, применением количественного масс-спектрометрического метода. Использование последнего позволяет установить малые содержания благородных, редких и рассеянных элементов, что необходимо при геохимических изысканиях. Анализ выполнялся в ГП «Центральная лаборатория» Госкомгеологии РУз.

Благоприятность определенных стратиграфических горизонтов и литологического состава пород для локализации золотого оруденения Центральных Кызылкумов отмечена многими авторами. Для гор Букантау, особенно Кокпатасского рудного поля, наиболее благоприятными выделены сланцы различного состава карашахской свиты [3]. Особенно породы бесапанской свиты привлекали отдельное внимание геологов, изучавших рудоносность Центральных Кызылкумов, в связи с размещением в них крупнейших золоторудных месторождений региона (Мурунтау, Даугызтау, Амантайтау и др.). Отложения подсвиты «пестрый бесапан» считались наиболее продуктивными (даже единственной продуктивной) для локализации промышленных месторождений золота и серебра. Открытие в последнее время ряда месторождений (Колчиктау, Аджибугут, Сентябрское и др.), размещенных в породах нижней части разреза бесапанской свиты, заставляют пересмотреть оценку продуктивности различных ее горизонтов. И опять авторы наряду с «пестрым бесапаном» выделяют вторую благоприятную рудовмещающую толщу, сложенную метатерригенными породами.

В данной работе изучен характер распределения главных элементов в различных, наиболее распространенных, литологических разновидностях пород кокпатасской свиты (протерозой) в горах Букантау, бесапанской свиты (ордовик-силур) в горах Ауминзатау и таушанской свиты (карбон) в горах Кульджуктау. При этом анализу подвергались по мере возможности неизмененные породы, а также их окварцованные и сульфидизированные разности. Для получения более достоверных результатов пробы осадочно-метаморфических пород отбирались из соответствующих разностей на удалении от месторождений, а также выходов интрузивных тел. Наиболее надежным является определение геохимического фона и минимально аномального содержания элементов по пробам, отобранным из данной разности пород за пределами явных аномалий.

Установлены содержания, средние содержания и степень концентрации элементов в минерализованных зонах различного литолого-петрографического состава вмещающих пород. Сравнение результатов показывает, что степень золотоносности не обнаруживает связи с составом и возрастом вмещающих пород. Наиболее продуктивными оказываются интенсивно окварцованные и сульфидизированные участки, размещенные в различных по составу породах, что указывает на связь рудообразования главным образом со степенью их гидротермальной переработки.

Также с целью выявления взаимосвязи содержаний элементов с генетическими типами пород проведена статистическая обработка геохимических данных по отдельным выборкам,

отражающим породы различного генезиса (регионально-метаморфизованные, контактово-метаморфические и метасоматические), и оруденелых зон золото-редкометалльных месторождений Центральных Кызылкумов.

Осадочно-метаморфические породы (кроме карбонатов) обогащены вольфрамом, в 7–18 раз выше по сравнению с кларком, и, в меньшей мере, молибденом (в 2–6 раз), оловом (1,5–5). Степень концентрации серебра, по данным атомно-адсорбционного анализа, – 5–8, меди – 1,5–2, цинка – в пределах кларка. Более значимые усредненные значения степени концентрации элементов отмечаются для серебра (3,5), сурьмы (4,5), теллура (5), золота (4,5) и особенно селена (22). Содержание свинца во всех разновидностях вулканогенно-осадочных пород ниже кларка.

При этом более высокие содержания элементов приурочены к вулканогенным породам, накопление которых происходило в момент их образования. Также следует отметить, что в распределении элементов в разновидностях осадочно-метаморфических пород значимых корреляционных связей не обнаруживается (k до 0,2). В контактово-метаморфических породах содержания элементов, практически аналогичны таковым для регионально-метаморфических пород. Это указывает, что в процессе контактового преобразования вулканогенно-осадочных пород концентрации элементов в них практически не меняются. Меняются коэффициенты вариации в распределении элементов, что связано с некоторой перегруппировкой элементов в составе отдельных пачек при их термальном метаморфизме.

Наиболее высокие (до промышленных) содержания рудных элементов обнаруживаются в рудоносных метасоматических породах, сформированных в результате проявления постмагматических гидротермальных процессов. В теоретическом отношении это означает, что золото-редкометалльное оруденение генетически связано с процессами становления гранитоидных интрузивов, а в практическом отношении аналогичные руды могут быть прогнозированы в связи с ореолами размещения магматических пород в благоприятных геолого-структурных позициях. Представляется, что при формировании месторождений наиболее важно наличие процесса, способствовавшего рудообразованию, которое и должно служить основой для суждений в вопросах генезиса и прогнозирования аналогичных месторождений.

Проведение специализированных исследований для выяснения факторов формирования и размещения золотого оруденения установило, что содержания рудогенных элементов не обнаруживает связи с возрастом и литологическими разностями вмещающих вулканогенно-осадочных пород. Ранее отмечено, что по сравнению с другими более благоприятными являются толщи пород, сложенные песчано-алевритистой составляющей [1], что определяется их петрофизическими свойствами – хрупкие алевро-песчаники более подвержены трещинообразованию и как следствие интенсивному развитию жильно-гидротермальных рудообразующих процессов.

Следует указать, что золотое оруденение в Центральных Кызылкумах локализуется в породах широкого возрастного интервала и состава, [1] и подчеркнуть – оруденение региона накладывается на все осадочно-терригенные и магматические породы возрастом от докембрия до нижней перми [2]. Полученные данные еще раз подтверждают эти выводы.

Список литературы:

1. Карабаев М. С. Геохимические данные как основа прогноза и решения генетических вопросов золото-редкометалльного оруденения (горы Восточный Букантау) // Геология и минеральные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 16–20.
2. Конеев Р. И., Халматов Р. А. Некоторые аспекты минералогии, геохимии и генезиса руд месторождений золота Узбекистана // Руды и металлы. – 2013. – № 2. – С. 39–51.
3. Щербань И. П., Цой Р. В., Иванов И. П. Околорудные метасоматиты Западного Узбекистана. – М. : Наука, 1990. – 189 с.
4. Taylor S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust; a new table // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1964. – № 28 (8). – P. 1273–1285. – DOI: 10.1016/0016-7037(64)90129- 2.

Каргин А. В.[1], **Носова А. А.**[1], **Сазонова Л. В.**[1,2], **Лебедева Н. М.**[1]
[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

АЛМАЗОНОСНОСТЬ КИМБЕРЛИТОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ, РОССИЯ: ВРЕМЯ ВНЕДРЕНИЯ И ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ПРОМЫШЛЕННО-АЛМАЗОНОСНЫХ И НЕАЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ

Для выявления механизмов образования кимберлитовых магм промышленно-алмазоносных и безрудных кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции (ААП), включая роль Fe-Ti компонент в этом процессе, а также для изучения эволюции кимберлитовых расплавов и сопутствующей флюидной фазы на поздних этапах формирования силлов безрудных кимберлитов были изучены безрудные кимберлиты Кепинского поля, определен возраст их внедрения и проведено сопоставление полученных данных с алмазоносными кимберлитами трубки им. В.Гриба. Результаты исследований позволили выделить на территории ААП два этапа кимберлитового магматизма, в которые произошло формирование безрудных кимберлитов Кепинского поля и внедрение алмазоносных кимберлитов Золотицкого поля и трубки им. В. Гриба, а также установить различную степень взаимодействия исходных кимберлитовых расплавов с литосферной мантией, что может быть использовано для выявления различий в магматизме алмазоносных и безрудных кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции.

Ключевые слова: кимберлиты, алмазоносность, Архангельская алмазоносная провинция, возраст кимберлитового магматизма, ильменит.

Архангельская алмазоносная провинция (ААП) расположена в северной части Восточно-Европейского кратона и включает более 90 трубок взрыва и гипабиссальных тел кимберлитов и родственных щелочно-ультрамафических пород, включая щелочные пикриты, оливиновые мелилититы и переходные к ультрамафическим лампрофирам и карбонатитам кимберлиты [3, 5]. Щелочно-ультрамафические породы ААП по составу принято разделять на две серии [2, 4]:

1) Глиноземистую (кимберлиты Золотицкого поля, щелочные пикриты и кимберлиты Верхотинского поля, а также фельдшпатоидные пикриты и оливиновые мелилититы Чидвинско-Ижмозёрского, Ненокского и Суксомского полей);

2) Железо-титанистую (кимберлиты и щелочные пикриты представлены породами Черноозерского (трубка им. В. Гриба), Кепинского, Мегорского и Мельского полей.

Алмазоносные кимберлиты ААП представлены глиноземистыми кимберлитами Золотицкого (месторождение им. М. В. Ломоносова) и железо-титанистыми кимберлитами Черноозерского (трубка им. В. Гриба) полей [5]. Возраст внедрения алмазоносных кимберлитов составляет от 380 ± 2 до 375 ± 2 млн лет [3], что совпадает с наибольшим числом датировок щелочно-ультраосновных магматических комплексов Кольской щелочной провинции (379 ± 5 млн лет, по [1]). Возраст внедрения неалмазоносных кимберлитов остается дискуссионным. Геологические и фаунистические данные определяют очень широкий интервал формирования пород ААП: от раннего девона до раннего карбона (410–340 млн лет, [3, 6]).

Несмотря на многочисленные исследования геологии, петрологии и минералогии кимберлитов и родственных пород ААП, некоторые вопросы, связанные с происхождением кимберлитов и оценкой перспектив их алмазоносности, остаются дискуссионными, например:

- этапы формирования промышленно-алмазоносных и безрудных кимберлитов;
- причины вариации состава безрудных кимберлитов, связанных с переходами к родственным породам, таким как карбонатиты (силлы реки Мела), кимберлиты – щелочные ультрамафические лампрофиры (силлы и трубки Кепинского поля), щелочные пикриты (Ижмозерское поле), и их эволюция на поздних стадиях формирования;
- особенности формирования силлов кимберлитов и родственных пород;
- роль литосферной мантии в формировании кимберлитовых расплавов с различной степенью алмазоносности.

Нами были изучены кимберлиты Кепинского поля ААП, представленные вулканокластическими брекчиями, слагающими трубки взрыва, а также массивными кимберлитами, слагающими силлы. Кимберлитовые трубки по своим минералого-геохимическим характеристикам

схожи с классическими кимберлитовыми трубками группы 1 Южной Африки, тогда как кимберлитовые силлы представлены наиболее эволюционированными разновидностями с повышенным содержанием карбонатных минералов и флогопита в основной массе.

Ранее [3] в результате изучения трех фракций кимберлитов силла 697 из Кепинского поля (двух фракций флогопита, выделенных из породы, и валовой пробы) была получена Rb-Sr изохронная зависимость, отвечающая возрасту 397,2 ± 0,4 млн лет. Нами были продолжены изотопно-геохронологические исследования (изучена дополнительная фракция флогопита), по результатам которых сохраняется возраст, определенный ранее – 397,3 ± 1,2 млн лет [7]. Полученный возраст согласуется с Rb-Sr датировками кимберлитов силлов Мела – 393 ± 8 млн лет [3]. Данные оценки возраста перекрываются со временем формирования долеритовых даек – 393 ± 5 млн лет [1], расположенных в северо-восточной части Кольской щелочной провинции (губа Ивановская).

Таким образом, дополнительные исследования позволили выделить на территории ААП два этапа кимберлитового магматизма, при этом первый этап (~ 397 млн лет), в который произошло формирование кимберлитов Кепинского поля, является неалмазоносным, в отличие от второго (~ 375 млн лет), в который происходило внедрение алмазоносных кимберлитов Золотицкого поля и трубки им. В. Гриба.

Исследование состава флогопита, шпинели, карбонатных минералов из основной массы кимберлитов Кепинского поля показало, что на поздних стадиях формирования кимберлитовых силлов происходило повышение фугитивности кислорода и накопление флюидной фазы (формирование карбонатных сегрегаций, отделение флюидной фазы и др.). Эти процессы сопровождаются изменением состава флогопита в сторону тетраферрифлогопита (уменьшение Al, увеличение Fe^{3+}) и переходом хромшпинели в титаномагнетит. При этом составы этих минералов, так же как и общие петрографические характеристики, становятся более сопоставимыми с щелочно-ультрамафическими лампрофирами – айликитами, что позволяет предполагать переходные разновидности между кимберлитами и айликитами. Последнее имеет важное прогнозно-поисковое значение. В то же время в кимберлитовых трубках Кепинского поля отмечаются меньшее содержание карбонатных минералов и преобладание флогопита среди слюд, в отличии от кимберлитов силлов. Вероятно, это связано с отделением флюидной фазы на стадии формирования трубки взрыва. Подобное предположение согласуется с модельными расчетами.

Изучение состава ильменита из кимберлитов Кепинского поля и его сравнение с составами ильменита из мантийных ксенолитов, выносимых на поверхность кимберлитами трубки им. В. Гриба позволили предположить, что алмазоносные кимберлиты формировались на этапах становления магмопроводящей системы, когда расплавы интенсивно взаимодействовали с окружающей литосферной мантией. Такая ситуация могла возникнуть либо на ранних стадиях проработки транспортного канала, либо в условиях локального растяжения и быстрого подъема расплава, препятствовавшего кристаллизации фенокристов и обеспечившего подъем большого количества захваченного ксеногенного материала. В свою очередь, формирование расплавов безрудных кимберлитов Кепинского поля происходило тогда, когда литосферная мантия в зоне прохождения кимберлитовых расплавов была уже геохимически переуравновешена с ними либо в условиях, обеспечивших задержку в ходе подъема расплава и кристаллизацию минералов фенокристов и других фаз, включая ильменит.

Предложенные механизмы подтверждаются модельными расчетами: (1) при формировании ильменита из безрудных кимберлитов Кепинского поля ведущую роль играли процессы фракционной кристаллизации как самого ильменита, так и других минералов (гранат, клинопироксен, ортопироксен, оливин) из равновесного расплава; (2) состав ильменита из высокоалмазоносных кимберлитов трубки им. В. Гриба контролировался процессами фракционной кристаллизации минералов-мегакристов и интенсивной ассимиляции вещества литосферной мантии.

Таким образом, представленные в докладе результаты исследований позволяют выделить на территории ААП два этапа кимберлитового магматизма, в раннем произошло формирование безрудных кимберлитов Кепинского поля, в позднем – внедрение алмазоносных кимберлитов Золотицкого поля и трубки им. В. Гриба, а также установить, что формирование алмазоносных кимберлитов сопровождается интенсивным взаимодействием расплавов с литосферным ма-

териалом, тогда как при эволюции расплавов безрудных кимберлитов в ходе их зарождения и подъема определяющую роль играют процессы фракционной кристаллизации и накопления флюидной фазы.

В докладе также акцентируется внимание на особенностях использования минерального состава и состава минералов для диагностики кимберлитов и родственных пород. Наши исследования кимберлитов ААП, как и ряд работ по кимберлитам Мира (например, [8]), показали ограничения в использовании состава флогопита и шпинели в качестве основного классификационного признака, разделяющего множество щелочно-ультрамафических пород, включая кимберлиты, оранжеиты, айликиты и др.

Список литературы:

1. Арзамасцев А. А., Ву Ф.-Я. U-Pb геохронология и изотопная (Sr, Nd) систематика минералов щелочно-ультраосновных массивов Кольской провинции // Петрология. – 2014. – Т. 22, № 5. – С. 496–515.
2. Кононова В. А., Носова А. А., Первов В. А. [и др.]. Вариации составов кимберлитов Восточно-Европейской платформы как отражение сублитосферных геодинамических процессов // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 409, № 5. – С. 227–252.
3. Ларионова Ю. О., Сазонова Л. В., Лебедева Н. М. [и др.]. Возраст кимберлитов Архангельской провинции: Rb-Sr, 40Ar/39Ar изотопно-геохронологические и минералогические данные для флогопита // Петрология. – 2016. – Т. 24, № 4. – С. 607–639.
4. Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Шавырина М. В. Мантийные ксенолиты из кимберлитовых месторождений округлых алмазов Зимнебережного района, Архангельская алмазоносная провинция // Петрология. – 2000. – Т. 8, № 5. – С. 518–548.
5. Третяченко В. В. Архангельская кимберлит-пикритовая область (особенности формационного состава, геотектонической позиции и минерагенического районирования, прогноз алмазоносности) // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) «Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационные подходы». – Мирный : АЛРОСА, 2018. – С. 199–209.
6. Третяченко В. В. Литолого-фациальная характеристика и палеографические условия формирования раннекаменноугольных промежуточных коллекторов Зимнебережного алмазоносного района // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях: материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 125–131.
7. Kargin A. V, Nosova A.A., Sazonova L.V. [et al.] Ultramafic alkaline rocks of Kepino cluster, Arkhangelsk, Russia: Evolution of kimberlite melts // Minerals. – 2021. – V. 5. – P. 1–28.
8. Dongre A., Tappe S. Kimberlite and carbonatite dykes within the Premier diatreme root (Cullinan Diamond Mine, South Africa): New insights to mineralogical-genetic classifications and magma CO_2 degassing // Lithos. – 2019. – V. 338–339. – P. 155–173.

Каргин А. В.[1], **Носова А. А.**[1], **Сазонова Л. В.**[1,2], **Лебедева Н. М.**[1]

[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ РАСПЛАВОВ С ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИЕЙ, ПРИМЕР ИЗУЧЕНИЯ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ТРУБКИ ИМ. В. ГРИБА, АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ

В докладе приводится обобщение результатов изучения мантийных ксенолитов и минералов мегакристов (индикаторов алмазоносного магматизма) из кимберлитов трубки им. В. Гриба, Архангельская алмазоносная провинция (ААП), Россия, а также предложена модель метасоматоза литосферной мантии ААП, включающая формирование и эволюцию кимберлито-

вых расплавов, обогащение деплетированной литосферной мантии и образование минералов мегакристной ассоциации, которая была воспроизведена экспериментально.

Ключевые слова: кимберлиты, мантийный метасоматоз, мегакристы, минералы индикаторы алмазоносного магматизма, Архангельская алмазоносная провинция.

Кимберлиты – редкие щелочно-ультраосновные породы, главные природные источники алмаза. В дополнение к экономической ценности алмазных месторождений кимберлитовые породы являются источником знаний о составе и строении литосферной мантии Земли, так как выносят большое количество разнообразных мантийных ксенолитов и ксенокристов. Мантийные ксенолиты из кимберлитов содержат свидетельства сложной многостадийной истории метасоматического преобразования литосферной мантии, протекающего под воздействием различных по составу метасоматических агентов (в том числе и кимберлитовых) на разных стадиях тектоно-термальных преобразований литосферной мантии (например, [5–8]). Образование кимберлитового расплава и последующая его эволюция при подъеме сквозь литосферную мантию приводят к ее преобразованию вдоль основного транспортного канала [6], поскольку щелочно-ультраосновные расплавы, включая карбонатиты и кимберлиты, являются неравновесными литосферной мантии с геохимической точки зрения (например, [10, 12]). В таком случае большая часть выносимых кимберлитами мантийных ксенолитов будет являться переработанными фрагментами стенок мантийного канала, по которому кимберлитовые расплавы достигали поверхности [6], и, соответственно, такие ксенолиты не могут представительно отражать состав литосферной мантии.

С целью фиксации процессов взаимодействия кимберлитовых расплавов с литосферной мантией при их генерации и подъеме, включающих процессы эволюции расплава, преобразования мантийных пород и формирования минералов мегакристной ассоциации, приводится обобщение результатов изучения мантийных ксенолитов и минералов мегакристов (индикаторов алмазоносного магматизма) из кимберлитов трубки им. В. Гриба, Архангельская алмазоносная провинция (ААП), Россия.

Трубка им. В. Гриба (375 ± 2 млн лет) расположена в центральной части ААП. Геологическая позиция, строение, петрографо-геохимическая характеристика представлены в работах [2–4]. Кимберлиты трубки им. В. Гриба содержат большое количество мантийных ксенолитов перидотитов, эклогитов, клинопироксен-флогопитовых пород, а также мегакристов граната, оливина, клинопироксена, флогопита, ильменита и их сростков (обзор в [1]).

Изучены гранат, пироксены, флогопит, ильменит из мантийных ксенолитов перидотитов, деформированных перидотитов, ильменитовых перидотитов, клинопироксен флогопитовых пород, а также минералы мегакристной ассоциации и их сростки. Результаты позволили выделить два направления преобразования мантийных пород:

1. Преобразование деплетированных гранатовых гарцбургитов в гранатовые лерцолиты, флогопит-гранатовые верлиты и клинопироксен-флогопитовые породы, которое сопровождается увеличением количества клинопироксена и появлением флогопита; при этом происходит полное замещение граната флогопитом;

2. Формирование деформированных перидотитов, ильменитовых перидотитов, развитие ильменит-гранатовых, ильменит-ортопироксен-гранатовых пород. Это направление отличается от первого развитием ильменита в мантийной ассоциации минералов.

Мегакристы граната, клинопироксена, ильменита и флогопита близки по составу к минералам из метасоматизированных ксенолитов, при этом ассоциация Ti-мегакристов (низко-Cr мегакристы граната и клинопироксена, а также ильменит) сопоставимы по составу с минералами из второй группы ксенолитов, тогда как мегакристы, обедненные Ti (высоко-Cr клинопироксен, флогопит) сопоставимы по составу с минералами ассоциаций первой группы ксенолитов.

Результаты изучения мантийных ксенолитов и минералов мегакристов показало, что (обзор в [1]):

1. Литосферная мантия центральной части ААП с глубины около 180–210 км до глубин 100–120 км испытала полистадийный метасоматоз вдоль путей подъема кимберлитовых расплавов. Мантийный метасоматоз деплетированных гранатовых гарцбургитов приводит к их геохимическому обогащению и преобразованию: 1) в гранатовые лерцолиты, флогопит-гранатовые

верлиты и клинопироксен-флогопитовые породы и 2) формированию ильменитовых перидотитов, развитие ильменит-гранатовых, ильменит-ортопироксен-гранатовых пород.

2. Вариация состава минералов, которая выражается главным образом в увеличении TiO_2 на фоне снижения значений Mg# и концентраций Cr_2O_3, согласуется с изменением отношения метасоматического агента/литосферной мантии (флюид/порода), отражающего удаление от основного канала подъема метасоматизирующих расплавов.

3. Сходство состава мегакристов граната, клинопироксена, флогопита, ильменита с составами минералов из перидотитовых ксенолитов предполагает, что мегакристы являются либо дезинтегрированными фрагментами наиболее крупнозернистых разновидностей этих ксенолитов, либо формировались при тех же условиях, которые существовали при мантийном метасоматозе этих пород, либо кристаллизовались непосредственно из метасоматического агента.

4. Расчеты модельных составов расплавов, которые могли находиться в равновесии с гранатом и клинопироксеном из различных типов мантийных ксенолитов и мегакристов, показывают, что деформированные лерцолиты в основании литосферной мантии испытали мантийный метасоматоз под воздействием кимберлитовых расплавов и их аналогов, например расплавов типа айликитовых. В ходе взаимодействия расплава с литосферной мантией происходит эволюция состава протокимберлитового расплава от обогащенного РЗЭ, Ti, Fe и карбонатной компонентой к существенно силикатным, ультраосновным кимберлитовым расплавам, обедненным Fe-Ti. Соотношение этих крайних составов может определяться степенью проработки мантийного канала, по которому поднимались исходные кимберлитовые расплавы.

Было установлено, что мантийные ксенолиты, обнаруженные среди кимберлитов трубки им. В. Гриба, были сформированы в несколько стадий мантийного метасоматоза, которые были связаны с несколькими импульсами прохождения кимберлитовых расплавов.

На основе вышеуказанной модели были проведены экспериментальные работы по взаимодействию щелочно-ультраосновных расплавов, обогащенных карбонатной компонентой (по составу близких к айликитам) с деплетированными мантийными гарцбургитами при давлении 4 ГПа и температуре 1200 °С, что соответствует усредненным значениям условий формирования минералов мегакристов (см. фактические результаты). Результаты экспериментов [9] позволили установить, что:

1. При взаимодействии щелочно-ультраосновной компоненты, обогащенной карбонатом, с деплетированными гарцбургитами происходит преобразование последних в гранатовые лерцолиты с образованием реакционной зоны, сложенной ассоциацией, характерной для минералов мегакристов;

2. По своему составу минералы реакционного лерцолитового парагенезиса близки к минералам мегакристов и минералам из деформированных перидотитов, при этом изменение доли щелочно-ультраосновной компоненты коррелирует с магнезиальностью реакционных парагенезисов. При этом при удалении от зоны контакта в минералах происходит повышение магнезиальности, концентрации Cr_2O_3 и уменьшение концентраций TiO_2, что согласуется с наблюдаемыми природными данными и может быть использовано для объяснения вариации состава низко- и высокохромистых мегакристов.

3. В ходе реакционного взаимодействия происходит фракционирование Fe-Ti компоненты щелочных расплавов, в первую очередь ильменита;

4. Остаточные реакционные ультрамафические расплавы могут рассматриваться как потенциальный источник флогопитового метасоматоза и являться источником пород серии айликиты-кимберлиты; подобные расплавы могли сформировать кимберлиты Золотицкого поля.

Несомненно, предложенный механизм преобразования литосферной мантии под воздействием щелочно-ультраосновных расплавов не был единственным эпизодом мантийного метасоматоза литосферной мантии [11]. Проведенное изучение Rb-Sr, Sm-Nd и кислородной изотопных систем минералов мантийных ксенолитов из кимберлитов трубки им. В. Гриба указывают на неполное петрографическое, геохимическое и изотопное переуравновешивание кимберлитового расплава и литосферной мантии, содержащей геохимически-обогащенные мантийные метасоматиты. Sr-Nd изотопный состав граната, клинопироксена и ортопироксена из гранатовых лерцолитов, гранатовых гарцбургитов и деформированных гранатовых лерцолитов согласуется

с изотопным смешением между изотопно-контрастными компонентами: древней метасоматизированной мантией и кимберлитовыми расплавами. Клинопироксен и флогопит из мегакристов и флогопит-клинопироксеновых пород по всем параметрам уравновешены с кимберлитовым расплавом; минералы находятся в Rb-Sr равновесии, близком к возрасту внедрения кимберлита.

Неполное переуравновешивание Rb-Sr и Sm-Nd изотопных систем в породах ксенолитов позволило установить возраст предшествующих этапов мантийного метасоматоза в литосфере ААП. Возрасты этих этапов совпадают с мезопротерозойскими тектоно-термальными событиями в Фенноскандии (обзор в [11]). Возраст, заданный Rb-Sr двухточечными изохронами по минералам гранатовых лерцолитов, в целом согласуется с рифтогенезом и щелочным магматизмом, проявленным в связи с распадом Родинии (610–550 млн лет). Nd эрохрона по клинопироксенам и их модельный возраст близок к ~ 1,2–1,0 млрд лет, и это совпадает с возрастом щелочного ультраосновного магматизма в Карелии и Восточной Финляндии.

Список литературы:

1. Каргин А. В. Полистадийность мантийного метасоматоза при формировании кимберлитовых магм: на примере кимберлитов трубки им. В. Гриба, Архангельская алмазоносная провинция // Петрология. – 2021. – Т. 29, № 3. – С. 227–255. – DOI: 10.31857/S086959032103002X.
2. Каргин А. В., Носова А. А., Сазонова Л. В. [и др.]. Состав ильменита как индикатор условий формирования промышленно-алмазоносных и безрудных кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции // Петрология. – 2020. – Т. 28, № 4. – С. 341–369.
3. Похиленко Н. П., Агашев А. М., Литасов К. Д. [и др.]. Взаимоотношение карбонатитового метасоматоза деплетированных перидотитов литосферной мантии с алмазообразованием и карбонатит-кимберлитовым магматизмом // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 1. – С. 361–383.
4. Кононова В. А., Голубева Ю. Ю., Богатиков О. А. [и др.]. Алмазоносность кимберлитов Зимнебережного поля (Архангельская область) // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, № 6. – С. 483–505.
5. Ларионова Ю. О., Сазонова Л. В., Лебедева Н. М. [и др.]. Возраст кимберлитов Архангельской провинции: Rb-Sr, $^{40}Ar/^{39}Ar$ изотопно-геохронологические и минералогические данные для флогопита // Петрология. – 2016. – Т. 24, № 4. – С. 607–639.
6. Bussweiler Y., Pearson D. G., Stachel T. [et al.] Cr-rich megacrysts of clinopyroxene and garnet from Lac de Gras kimberlites, Slave Craton, Canada – implications for the origin of clinopyroxene and garnet in cratonic lherzolites // Mineralogy and Petrology. – 2018. – V. 112, № S2. – P. 583–596.
7. Giuliani A., Phillips D., Fiorentini M. L. [et al.] Mantle oddities: A sulphate fluid preserved in a MARID xenolith from the Bultfontein kimberlite (Kimberley, South Africa) // Earth and Planetary Science Letters. – 2013. – V. 376. – P. 74–86.
8. Ionov D. A., Doucet L. S., Xu Y. [et al.] Reworking of Archean mantle in the NE Siberian craton by carbonatite and silicate melt metasomatism: Evidence from a carbonate-bearing, dunite-to-websterite xenolith suite from the Obnazhennaya kimberlite // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2018. – V. 224, № 2018. – P. 132–153.
9. Kargin A., Bussweiler Y., Nosova A. [et al.] Titanium-rich metasomatism in the lithospheric mantle beneath the Arkhangelsk Diamond Province, Russia: insights from ilmenite-bearing xenoliths and HP–HT reaction experiments // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2021. – V. 176, № 12. – P. 101.
10. Kopylova M.G., Matveev S., Raudsepp M. Searching for parental kimberlite melt // Searching for parental kimberlite melt // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2007. – V. 71, № 14. – P. 3616–3629. – DOI: 10.1016/j.gca.2007.05.009.
11. Lebedeva N. M., Nosova A. A., Kargin A. V. [et al.] Sr-Nd-O isotopic evidence of variable sources of mantle metasomatism in the subcratonic lithospheric mantle beneath the Grib kimberlite, northwestern Russia // Lithos. – 2020. – V. 376–377. – P. 105779.
12. Yaxley G. M., Berry A. J., Rosenthal A. [et al.] Redox preconditioning deep cratonic lithosphere for kimberlite genesis – evidence from the central Slave Craton // Scientific Reports Springer US. – 2017. – V. 7, № 1. – P. 30.

Каримова Ф. Б., Джуманиязов Д. И.
Институт геологии и геофизики, г. Ташкент, Узбекистан

БЛАГОРОДНЫЕ И ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫЧЕКУ АЛМАЛЫКСКОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

Рассматриваются результаты анализов горных пород месторождения Сарычеку. Приведены материалы по геохимическим особенностям пород месторождения. По содержанию SiO_2 выделены группы основных, средних и кислых пород, а также методом CIPW определен минеральный состав пород: монцонит, хлоритизированный монцонит, кварцевый сиенит, трахиандезит, гранодиорит-порфир, монцодиорит, кварцевый монцонит, кварцевый монцодиорит.

Ключевые слова: месторождение Сарычеку, оруденение, кларк в земной коре, полезные ископаемые, благородные, цветные, редкие металлы, медь, молибден, свинец, олово, платиноиды, серебро и золото.

Алмалыкский район обладает большим комплексом рудных полезных ископаемых, включающим различные виды металлов, широко используемых во всех отраслях народного хозяйства. Установлены многочисленные месторождения и перспективные рудопроявления благородных, цветных и редких металлов, открытых и разведанных в основном в XX веке, хотя отдельные их проявления известны уже более трех тысяч лет.

В Алмалыкском районе медь является ведущим полезным ископаемым, как по запасам промышленных руд, так и по количеству проявлений оруденения. В настоящее время в районе известны многие проявлений меди, из них несколько крупных месторождений – Кальмакыр, Дальнее, Киз-ата, Сарычеку и др., относящихся к медно-порфировому типу месторождений. Их высококомплексные руды содержат кроме меди молибден, золото, серебро, серу, рений, селен, теллур и другие компоненты. Полезные ископаемые этих месторождений добываются открытым способом. На базе месторождений построены медная обогатительная фабрика комбината, медеплавильный завод.

В районе насчитывается более 250 проявлений свинца и цинка, среди них промышленные месторождения Кургашинкан, Кульчулак и др., несколько мелких месторождений – Шамырсай, Кархана и др. Одновременно с основными полезными компонентами (свинец, цинк) извлекаются попутные: золото, серебро, медь, кадмий, висмут и ряд редкоземельных элементов.

В районе выявлено большое количество рудопроявлений золота – более 300, среди которых месторождение Каульды, находящееся в эксплуатации, и месторождения Бичанзор, Актурпак, Алтын-Топкан и др.

Алтын-Топканское рудоуправление создано на базе полиметаллических месторождений рудного поля, которое дало свое имя сначала руднику, а затем и рудоуправлению, которое состоит из целой серии месторождений.

В общем, Алмалыкский район весьма богат различными полезными ископаемыми. Большая часть рудных проявлений сосредоточена в западной части района, в пределах Северного и Центрального блоков.

На месторождении Сарычеку риолиты и гранодиорит-порфиры являются основными рудовмещающими породами. В остальных породах, включая породы дайкового комплекса, медная и молибденовая минерализация либо не наблюдается, либо отмечается крайне убогая вкрапленность халькопирита в приконтактовой измененной зоне с рудовмещающими породами.

Расшифровке генетических условий формирования руд Сарычеку посвящена работа Т. Д. Тулегенова (1964). По его данным, трещиноватость и оруденение развиты в риолитах и гранодиорит-порфирах только там, где эти породы контактируют между собой. Породы имеют свои индивидуальные показатели интенсивности массового дробления, и в зависимости от них распределяется и медное оруденение. Наиболее высокая трещиноватость у вмещающих промышленное оруденение риолитов и соответствующих им уровней порфировых пород. Эти породы характеризуются наибольшей пористостью и проницаемостью, медленным водонасыщением, низкой прочностью, высокой хрупкостью. При воздействии тектонических усилий в хрупких породах происходило приоткрывание ранее заложенных трещин и образование новых, послуживших местом для оруденения [2].

Все породы, слагающие рудные тела, подверглись метасоматическим изменениям. Характер и интенсивность изменений зависят от вещественного состава вмещающих руд, их положения по отношению к тектоническим нарушениям, от глубины протекания процесса и др. С. Т. Бадалов и А. Х. Туресебеков [1] установили следующие типы зонального расположенных околорудных изменений (перечислены от поздних к ранним):

1. Березитовые с полиметаллами и золотом;
2. Пропилиты с пиритом, минералами титана (рутил, анатаз, ильменит), магнетитом и халькопиритом;
3. Кварц-серицитовые с пиритом, халькопиритом, молибденитом и золотом;
4. Кварц-калишпатовые с магнетитом, титанистыми минералами и молибденитом.

Месторождение Сарычеку принадлежит к медным месторождениям в минерально-сырьевой базе Республики Узбекистан. К геолого-промышленным типам медно-рудных месторождений Узбекистана относятся порфировые медные месторождения, представленные в основном крупными месторождениями Алмалыкского горнорудного района.

Большая часть меди сегодня добывается из порфировых месторождений меди, на долю которых приходится более половины мировых запасов меди, а содержание медных элементов составляет не более 1 %. Кроме того, привлекательность порфировых медных месторождений заключается еще и в их комплексности, так как помимо меди в них содержатся молибден, золото, серебро, рений, теллур, селен, висмут, платиноиды и другие элементы.

Практически все месторождения меди в Узбекистане с большими запасами расположены в Кураминском хребте и представлены месторождениями Сарычеку, Кальмакыр и Ешлик.

Последние исследования на площади карьера месторождения Сарычеку показали широкое разнообразие пород как известково-щелочного (диориты, гранодиориты), так и субщелочного (монцогаббро, монцодиориты, монцониты и кварцевые монцониты) рядов. Наши исследования на месторождении Сарычеку выявили значения элементов, которые оказались выше кларковых: B, Mg, P, Sc, V, Fe, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Te, Ba, Yb, Hf, W, Re, Au, Pb, Bi и U; эти значения были получены с помощью ICP масс-спектрометрического анализа на 61 элемент (Фонд АГМК. Заключительный отчет № 63-4424ЮР. – 2022. – С. 165–196).

Концентрации меди, свинца и олова в отобранных образцах наблюдаются в максимальных кларковых значениях. Наиболее высокие значения цинка по сравнению с кларком в земной коре проявляются в нескольких образцах – в гранодиоритах, монцогаббро и эссексите (до 9 раз), что, скорее всего, объясняется присутствием в этих породах сфалерита.

Медь является обычным элементом для месторождения Сарычеку, что определяет его промышленную ценность. В гипогенных залежах медь представлена халькопиритом, борнитом, медным колчеданом (до 4 % Cu). Большая часть меди сосредоточена в халькопирите в глубоких горизонтах рудника. В рудах, богатых вторичными сульфидами, она встречается в виде халькопиритов, халькоцитов и купритов. Вторичные медные минералы (малахит, азурит, хризоколла) образуются за счет высокой подвижности меди в зоне окисления.

Все образцы имеют вышекларковые значения серебра – превышения от 6 до 115 раз. Определены значения золота в 11–806 раз большие, чем его кларк в земной коре, при этом самые высокие значения – 806 раз – в монците (Ср-6) и диорите (Ср-8). Наибольшее количество золота в породах наблюдается в монцонитах. Кроме того, гранодиорит-порфиры и дайки, обнаруженные на месторождении, также содержат небольшое количество золота.

Результаты анализов проб месторождения Сарычеку показали, что значения для молибдена доходят до превышающих концентрацию его кларка в земной коре в 3636 раз. В виде молибденита этот элемент отмечается в двух минеральных ассоциациях – в молибденитовой и пирит-халькопиритовой, которые парагенетически связаны с кварц-калишпатовыми и кварц-серицитовыми метасоматитами. Содержание молибдена в первичных рудах колеблется от 0,001 до 0,1 %, и глубина распространения молибденита достигает 300–350 м [1]. С глубиной содержание молибдена увеличивается, максимум его распространения приурочен к интервалу 250–300 м.

В целом, можно видеть зараженность пород основания карьера Сарычеку ураном, молибденом, вольфрамом, рением, медью, цинком, свинцом, висмутом, мышьяком, селеном, сурьмой, теллуром, платиной, золотом и серебром (Фонд АГМК. Заключительный отчет № 63-4424ЮР. –

2022. – С. 165–196). Из распределения редкоземельных элементов видно, что породам свойственно наличие европиевого минимума, что характеризует их как продукты явлений дифференциации, возможно, основной магмы.

Список литературы:
1. Бадалов С. Т., Туресебеков А. Х. и др. Общая геолого-геохимическая схема рудообразования в Алмалыкском рудном районе // Узб. геол. журн. – 1978. – № 2. – С. 26–31.
2. Каримова Ф. Б., Джуманиязов Д. И. Фонд АГМК. Заключительный отчет № 63-4424ЮР. – 2022. – С. 165–196.
3. Тулегенов Т. Д. Роль структурных факторов и физико-механических свойств пород в размещении оруденения в Саук-Булакском рудном поле: специальность 04.00.00 : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Тулугенов Ташкенбай. – Свердловск; Ташкент, 1964. – 25 с.

Кашин С. В., Шатов В. В., Белова В. Н. Афанасьева Е. Н., Михайлов В. А.
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

МЕТАМОРФИЗОВАННЫЕ БЕРЕЗИТЫ УНИКАЛЬНОГО ОЛИМПИАДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА: ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Выполнено петрографо-геохимическое картирование метасоматических и метаморфических пород рудного поля Олимпиадинского месторождения золота. Околорудные метасоматиты на месторождении представлены амагматическими тектоногенными березитами, сформированными в результате складчатости углеродистых терригенных, кремнисто-терригенных и терригенно-карбонатных пород рифейского возраста, насыщенных метеорными (седиментационными) водами осадочного происхождения. Рудоносные березиты подверглись более позднему региональному метаморфизму эпидот-амфиболитовой фации. Березиты были в различной степени перекристаллизованы с образованием более поздних метаморфических минеральных ассоциаций и структурно-текстурных преобразований, но региональный метаморфизм мало отразился на распределении в березитах рудных и других малых элементов.

Ключевые слова: Олимпиадинское месторождение, золото, гидротермально-метасоматические образования, геохимия, петрографо-геохимическое картирование, Енисейский кряж, березиты.

Олимпиадинское месторождение – одно из крупнейших в России по разведанным запасам золота, а также лидер по объему добываемого золота [5]. Оно находится на Енисейском кряже – докембрийской структуре, развитой в пределах западной окраины Сибирского кратона и представляющей собой выход докембрийского фундамента платформы на дневную поверхность [1].

Олимпиадинское месторождение относится к золото-сульфидной формации. Оно локализовано в северном крыле опрокинутой дислоцированной антиклинали, сложенной породами кординской свиты нижнего рифея, метаморфизованными в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Рудные тела стратиформного типа локализованы в крыльях и замках опрокинутых складок в зоне контактов кварц-слюдистых сланцев с углеродистыми сланцами и мраморами [5].

В пределах Олимпиадинского рудного поля были проведены специализированные работы по изучению гидротермально-метасоматических и метаморфических образований методом петрографо-геохимического картирования [2, 3, 4]. Для этой цели были детально изучены и опробованы 25 поисковых и разведочных скважин по 6 профилям, пересекающим рудные тела с выходом во вмещающие породы. Все полученные в результате петрографического и геохимического изучения данные выносились на профили с построением метасоматических и геохимических разрезов с дальнейшим их анализом.

По результатам микроскопического изучения 526 прозрачно-полированных шлифов установлено, что околорудные метасоматические изменения на Олимпиадинском месторождении представлены березитами и серицитолитами трех фаций: безкарбонатной B1 (кварц + серицит/

мусковит ± хлорит ± пирит ± арсенопирит); кварц-серицит-хлорит-карбонатной В2 (кварц + серицит + карбонат ± хлорит ± адуляр ± пирит ± арсенопирит ± халькопирит ± антимонит); существенно карбонатной В3 (карбонат + кварц + серицит/мусковит ± хлорит ± апатит ± адуляр + + пирит ± арсенопирит ± халькопирит ± антимонит). Количественное соотношение всех трех фаций в общем ореоле березитов примерно равное.

Околорудные березитовые и серицитолитовые парагенезисы Олимпиадинского месторождения по сравнению с другими золото-сульфидными месторождениями орогенного типа России и стран СНГ отличаются широким развитием в них более поздних метаморфогенных минеральных ассоциаций эпидот-амфиболитовой фации, проявившихся в ранее березитизированных породах месторождения. Это создает особые трудности при изучении околорудных березитов и серицитолитов как на макроскопическом, так и на микроскопическом уровнях из-за того, что они часто превращены в метаморфические сланцы.

Полнопроявленые березиты, к которым относятся и сами руды золота, сложены мономинеральными агрегатами кварца и карбоната с рассеянным крупночешуйчатым серицитом (мусковитом) и сульфидами и чаще всего имеют облик метаморфических сланцев с лепидогранобластовой структурой и сланцеватой или полосчатой текстурой (рис. 1).

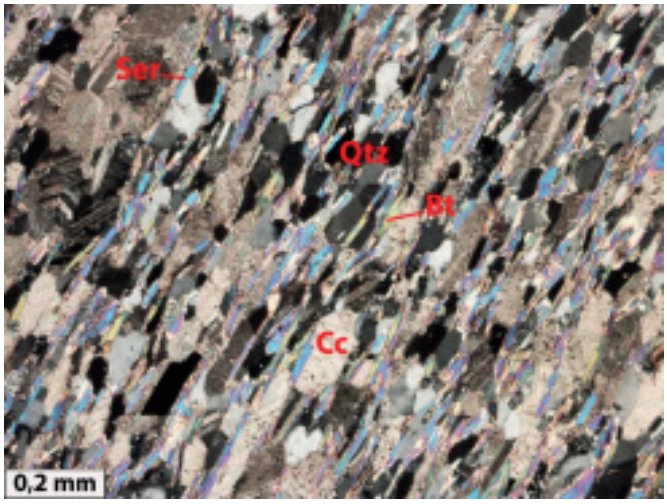


Рис. 1. Метаморфизованный березит (фация В3). Фото шлифа, с анализатором. Au – 10,9 г/т, As – 15,2 г/т, Sb – 11,5 г/т

Отдельные фрагментны березитов были устойчивы к воздействию более позднего метаморфизма, сохраняя при этом массивную текстуру. Наиболее высокие концентрации золота ассоциируют с березитами фации В3, обогащенными новообразованным карбонатом, который представлен магнезиально-железистой разностью кальцита с повышенными содержаниями марганца.

Прогрессивный региональный метаморфизм в минерализованных породах Олимпиадинского месторождения выразился в тотальной перекристаллизации и укрупнении зернистости минеральных ассоциаций березитов и серицитолитов, а также в появлении в их составе не свойственных им чужеродных по происхождению минеральных новообразований, более устойчивых в повышающихся *PT* условиях. Продукты регионального метаморфизма в виде пойкилобластических метакристаллов и порфиробластов биотита, маргарита, граната, хлоритоида, кордиерита, цоизита, амфибола, клинопироксена и других более редких минералов по отдельным трещинкам и зонам рассланцевания проникают в минеральные агрегаты березитов. При этом зерна кварца и карбоната березитов, как правило, интенсивно перекристаллизовываются, укрупняются, хлорит замещается биотитом и хлоритоидом, а рудные минералы (пирит и арсенопирит) замещаются пирротином.

Степень метаморфического воздействия на березитизированные породы в пределах Олимпиадинского месторождения варьирует в широких пределах – от полного их отсутствия до полнопроявленных метаморфитов. Намечается отчетливая тенденция ослабления интенсивности метаморфических преобразований минерализованных пород в восточном направлении.

Восточный фланг месторождения затронут метаморфическими изменениями достаточно слабо, тогда как в центральной и западной частях месторождения региональный метаморфизм выражен наиболее отчетливо, полностью захватывая весь объем ранее березитизированных золотоносных пород.

Для обработки геохимической информации был подготовлен геохимический массив данных объемом 526 объектов на 37 признаков – геохимических параметров. Матрица исходных данных подвергалась математической обработке с подсчетом основных статистических параметров. Далее на основе использования стандартной программы факторного анализа (метод главных компонент) осуществлялась операция по выявлению тонкой структуры корреляционных связей между геохимическими признаками (рис. 2).

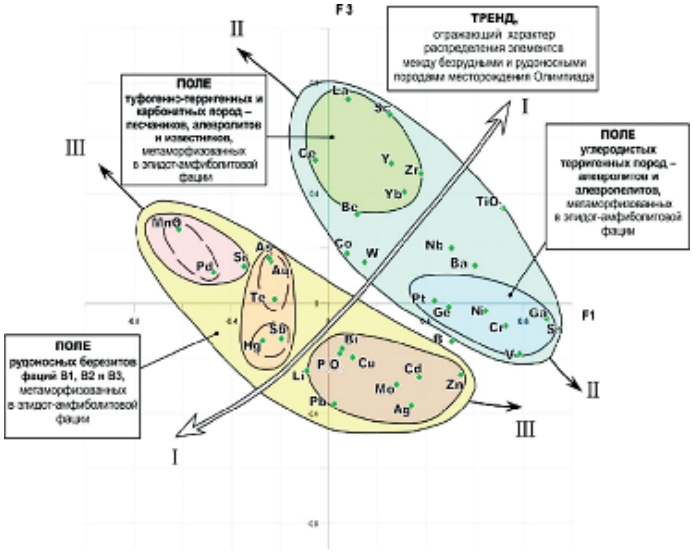


Рис. 2. Координатная диаграмма распределения факторных нагрузок (по I и III факторам) основных геохимических параметров в метаморфизованных березитах Олимпиадинского месторождения (526 проб, F1 = 19,1 %, F3 = 8,65 %)

Анализ факторной диаграммы и матрицы парных коэффициентов корреляции показывает, что геохимические особенности гидротермально измененных и метаморфизованных пород Олимпиадинского месторождения определяются следующими шестью ведущими ассоциациями скоррелированных элементов: R1 = Au-As-Te, R2 = Sb-Hg, R3 = Cu-Pb-Zn-Mo-Ag-Bi-Li-P, R4= = Pd-Mn-Sr, R5 = Ge-Ga-Ni-Co-Cr-Pt-V-Sn-B и R6 = La-Ce-Y-Yb-Zr-Nb-Be-Ti. Из них первые три имеют отчетливо рудогенную природу, а остальные три обусловлены процессами осадконакопления и метаморфизма пород. Для каждого из шести изученных буровых профилей строились карты-разрезы распределения как моноэлементных, так и мультипликативных геохимических параметров.

На площади Олимпиадинского месторождения устанавливается отчетливая латеральная зональность в распределении содержаний золота и сопутствующих ему элементов (As, Te, Sb, Hg, Pb, Cu, W). С запада, северо-запада на восток и юго-восток вслед за золотом в минерализованных породах месторождения происходит значительный высокоградиентный рост содержаний мышьяка, теллура, сурьмы и ртути. Близкую тенденцию поведения показывают свинец и медь. Противоположную тенденцию по сравнению с рассмотренными выше показывает вольфрам, содержания которого на разрезах западного фланга месторождения значительно выше, чем на разрезах его восточного фланга.

Изучение гидротермально-метасоматической зональности указывает на то, что восточный фланг месторождения эродирован в значительно меньшей степени по сравнению с центральной и западной частями месторождения. На основе этого можно прийти к выводу о том, что в первом приближении вертикальная рудно-геохимическая зональность Олимпиадинского месторождения должна выглядеть следующим образом (от нижне-рудных уровней к центрально-рудным и верхне-рудным уровням в направлении вектора максимальной геохимической изменчивости):

W-Bi-Mo → Cu-Co-(Au) → Au-As-Te → Sb-Hg-(Au).

Интегральная геохимическая формула, отражающая уровень концентрации элементов-примесей в ходе развития процесса березитизации-серицитолитизации всех трех фациальных разновидностей (B1 + B2 + B3) на Олимпиадинском месторождении выглядит следующим образом:

As + 1815 Au + 1553 Sb + 480 Hg + 299 Mn + 215 (Cu + 70 Te + 51 Co + 45 La + 42 Li + 36).

Геохимически они мало отличаются от околорудных березитов большинства орогенных золото-сульфидных месторождений. При этом березиты-серицитолиты фаций B3 и B2, наиболее обогащенные новообразованным марганцовистым карбонатом по сравнению с безкарбонатными гидротермалитами фации B1, характеризуются значительно более высокими значениями коэффициентов концентрации золота, мышьяка, сурьмы, ртути, теллура, меди, стронция, лития и легких РЗЭ (La, Ce).

Анализ полученных данных говорит о глубокой взаимосвязи между процессом березитизации (особенно фаций B2 и B3) и формированием положительных геохимических аномалий Au-As-Te состава, являющихся геохимическими индикаторами проявления золоторудной минерализации на Олимпиадинском месторождении.

Выявленные на территории Олимпиадинского месторождения петрографо-геохимические особенности проявления березитов-серицитолитов различных фациальных разновидностей указывают на то, что они по своему происхождению являются амагматическими тектоногенно-гидротермальными образованиями, сформированными в результате складчатости пород пестрого в литологическом отношении разреза углеродистых терригенных, кремнисто-терригенных и терригенно-карбонатных пород рифейского возраста, насыщенных метеорными (седиментационными) водами осадочного происхождения.

Золоторудная минерализация Олимпиадинского месторождения связана исключительно с проявлением процесса березитизации, а широко развитые на площади месторождения метаморфогенные парагенезисы кварц-биотит-мусковит-гранатового и кварц-хлоритоид-маргаритового состава с примесью кордиерита, клинопироксена, амфибола, цоизита, ильменита и пирротина являются «постберезитовыми», а значит и пострудными по отношению к золоторудной минерализации. Их влияние на формирование итогового состава и структуры аномальных геохимических полей, обусловленных проявлением процесса околорудной березитизации, было минимальным.

Региональный метаморфизм эпидот-амфиболитовой фации в ранее березитизированных породах месторождения сопровождался малозначимым перераспределением содержаний практически всех элементов в ту или иную сторону (привнос составил 10–60 %, а вынос 7–11 %), что никак не могло сказаться на интенсивности и конфигурации аномальных геохимических полей рудогенных элементов Au, As, Sb, Hg, Te и их спутников Mn, Cu, Co, Sr и др., сформированных на дометаморфическом этапе эволюции тектоногенно-гидротермальной рудоформирующей системы Олимпиадинского месторождения.

Аналогичные исследования, проведенные на других рудных объектах Верхнеенашиминского рудного узла – месторождениях Благодатное, Оленье, Титимухта – также свидетельствуют о дометаморфическом возрасте рудоносных березитов этих месторождений.

Список литературы:

1. Верниковский В. А., Верниковская А. Е. Тектоника и эволюция гранитоидного магматизма Енисейского кряжа // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 1. – С. 35–52.
2. Плющев Е. В., Ушаков О. П., Шатов В. В., Беляев Г. М. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. – Л. : Недра, 1981. – 262 с.
3. Плющев Е. В., Шатов В. В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. – Л. : Недра, 1985. – 247 с.
4. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ. – Т. 354. 2012. – 560 с.

5. Sazonov A. M., Lobanov K. V., Zvyagina E. A. et al. Olympiada Gold Deposit, Yenisei Ridge, Russia // Econ. Geol. – 2020. – № 23. – P. 203–223.

Керимли У. И., АбдуллаеваШ. Ф., Мамедова Т. А.
БГУ г. Баку, Азербайджанская Республика

ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ И ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ОРДУБАДСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

Рассматривается комплекс поисково-прогнозных критериев для выявления новых рудных месторождений в пределах Ордубадского рудного района. Определены поисково-прогнозные критерии для различных типов оруденения и выявлены региональные и локальные критерии. Разработаны региональные и локальные поисковые критерии.

Ключевые слова: Ордубад, региональные и локальные критерии, перспективные участки, прогнозная оценка.

Необходимо отметить, что поисковые работы в Ордубадском рудном районе проводятся с 1930-х годов. Между тем имеются старые выработки, указывающие на более ранние работы. На Шакярдаринском месторождении выявлена небольшая (предположительно глубиной 10–15 м шахта со штреками протяженностью до 50 м, где по архивным материалам XIX века проводилась разработка и выплавка меди кустарным способом. Вероятно, попутно с медью извлекалось и золото. По данным контрольного опробования содержание Au достигает 17 г/т. Это дает основание предположить, что здесь совместно с медью эксплуатировалось и золото. Позднее, начиная с 50-х годов двадцатого столетия, в результате целенаправленных поисково-разведочных работ был выявлен целый ряд месторождений редких, цветных и благородных металлов. Все эти месторождения контролируются зоной эндо- и экзоконтакта разновозрастных интрузивных комплексов Мегри-Ордубадского батолита с вмещающими породами верхнего мела и палеогена. В связи с этим, основными поисковыми критериями для постановки работ в исследуемом районе являются: 1) наличие металлоносного Мегри-Ордубадского интрузивного комплекса; 2) парагенетическая и пространственная связь оруденения с вулканогенными комплексами; 3) благоприятные геолого-структурные условия для локализации различных типов руд [1].

Региональные критерии. Основным структурным элементом, определяющим положение рудных полей, являются крупные разломы, выраженные зонами повышенной трещиноватости, окварцеванием и дайковыми полями, интрузивными телами, в том числе малыми. Приуроченность подавляющего большинства месторождений и рудопроявлений гидротермального генезиса к этим разломам дает основание считать их важнейшими структурами, контролирующими распределение золоторудного и золотосодержащего оруденения. Они служат оперяющей структурой глубинного Кедабек-Далидагского линеамента. Направление этих зон разломов, как правило, соответствует общей вытянутости батолита (СЗ 310–350º). Такими разломами в пределах исследуемой области являются (с северо-востока на юго-запад): Гурдмейданский, Главный Ордубадский, Пазмаринский, Кялякинский и др. Все рудные зоны расположены в пределах этих разломов [1–3].

Локальные поисковые критерии. Не менее важную роль для локализации оруденения сыграли также разломы второго порядка и сопряженные с ними разрывные нарушения (третьего порядка), имеющие СВ простирание. Наиболее благоприятные обстановки локализации оруденения сосредоточены в узлах сопряжения таких зон трещиноватости с благоприятными литологическими предпосылками. Зоны повышенной трещиноватости сопровождаются серией параллельных сближенных даек различного состава и возраста (особенно дайки порфиров), претерпевшими интенсивный метасоматоз (пропилитизация, окварцевание, хлоритизация), которые служили путями для циркуляции гидротермальных растворов, и в пределах которых наблюдается резкая смена геологических формаций. Минералогические признаки включают наличие пирита и халькопирита, а также большое количество генераций сульфидов. Наиболее

информативные геофизические предпосылки – наличие достаточно интенсивных аномалий ВП и ЕП. Зачастую такие узлы сопряжения контролируются кольцевыми и дугообразными глубинными структурами разной генетической природы, выделяемыми по АФС и КФС. С подобными структурами часто связаны месторождения рудных полезных ископаемых [3].

Структурный контроль для различных типов оруденения проявляется по-разному и дифференцируется по своей значимости. Для комплексного золото-медно-молибденового оруденения (Агюрт) важнейшую роль играют трещины отрыва и скола. При этом зоны, приуроченные к трещинам скола, могут быть с поверхности выщелоченными, а рудный кварц представлен заохренными, местами темно-серыми разрыхленными, сыпучими разновидностями с интенсивной прожилковой вкрапленностью сульфидов.

Дополнительным благоприятным фактором является наличие локальных структур субмеридионального и близширотного простирания, от которых оперяются рудовмещающие структуры. К участкам пространственной и генетической сопряженности этих структур с зонами повышенной трещиноватости на одних и тех же площадях приурочены оруденения различных типов: золото-кварц-сульфидные жилы и жильные зоны, золото-медно-молибденовые жильные зоны и медно-полиметаллические жилы, рудные штокверковые тела, столбы концентрированного оруденения. Причем последние тяготеют к участкам сопряжения жил с породами фронтальной зоны метасоматитов, то есть к выходу жил в слабопроницаемые блоки пород, где единственным флюидопроводником остается рудовмещающая трещина, куда и устремляется весь поток гидротермальных растворов [1].

Для жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения (Пъязбаши и др.) ведущую рудоподводящую и рудолокализующую роль играли сбросы, сбросо-сдвиги и взбросо-сдвиги северо-западной (субмеридиональной) и сопряженной с ней субширотной ориентировки. Узлы сопряжения разломов вышеобозначенной ориентировки были флюидоподводящими для комплексного золото-медно-молибденового оруденения и рудолокализующими для жильного золото-кварц-сульфидного типа. В граносиенитах и сиенит-диоритах, помимо этого, существенную роль в размещении кварцевых жил могут играть трещины контракции (Агюрт).

Среда рудоотложения играла решающую роль для различных типов оруденения. Важную роль при этом играют минеральный состав, химизм и структурно-текстурные особенности вмещающих пород. Так, для комплексного золото-медно-молибденового оруденения определяющее значение имело размещение его в граносиенитовых интрузивах. Шлировые кварцевые сиенит-диориты являются наиболее распространенными породами в Агюртском месторождении и часто содержат рассеянную вкрапленность пирита, иногда халькопирита (по скважинам и штольням), реже молибденита, пирита (на участках развития гидротермальных процессов). Геологическое положение размещения золото-медно-молибденовых рудных тел показывает, что совокупность структурных и петрогенетических факторов не только предопределяет образование месторождений Агюртского типа, но и обусловливает *горизонтальную* и *вертикальную* зональность оруденения. На этих месторождениях устанавливается увеличение содержания молибдена и уменьшение меди с глубиной. Такая же закономерность наблюдается в горизонтальном направлении: по мере удаления от интрузивного массива и рудовыводящего канала, наблюдается переход от медно-молибденового оруденения к медному и далее полиметаллическому, то есть увеличивается роль меди, затем свинца и цинка. Горизонтальная зональность на Агюртском месторождении выражается в повышении содержания золота и общего количества сульфидов по мере удаления от Главного Ордубадского разлома, а вертикальная в повышении содержания золота и уменьшений серебра с глубиной [1, 4].

Жильные золото-сульфидно-кварцевые месторождения Пъязбашинского типа предпочтительно локализуются в толщах ксенотуфов и туфов андезитов, менее – в известковистых туффитах и туфах андезито-базальтов эоцена, что является отражением их физико-механических особенностей. Часто оруденение приурочено к провисам кровли, сложенным андезитовыми порфиритами. Вулканогенная толща тектонически значительно более сильно нарушена, чем вулканогенно-осадочные части разреза эоценовых отложений. Породы этого подъяруса, облекающие блоки консолидированных пород Мегри-Ордубадского батолита, деформировались при тектонических перемещениях последних. По мере удаления от контакта батолита степень тек-

тонических деформаций постепенно затухает. Поэтому породы вулканогенной толщи осложнены многочисленными дорудными нарушениями в виде секущих разломов и трещин. Причем, некоторые из этих нарушений не проникают в вышележащие горизонты и затухают по мере проникновения в них (данные подземных горных выработок и буровых скважин). Эти «слепые» структуры являются весьма благоприятными для локализации золотосульфидного оруденения. В концентрации золото-кварц-сульфидного оруденения немаловажную роль сыграли также интрузивные выступы во вмещающие породы с развитием рудоподводящих Главного Ордубадского и рудовмещающих Пазмаринского и Кялякинского разломов, контролирующих размещение вулканических аппаратов, субвулканических и жерловых образований, а также малоамплитудных и мелких разрывов и рудовмещающих систем трещин с кварцево-сульфидными жильными телами [6].

Магматические критерии имели важное значение в концентрации и осаждении рудных компонентов из гидротермальных растворов. Отмечается четкая связь трещиноватости с тектонической активностью магмы, давшей Мегри-Ордубадский батолит. Выделенные системы трещин присущи не только интрузивным телам. В одних случаях они выходят за пределы последних и являются наложенными на массив, повторяя трещиноватость вмещающих эоценовых вулканитов, а в других связаны с формированием и образованием веера разнонаправленных крутопадающих трещин, что «хорошо увязывается с вертикальным тектоническим воздействием не застывших частей магмы на кристаллизованную часть массива и его роговики, при отсутствии каких-либо преобладающих тангенциальных давлений в этот период деформаций». Почти все месторождения и проявления исследуемой области пространственно приурочены к магматическим породам и располагаются внутри, реже в эндо- и экзоконтакте, а также в контактовых зонах между отдельными фазами Мегри-Ордубадского батолита в их сильно трещиноватых разновидностях, особенно в граносиенитовых массивах и ассоциирующих дайковых телах батолита, которые представляли непроницаемую преграду для рудоносных гидротерм и способствовали концентрации оруденения в более трещиноватых вмещающих породах. Во всех случаях унаследованы направления рудовмещающих тектонических трещин, возникших в результате вулканических процессов, становления батолита и поздних тектонических подвижек. Особенно важную роль сыграли крупные кольцевые, дугообразные и более локальные структуры «точечного» типа, трубообразные тела брекчий, сформировавшихся в связи с камуфлетными явлениями в вулканических аппаратах. Эти структуры после подновления и в предрудное время оказали существенное влияние на размещение золото-кварц-сульфидных жил, при этом важная роль принадлежит вулкано-тектоническим структурам Пъязбашинского вулканического аппарата [1, 2].

Из прямых поисковых признаков необходимо отметить наличие непосредственных выходов рудных жил и зон на поверхности. Повышенное содержание сульфидов также является поисковым признаком. Поисковыми признаками также служат метасоматические образования (скарны, грейзены, кварциты) и установленная парагенетическая связь медно-молибденовой минерализации с диорит-порфиритовыми и гранодиорит-порфировыми дайками (Диахчай, Мисдаг, Гек-гель), а также валуны и обломки руд, встречающиеся в современных отложениях.

Критерии оценки. Наиболее общими критериями являются пространственная и генетическая связь золото-медно-молибденового, золото-сульфидно-кварцевого и золото-медно-полиметаллического оруденения с вулкано-плутоническим комплексом. Кварцево-жильные зоны с золотым оруденением исследуемого района приурочены к эндоконтакту Мегри-Ордубадского батолита, представленного монцонитами, граносиенитами, сиенитами. Опробование этих зон (Агюрт и др.) показало убогое содержание золота. Сравнительно высокое его содержание получено из кварц-карбонатных зон, пространственно приуроченных к малым интрузивным телам. Высокое содержание золота приурочено к более окварцованным участкам зон с сульфидным оруденением. Следовательно, вся эндоконтактовая полоса Мегри-Ордубадского батолита является перспективной в отношении благородных металлов и заслуживает постановки детальных поисковых работ.

Пъязбашинское месторождение золота приурочено к экзоконтактовой полосе Мегри-Ордубадского батолита с вулканогенными и вулкано-осадочными породами эоцена. Месторождение

ограничивается тектоническими нарушениями, заполненными раздробленным, заохренным, окварцованным материалом. Туфы, туффиты андезитов, андезит-базальтов вулканогенной толщи эоцена прорваны дайками и различными кварцевыми, кварц-карбонатными зонами. Оруденение представлено жилами и прожилками, приуроченными к тектоническим трещинам, осложненным последующими интрарудными подвижками вдоль зальбандов. Формирование этих жил тесно связано с окварцеванием, серицитизацией и слабой пиритизацией боковых пород, что обусловлено образованием крупных тещин СВ простирания. Здесь также необходимо осуществление детальных поисковых работ [2].

Существенное значение для целей поисков и оценки имеет определение *вертикального размаха оруденения* в пределах золоторудных и золотосодержащих месторождений. Прежде чем приступить к определению вертикального размаха оруденения в конкретных рудных телах и рудных столбах, следует определить весь вертикальный интервал, в пределах которого возможно обнаружение оруденения в виде сменяющих друг друга по падению рудных столбов, кулис, штокверков или в виде сменяющих друг друга по вертикали пологих рудных тел. Судя по гипсометрии выходов золотосодержащих кварцево-рудных жил на современном эрозионном срезе и на смежных площадях, вертикальный размах благороднометалльной минерализации на Пъязбашинском месторождении составляет 400–700 м (в Агюрте – 600 м выше), а разница абсолютных отметок выходов золоторудных жильных тел на дневную поверхность – более 200–300 м. Учет фактора эрозионного среза интрузивных массивов, где устанавливается зависимость особенностей состава и оруденения от глубины их вскрытия, позволяет с большой достоверностью оценивать перспективы различных частей исследуемой области. Действительно, с различной глубиной формирования золото-медно-молибденовых залежей по-разному проявились процессы гидротермального метаморфизма, а также парагенетические ассоциации рудных и петрогенных компонентов. Отмечаются вертикальная и горизонтальная зональности по отношению к Главному Ордубадскому разлому, а в рамках рассматриваемого рудного поля – Пазмаринскому (Контактовому) разлому, вблизи которого отмечаются кварц-молибденитовые жилы небольшой протяженности, постепенно сменяющиеся (в СВ и ЮЗ направлениях) золото-кварц-сульфидными и далее кварц-полиметаллическими жилами (горизонтальная зональность). При этом для месторождений больших глубин характерна промышленная концентрация в основном молибдена и формирование метасоматической колонки, где наиболее полно проявляются процессы калишпатизации, биотитизации, эпидотизации и актинолитизации (Парагачай и др.); для месторождений средних глубин формирования характерна концентрация преимущественно меди и золота, при подчиненной роли петрогенных парагенезисов щелочной стадии выщелачивания (альбитизации) и относительно широком развитии продуктов кислотной стадии выщелачивания (окварцевание, серицитизация, хлоритизация) (Агюрт, Пъязбаши и др.). Месторождениям малых глубин присущи концентрации меди, золота, резкое увеличение свинца и цинка и практическое отсутствие молибдена (Агдара, Насирваз и др.) [1–3].

Из основных критериев оценки конкретных месторождений также можно отметить: а) наличие локальных узлов пересечения разновозрастных даек, субвулканических интрузий и разрывных нарушений, а также интенсивно трещиноватых блоков, пересеченных дайками, субвулканическими телами или долгоживущими разломами; б) интенсивное проявление дорудных гидротермально-метасоматических процессов различных глубин становления (больших и средних глубин, близповерхностных), а также их сочетаний.

Прогнозная оценка. В соответствии с разработанными поисковыми критериями дана прогнозная оценка на золото и комплексное оруденение. Превалирующие методы оценки – по аналогии, проводимой в соответствии с «Методическим руководством по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» (– М., 1989) и «Методическим руководством по оценке прогнозных ресурсов» (Выпуск «Золото». – М., 2002).

Намечаются следующие главнейшие принципы прогнозирования на золото и комплексное оруденение:

1) переоценка металлогенического профиля юго-западной контактовой полосы Мегри-Ордубадского гранитоидного интрузива с данными о закономерностях размещения основных промышленных типов золотого оруденения с выделением эндо- и экзоконтактовых обстановок

их локализации, что является основой к разработке методов регионального прогнозирования; 2) важная роль блоковых структур в локализации золотого и комплексного оруденения и мобильность, формирующие эти блоки разломов в период, непосредственно предшествовавший оруденению. Особенное значение эти структуры имеют в связи с возможной податливостью отдельных горизонтов, слагающих мобильные блоки; 3) выявление рудоконтролирующих зон (проявление магматизма, гидротермальный процесс, наличие рудопроявлений различных металлов и др.), определяющих в пересечении со структурами других направлений позицию промышленных рудных полей и перспективных рудопроявлений; 4) установление роли закономерностей развития складчатой и дизъюнктивной тектоники региона и выделение рудоконтролирующей роли СЗ структур. По масштабу проявления разрывные нарушения разделяются на четыре группы I, II, III и IV порядка, в результате взаимопересечения которых область расчленяется на множество блоков разных порядков, сложенных различными и разновозрастными породами; 5) при прогнозах на выявление слепых залежей месторождений Агюртского и Пъязбашинского типов в качестве благоприятных признаков следует ориентироваться: а) на наличие проявлений интрузивных и субвулканических образований и гидротермальной минерализации во фланговых частях блоков; б) на установление (с применением геофизических исследований) блоковых подвижек фундамента; в) на возможное экранирующее влияние тех или иных структурных элементов (например, пологих тектонических зон) или литологически благоприятных горизонтов [1, 4, 5].

Исходя из конъюнктуры приоритетных типов благороднометалльного оруденения в условиях перспективных площадей, прогнозные ресурсы по перспективности и очередности проведения работ разделены на следующие группы: 1) экономически эффективные ресурсы для текущего развития минерально-сырьевой базы (Агюртское, Мунундаринское, Пъязбашинское); 2) экономически эффективные ресурсы для формирования резервных объектов минерального сырья (Шакярдара-Кялякинская золотоносная полоса, Учурдаг); 3) ресурсы для перспективного планирования развития минерально-сырьевой базы – объекты жильного золото-кварц-сульфидного (Башюрт), некоторые золото-медно-молибденовые (Тохлыгядык) типы.

Список литературы:

1. Баба-заде В. М., Каландаров Б. Г., Керимли У. И., Абдуллаева Ш. Ф., Имамвердиев Н. А., Металлогения Азербайджана и перспективы поисков и прогноза месторождений благородных и цветных металлов // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2012. – №3. – С. 98–112.
2. Керимли У. И. Пространственная и генетическая сопряженность благороднометалльного, медно-полиметаллического, медно-молибденового и медно-порфирового оруденения Мисхано-Зангезурской зоны // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2012. – № 4. – С. 75–82.
3. Керимли У. И. Структура Агюртского месторождения и структурный контроль золото-медно-молибденового оруденения (Мисхано-Зангезурская зона, Малый Кавказ) // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2012. – № 1. – С. 110–134.
4. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1983. – 256 с.
5. Мансуров М. И. Поисково-прогнозные критерии выявления перспективных участков и новых типов оруденения Муровдагского горст-поднятия // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных науки. – 2013. – № 4. – С. 104–115.
6. Рамазанов В. Г., Керимли У. И. Формирование золото-кварц-сульфидных жил Пъязбашинского месторождения и некоторые закономерности их размещения // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2012. – № 2. – С. 124–144.

Кетров А. А.[1], **Юдовская М. А.**[2,3] **Шелухина Ю. С.**[4], **Веливецкая Т. А.**[5], **Паламарчук Р. С.**[6]
[1] ООО «Норникель Технические Сервисы», г. Санкт-Петербург; [2] ИГЕМ РАН, г. Москва;
[3] CIMERA, Университет Витватерсранд, г. Йоханнесбург; [4] ООО «Лаборатория изучения минерального сырья»; [5] ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток; [6] ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс

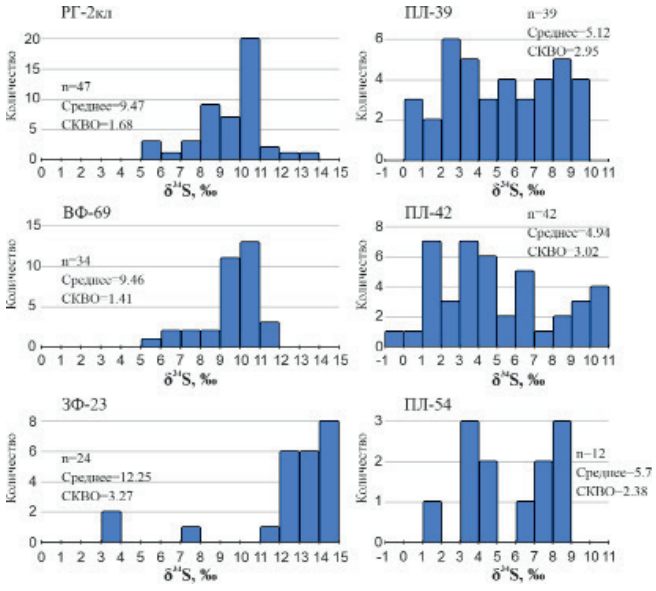
ИСТОЧНИКИ И ЭВОЛЮЦИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СЕРЫ СУЛЬФИДОВ ХАРАЕЛАХСКОГО И ПЯСИНО-ВОЛОГОЧАНСКОГО ИНТРУЗИВОВ (НОРИЛЬСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

На основе представительного объема новых данных по изотопному составу сульфидов Хараелахского интрузива показано, что сульфидная жидкость вкрапленных и массивных руд испытала прогрессирующее обогащение изотопно-тяжелой серой в направлении от корневых-тыловых частей к фронту внедрения. Установленная тенденция не согласуется с моделями, предполагающими первичный изотопно-тяжелый состав серы в глубинном источнике. Рассматриваемая генетическая модель предполагает разложение сульфатов в ореоле интрузива и восстановление сульфатной серы углеводородами с последующей ассимиляцией магмами сероводородных газов.

Ключевые слова: базит-ультрабазитовые интрузивы, PGE-CU-NI сульфидные руды, магматические сульфиды, норильский рудный район, изотопный состав серы.

Изотопно-тяжелый состав серы сульфидов является одним из отличительных признаков, выделяющих промышленно-рудоносные интрузивы из ряда многочисленных слабооруденелых (забалансовых) и безрудных базит-гипербазитовых интрузивов Норильского региона. Наши исследования были направлены на определение источников серы рудных сульфидов и изменчивости их вклада в ходе внедрения интрузивов. Мы показываем на большом числе данных (230 изотопных определений серы), что сульфидная жидкость промышленно-рудоносного интрузива испытала прогрессирующее обогащение изотопно-тяжелой серой в направлении от корневых-тыловых частей к фронту внедрения.

Глубокозалегающие части Хараелахского интрузива (глубина залегания более 1600 м) изучены нами в разрезах скважин РГ-2кл и ВФ-69, где среднее значение $\delta^{34}S$ первично-магматической сульфидной ассоциации составляет 9,4 ± 1,68 ‰ (n = 47) и 9,4 ± 1,41 ‰ (n = 34) (рисунок) соответственно. Несмотря на идентичность средних значений $\delta^{34}S$ сульфидов указанных разрезов, контрастно по этому параметру различаются сульфиды высокомагнезиальных пород. В скважине РГ-2кл отношения изотопов серы сульфидов в пикритовых габбродолеритах изменяется от 5,2 до 8,9 ‰, в среднем составляя 7,4 ± 1,38 ‰ (n = 12), тогда как в скважине ВФ-69, в том же горизонте значение $\delta^{34}S$ сульфидов изменяется от 8,5 до 10,7 ‰, в среднем составляя 9,5 ± 0,72 ‰ (n = 12).



Вариации изотопного состава серы сульфидов Хараелахского (скважины РГ-2кл, ВФ-69, ЗФ-23) и Пясино-Вологочанского интрузивов (скважины ПЛ-39, ПЛ-42, ПЛ-54)

Во фронтальной части интрузива, залегающей на глубинах до 600 м (скважина ЗФ-23), сера сульфидов в пикритовых габбродолеритах значительно утяжеляется – $\delta^{34}S$ = 14,0 ± 0,68 ‰, n = 9), то же происходит с сульфидами густовкрапленных и богатых руд ($\delta^{34}S$ = 12,9 ± 1,35 ‰, n = 6), оливинсодержащих и нижних контактовых габбродолеритов ($\delta^{34}S$ = 12,8 ± 0,55 ‰, n = 6).

Таким образом, в пределах Хараелахского интрузива установлена латеральная изменчивость изотопного состава серы сульфидов. На западном фланге интрузива, в первично-магматических сульфидах, величины $\delta^{34}S$ в среднем составляют 12,2 ± 3,27 ‰ (n = 24) (см. рис.). Без учета маломощного тела призматически-зернистых габбродолеритов с аномальными значениями $\delta^{3}4S$ = = 4,4 ‰ (n = 3) в основной массе оруденения значение $\delta^{34}S$ составляет 13,4 ± 1,05 ‰ (n = 21). В целом на глубинах залегания свыше 1700 м изотопный состав серы в среднем составляет 9,4 ± ± 1,68 ‰ (n = 47).

Различия в изотопном составе серы сульфидов двух серий пород, установленных в глубинной части Хараелахского интрузива (скважина РГ-2кл), оспаривают ранние выводы о гомогенности изотопных отношений серы сульфидов в промышленно-рудоносных интрузивах [2, 11]. Установленные различия в распределении величин $\delta^{34}S$ сульфидов и различия в петрохимическом составе пород в вертикальном разрезе указывают на становление Хараелахского интрузива по механизму множественных внедрений, а латеральная изменчивость изотопного состава серы сульфидов отражает прогрессирующую степень восстановления сульфатной серы по мере продвижения порций рудоносной магмы к месту ее современного залегания.

В разрезах слаборудоносного Пясино-Вологочанского интрузива (скважины ПЛ-39, ПЛ-42 и ПЛ-54) проявлена незакономерная гетерогенность изотопного состава серы сульфидов: значение $\delta^{34}S$ изменяется от -0,1 до +10 ‰ (см. рис.) независимо от минерального состава пород и их положения в разрезе. При этом наблюдается отчетливая положительная корреляция содержания серы в породе и ее изотопного состава в сульфидах. По латерали интрузива с учетом наших данных и данных предшественников [1, 2, 9, 11] диапазон вариаций изотопного состава серы сульфидов не меняется, как не меняется и степень рудоносности массива.

Попытки смоделировать образование изотопно-тяжелых сульфидов Октябрьского месторождения привели Л. Н. Гриненко [10] к выводу, что источниками серы для сульфуризации магмы промышленно-рудоносных интрузивов были сероводородсодержащие газовые бассейны. Однако сера газонефтяных бассейнов имеет широкий диапазон вариаций и обычно обеднена тяжелым изотопом примерно на 15 ‰ относительно синхронных ангидритов и гипсов [13]. Происхождение H_2S с тяжелым изотопным составом серы обсуждается в недавней работе В. В. Рябова с соавторами [6], которая рассматривает возможность восстановления сульфатной серы в процессе абиогенной сульфаторедукции при взаимодействии углеводородов с ангидритом. Авторы предполагают, что при высокотемпературном взаимодействии углеводородов с сульфатами и большом объеме вовлечения в этот процесс последних будет образовываться сероводород, изотопный состав серы которого будет максимально приближен к таковому осадочного ангидрита.

Отсутствие признаков избыточного кальция как следствия переработки ангидрита часто рассматривается как свидетельство отсутствия ассимиляции последнего. Однако избыточный кальций при раннемагматической ассимиляции и восстановлении ангидрита до сероводорода мог внести вклад в формирование пород, богатых высококальциевым плагиоклазом, таких как лейкогаббро и такситовые габбродолериты краевых серий [6, 12]. Как известно, промышленно-рудоносные интрузивы Талнахского и Норильского рудного узлов содержат горизонты крупнозернистых лейкогаббро, состоящих на 70–80 % из основного кумулусного плагиоклаза [5]. Кроме того, на флангах промышленно-рудоносных интрузивов широко развиты маломощные площадные силлы габбродолеритов (интрузивы круглогорского типа), в которых лейкогаббро являются характерными породами и нередко слагают до половины мощности силла [8]. Объемы лейкогаббро как в самом теле интрузива, так и на его флангах, находятся в прямой зависимости с количеством сульфидного расплава, внедрившегося несколько позже с основной массой магнезиальных пород [5] и, возможно, являются индикаторами масштабности процессов сульфат-редукции.

Исходя из геологического строения Хараелахского интрузива и данных по изотопному составу серы сульфидов можно предположить, что интрузив образован в результате множественных

инъекций рудоносной магмы, которая испытала длительную по времени кристаллизационную дифференциацию в протяженной по латерали промежуточной магматической камере или подводящем канале, локализованных в нижне-среднепалеозойской осадочной толще, где происходило стягивание пластовых флюидов и восстановление сульфатной серы.

Родоначальные магмы Пясино-Вологочанского интрузива, так же как и родоначальные магмы Хараелахского интрузива, испытали кристаллизационную дифференциацию и ассимиляцию в верхнекоровом промежуточном очаге. Однако время существования очага и транспорта было недостаточным для масштабных процессов сульфаторедукции и последующей сульфуризации магм сероводородными газами. Прямая корреляция между значениями $\delta^{34}S$ и содержанием серы, а также отсутствие богатых руд в Пясино-Вологочанском интрузиве указывают на кратковременность или неэффективность сульфидно-силикатного обмена, в результате чего образовывалось малое количество сульфидного расплава, изотопный состав серы которого не успел гомогенизироваться. Необходимо отметить, что Пясино-Вологочанский интрузив характеризуется гораздо меньшей степенью дифференциации [7], и, что наиболее важно, в его разрезе практически отсутствуют горизонты крупнозернистых лейкогаббро и такситовых габбродолеритов, а на флангах интрузива не выявлены силлы с крупнозернистыми лейкогаббро, что также согласуется с предлагаемой гипотезой.

Авторы выражают благодарность руководству ПАО «ГМК "Норильский никель"» и ООО «Норильскгеология» (сейчас «НН Технические Сервисы») за финансовое обеспечение полевых экспедиционных и аналитических работ, за постоянный интерес, внимание и помощь в проводимых исследованиях.

Список литературы:

1. Гриненко Л. Н. Генетическая модель формирования сульфидных медно-никелевых месторождений на основании изотопно-геохимических данных // Построение моделей рудообразующих систем / отв. ред. В. И. Сотников. – Новосибирск : Наука, 1987. – С. 119–128.
2. Изотопная геология норильских месторождений / под ред. О. В. Петрова. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2017. – 348 с.
3. Коваленкер В. А., Гладышев Г. Д., Носик Л. П. Изотопный состав серы сульфидов из месторождений Талнахского рудного узла в связи с их селеноносностью // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1974. – № 2. – С. 80–91.
4. Криволуцкая Н. А. Мантийная природа изотопно-тяжелой серы в рудах Норильских месторождений // Доклады академии наук. – 2014а. – Т. 454, № 3. – С. 319–321.
5. Лихачев А. П. Возможность самообогащения рудным веществом и тяжелым изотопом серы (34S) мантийных магм, формирующих платино-медно-никелевые месторождения и перспективное место для локализации руд в Норильском районе // Отечественная геология. – 2019. – № 3. – С. 32–49.
6. Рябов В. В., Симонов О. Н., Снисар С. Г., Боровиков А. А. Источник серы сульфидных месторождений в траппах сибирской платформы по изотопным данным // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 8. – С. 1176–1194.
7. Служеникин С. Ф., Криволуцкая Н. А. Пясино-Вологочанский интрузив: геологическое строение и платино-медно-никелевые руды (Норильский район) // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 5. – С. 424–444.
8. Служеникин С. Ф., Малич К. Н., Григорьева А. В. Базит-гипербазитовые дифференцированные интрузивы круглогорского типа: петрология и рудоносность (Норильский район) // Петрология. – 2018. – Т. 26, № 3. – С. 282–316.
9. Служеникин С. Ф., Малич К. Н., Туровцев Д. М. Зубовский тип дифференцированных базит-гипербазитовых интрузивов Норильского района: петрогеохимические характеристики и рудоносность // Петрология. – 2020. – Т. 28, № 5. – С. 511–544.
10. Grinenko L. N. Sources of sulfur of the nickeliferous and barren gabbro-dolerite intrusions of the northwest Siberian platform // International Geology Review. – 1985. – V. 28. – P. 695–708.
11. Malitch K. N., Latypov R. M., Badanina I. Yu., Sluzhenikin S. F. Insights into ore genesis of

Ni-Cu-PGE sulfide deposits of the Noril'sk Province (Russia): evidence from copper and sulfur isotopes // Lithos. – 2014. – V. 204. – P. 172–187.
12. Sluzhenikin S. F., Yudovskaya M. A., Barnes S. J., Abramova V. D., Le Vaillant M., Petrenko D. B., Grigor'eva A. V., and Brovchenko V. D. Low-sulfide platinum group element ores of the Norilsk-Talnakh camp // Economic Geology. – 2020. – V. 115/ – P. 1267–1303. – doi:10.5382/econgeo.4749.
13. Thode H. G., Monster J. Sulphur isotope geochemistry of petroleum, evaporites and ancient seas // AAPG Memorial Guidelines. – 1965. – № 4. – P. 367–377.

Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Смирнов М. Ю., Кирсанов Г. А.
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ – НОВЫЙ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Рассматриваются перспективы применения гиперспектральных данных для решения прогнозно-поисковых задач. Показана технологическая цепочка обработки и интерпретации данных, разработанная во ВСЕГЕИ для выявления гидротермально-метасоматических пород как индикаторов полезных ископаемых. Приводятся результаты использования гиперспектральных данных на участке Кузнецовский в пределах Ужунжульского золоторудного узла в виде вероятных спектрометрических ореолов, отражающих участки локализации околорудных изменений.

Ключевые слова: прогнозно-поисковые работы, гиперспектральные данные дистанционного зондирования Земли, минералы-индикаторы, гидротермально-метасоматические породы, спектральная библиотека, спектральный анализ, геохимические данные.

Необходимость повышения прогнозно-поисковой эффективности региональных геологических работ с целью пополнения фонда перспективных объектов определяет актуальность проведения исследований с использованием новых источников информации, в том числе гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) нового поколения [1–3]. Технологии получения гиперспектральных данных основаны на построении изображений земной поверхности в каждом из узких интервалов (нанометры), регистрируемого спектра электромагнитных волн как отраженного, так и собственного теплового излучения природных и антропогенных объектов. Многие минералы и горные породы имеют уникальный спектр отражения и поглощения и могут быть по ним диагностированы. Спектральные характеристики минералов и горных пород отличаются большим разнообразием и определяются параметрами их состава, строения и состояния. Обработка данных в видимом и ближнем инфракрасном VNIR (0,380–0,970 мкм) диапазоне, позволяет выявлять аномалии, содержащие оксиды и гидроксиды железа и геоботанические аномалии. А в среднем инфракрасном SWIR (0,970–2,500 мкм) диапазоне диагностируется содержание анионных групп, таких как Al-OH, Mg-OH, Fe-OH, Si-OH, карбонатов, аммония и сульфатов. Генетическая связь рудообразования с гидротермально-метасоматическими процессами установлена многими исследованиями и отражена в многочисленных публикациях [4]. Учитывая то, что рудные компоненты во многих типах месторождений составляют лишь незначительную долю общей массы, индикаторами рудных тел являются околорудные изменения рудовмещающих пород (грейзенизация, скарнирование, пропилитизация, березитизация, окварцевание, серицитизация, хлоритизация, карбонатизация, сульфидизация и проч.), которые могут быть диагностированы на материалах гиперспектральных съемок. Это позволяет прогнозировать распространение околорудных гидротермально-метасоматических изменений пород, т. е. еще на предварительном этапе поисковых работ определять участки вероятной локализации оруденения. Поэтому основная задача исследований – идентификация зон гидротермально измененных пород как индикаторов залежей полезных ископаемых. Обязательным элементом анализа гиперспектральных снимков является наличие спектральной библио-

теки, которая представляет собой коллекцию спектров отражения различных минералов и горных пород, полученных в полевых условиях или в лаборатории. Для создания такой библиотеки спектров во ВСЕГЕИ применяется полевой полнодиапазонный портативный спектрорадиометр PSR+ (имеет 1024 канала в спектральном диапазоне 350–2500 нм, спектральное разрешение 0,3–0,8 нм). Многие минералы и горные породы имеют уникальный спектр отражения и поглощения и могут быть выделены по этим спектрам при анализе гиперспектральных изображений. Спектральный анализ гиперспектральных данных, с использованием спектральной библиотеки минералов и горных пород позволяет диагностировать индикаторные минералы, их ассоциации (породы) и определять пространственное распределение, в том числе околорудных гидротермально-метасоматических изменений с целью прогнозирования площадей, благоприятных для локализации оруденения. Разработка новых технологических решений вызвана необходимостью повышения достоверности интерпретации результатов спектрального анализа ГДО на стадии прогнозно-поисковых работ, представленных в виде схем распространения минералов, индикаторных пород и спектрометрических аномалий. Для решения этой задачи целесообразно привлекать геохимические данные, которые представлены широким спектром специализированных карт: в виде моно- и/или поликомпонентных карт минералов Au, Ag, W, Cu, Mo, Sn, Pb, Zn, TR и др., первичных геохимических ореолов рассеяния, литохимических аномалий в донных осадках (потоки рассеяния), аномалий химических элементов в первичных ореолах рассеяния, мультипликативные геохимические ореолы и др., а также комплектом опережающих геохимических основ, включающего карты – прогнозно-геохимические, рудогенных геохимических аномалий, геохимической специализации геологических образований и др.

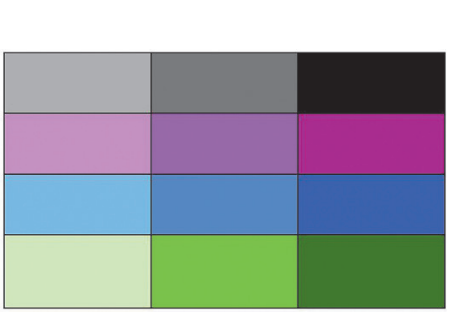
В Центре дистанционных методов природоресурсных исследований (ФГБУ «ВСЕГЕИ») в настоящее время разработана и внедряется в практику новая технология, основанная на спектральном анализе гиперспектральных дистанционных основ (ГДО) по аэроснимкам, с использованием библиотеки спектров для выявления ассоциаций минералов-индикаторов гидротермально-метасоматических пород с целью локализации площадей поисковых работ. Технология работ включает ряд последовательных операций:

- анализ минерагенических особенностей месторождения или рудного поля и определение минералов-индикаторов и их ассоциаций, соответствующих околорудным изменениям пород;
- создание спектральной библиотеки минералов-индикаторов гидротермалитов-метасоматитов и самих пород, полученных путем спектрометрирования эталонных образцов с рудного поля полевым спектрометром;
- создание ГДО;
- спектральный анализ ГДО всей площади поисковых работ с использованием спектров эталонных пород;
- диагностику минералов-индикаторов гидротермально-метасоматических пород;
- определение типов и разновидностей гидротермально-метасоматических пород по ассоциациям породообразующих минералов-индикаторов;
- выделение спектрометрических аномалий, отражающих зоны гидротермально-метасоматических изменений пород;
- создание схемы распространения эталонных пород по результатам спектрального анализа ГДО по всей площади поисковых работ;
- выделение спектрометрических аномалий как совокупности околорудных изменений на благоприятных для локализации оруденения участках;
- локализация зон гидротермально-метасоматических пород как признаков площадей, перспективных на выявление твердых полезных ископаемых;
- прогнозирование перспективных площадей на твердые полезные ископаемые по комплексу данных анализа спектрометрических аномалий, минерагенических и геохимических факторов.

Для решения прогнозно-поисковых задач были проведены экспериментальные аэрогиперспектральные съемки, позволившие получить данные в более чем 600 спектральных каналах в трех диапазонах: - VNIR, - SWIR, с высоким пространственным разрешением (1 м) и дальнейшей специализированной компьютерной обработкой получаемых данных и их спектрального

анализа. Аэросъемка была проведена на участке Кузнецовский в пределах Ужунжульского золоторудного узла (Хакассия, лист N-46-XIX). На участке находятся Au-месторождения Кузнецовское, Чазыгольское и др. приуроченные к Игргол-Ужунжульской зоне смятия северо-восточного простирания шириной 1,5–2 км и протяженностью до 50 км. Гидротермальное оруденение типа минерализованных зон дробления. Кузнецовское месторождение золото-сульфидно-кварцевой формации расположено в карбонатных отложениях венда и субвулканических породах основного состава (интрузивные породы – диориты и монцодиориты когтахского комплекса), прорванных раннедевонскими дайками основного и среднего состава. Оно представлено двумя рудоносными зонами на участках Кузнецовском и Диагональном. В пределах зон породы березититзированы, окварцованы и сульфидизированы. Вмещающие породы Чазыгольского месторождения золото-кварцевой формации представлены гранитами и гранодиоритами тигертышского и монцонитами 2-й фазы когтахского комплексов, реже мраморами. В пределах зон дробления породы катаклазированы, милонитизированы и превращены в кварцевые, кварц-полевошпатовые с хлоритом, серицитом и карбонатом метасоматиты, по мраморам развиты кварциты. Оруденение локализовано в окварцованных метасоматитах, кварцитах и кварцевых жилах, кварц-полевошпатовые метасоматиты интенсивно каолинизированы. В результате спектрального анализа ГДО, созданного по материалам аэросъемки, были выявлены минералы-индикаторы, отобранные по геологическим данным. Они отображаются на схеме распределения фигуративных точек минералов-индикаторов оруденения и ореолов околорудных гидротермалитов-метасоматитов. В дальнейшем был реализован прием формального объединения индикаторных минералов в разных сочетаниях в ассоциации, соответствующие модальным составам околорудных гидротермально-метасоматическим преобразований: окварцевание, березитизация, пропилитизация и сульфидизация. По этим ассоциациям были получены вероятные спектрометрические ореолы, отражающие гидротермально-метасоматических породы с целью локализации перспективных площадей (рисунок).

Внедрение в практику прогнозно-поисковых работ технологий спектрального анализа ГДО, созданным по гиперспектральным аэроснимкам, направлено на повышение эффективности использования материалов гиперспектральной съемки, за счет высокого пространственного и спектрального разрешений.



Участок «Кузнецовский». Схема вероятностных ореолов околорудных гидротермалитов-метасоматитов, наложенная на карту полезных ископаемых масштаба 1 : 200 000

Список литературы:

1. Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Смирнов М. Ю., Кирсанов Г. А., Смирнова И. О., Павлова В. О. Выявление площадей, перспективных на поиски полезных ископаемых, на основе результатов обработки аэро- и космических гиперспектральных данных // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 78. – С. 82–90.
2. Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Смирнов М. Ю., Кирсанов Г. А. Новый метод выявления околорудных гидротермально измененных пород по космическим гиперспектральным данным на примере Ломамского потенциально золоторудного района, Республика Саха (Якутия) // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 86. – С. 97–106.
3. Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Смирнов М. Ю., Кирсанов Г. А., Золотухина А. В. Локализация зон гидротермально-метасоматических пород с использованием методов спектрального

анализа гиперспектральных космических снимков (на примере золоторудных объектов Ульинского прогиба, Хабаровский край // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 89. – С. 68–76.
4. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. – Т. 354. – 559 с.

Кислов Е. В.
ФГБУН ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

МЕТАЛЛОГЕНИЯ СЕВЕРО-БАЙКАЛЬСКОЙ ЭПГ-CU-NI-НОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Северо-Байкальская ЭПГ-Cu-Ni провинция включает верхнепротерозойские ультрамафит-мафитовые интрузивы, сформированные в различной геодинамической обстановке. В формирование оруденения внесли значительный вклад контактовые процессы. Объекты провинции находятся в развивающихся горнорудных районах. Особый интерес представляют слабоизученные небольшие тела, с которыми связана сульфидная минерализация.

Ключевые слова: Северо-Байкальская провинция, платиновые металлы, медь, никель.

Северо-Байкальская провинция в юго-восточной части складчатого обрамления Сибирской платформы в Северо-Байкальском и Муйском районах Бурятии включает в себя ультрамафит-мафитовые массивы с ЭПГ-Cu-Ni оруденением. В рифее в пределах Байкало-Муйской островной дуги сформированы Чайский, Гасан-Дякитский и Нюрундуканский синколизионные, Маринкин и Кивельевский островодужный массивы, а в осевой части Сыннырской рифтогенной структуры – Йоко-Довыренский и Авкитский рифтогенные интрузивы.

Йоко-Довыренский дунит-троктолит-габбровый массив (Байкальское месторождение) в 60 км к северу от оз. Байкал. Линзовидное тело 26 × 3,5 км субсогласно залегает в карбонатно-терригенных отложениях. Краевая зона и отходящие от нее силлы сложены плагиолерцолитами. Выше зоны: ультрамафитовая; ритмичного чередования плагиодунитов и троктолитов; троктолитов и оливиновых габбро; массивных оливиновых габбро; оливиновых габброноритов. Габбронориты внедрены в подошву и кровлю. Cu-Ni оруденение приурочено к плагиолерцолитам, реже – габброноритам. Вкрапленные руды прослеживаются согласно простиранию до 1400–1700 м при мощности 8–25 м (в раздувах до 80 м). Массивное оруденение представлено жилообразными телами внутри ареалов сульфидной вкрапленности в основном на северо-восточном фланге массива (уч. Озерный). Жильные и густовкрапленные руды протягиваются вдоль контакта массива. Pd резко преобладает (0,03–1,50 г/т) над Pt (0,02–0,27 г/т). Максимальные содержания ЭПГ и Au (до 0,66 г/т) установлены в жильных рудах. Прогнозные ресурсы: Ni – 147 тыс. т, Cu – 51,01 тыс. т, Co – 9,47 тыс. т. Горизонт малосульфидного оруденения ЭПГ на границе расслоенной троктолит-плагиодунитовой и оливингаббровой зон прослежен на 20 км по простиранию и 1 км вглубь по рельефу. Оруденение приурочено к шлиро- и жилообразным телам такситовых лейкогаббро и анортозитов мощностью до 1 м, редко более, зачастую обрамленных габбро-пегматитами. По простиранию тела протягиваются согласно расслоенности массива до 10–20 м, образуя прерывистый горизонт. Концентрации Pt достигают 4,1, Pd – 7,8 г/т при содержаниях Cu до 0,71, Ni – 0,43, S – 1,60 %. В большинстве проб Pt преобладает над Pd. Au распределено неоднородно с максимальным содержанием 3,34 г/т. Прогнозные ресурсы: Pt – 66 т, Pd – 46,2 т и Au – 46,2 т.

Формирование Йоко-Довыренского массива связано с активностью мантийного плюма в зоне континентального рифтогенеза. Рифт обеспечивал крупным объемам продуктивной магмы достижение верхней части земной коры. Значительный объем магмы, насыщенный сульфидами, позволял сформировать крупное рудное тело. Развитие мантийного плюма сопровождалось высокой степенью парциального плавления, так что рудные компоненты не могли оставаться в мантии. В результате этого магма содержала достаточное количество ЭПГ, Ni и Cu для формирования оруденения. На ранних стадиях рифтогенеза на периферии плюмов кора прогибалась, осадки заполняли рифт. Исходный расплав в гипабиссальных камерах активно

взаимодействовал с породами фундамента, рыхлыми карбонатными и терригенными осадками. Флюидный перенос без существенной валовой ассимиляции обогащал нижний эндоконтакт водой, щелочами, S, вероятно, также Cl, SiO^2, Fe, Ti, органическим веществом, что оказало значительное воздействие на процессы петро- и рудогенеза. Контактовые процессы в значительной мере определяют локализацию сульфидного Cu-Ni оруденения. Обогащенные хлором флюиды ответственны за экстракцию, перенос и накопление ЭПГ – формирование малосульфидной минерализации в областях разуплотнения и повышенной пористости кумулуса на границе пачек расслоенной серии.

Авкитский массив с Cu-Ni оруденением на юго-западном фланге Холоднинского Pb-Zn месторождения на водоразделе рек Холодная и Тыя. Удлиненно-линзовидное тело длиной 1400 м приурочено к Авкитскому разлому. Ультрабазиты залегают согласно с вмещающей толщей нижнего протерозоя, метаморфизованы до антигоритовых и лизардит-антигоритовых серпентинитов, актинолит-хлоритовых, серпентин-тремолит-карбонатных пород. Сульфидное оруденение встречено в лежачем эндоконтакте в амфибол-серпентин-хлоритовых породах выше ксенолита кварц-карбонатных роговиков. Линейная зона сульфидного оруденения мощностью около 15 м. Оруденение вкрапленное и прожилково-вкрапленное с постепенными переходами в безрудные метагипербазиты. Сидеронитовые руды содержат до 25–30 об. % сульфидов. Содержание по керну скв. 15: Ni – 0,54 %, Co – 0,032, Cu – 0,135 % на интервал 18,5 м.

Авкитский массив высокожелезистых и высокотитанистых ультрамафитов в этом районе не единственный. К северо-востоку в зоне Чуя-Холоднинского разлома известны тела интенсивно серпентинизированных ультрабазитов. Верхнехолоднинский ультрамафитовый линзовидный массив находится в верховьях р. Холодная в сланцах тыйской свиты. Линзовидные тела ультрамафитов отмечены по правобережью р. Чая среди мраморов авкитской свиты на фланге Овгольского полиметаллического проявления у подножия Сыннырского хребта. Ультраосновные силлы обнаружены в северо-западном борту Сыннырской рифтогенной структуры вблизи северо-восточного выклинивания Йоко-Довыренского массива. Одно из них, мощностью 10–15 м, залегает среди углеродистых сланцев и кварцитов асектамурской свиты на склоне горы Вершина Тыи. Второе, мощностью 2–4 м, встречено в экзоконтакте Йоко-Довыренского массива, среди мраморизованных карбонатных пород ондокской свиты, представлено шрисгеймитами с сульфидной минерализацией. Г. И. Поликарповым в 1965 г. выявлены сульфидные Cu-Ni проявления в пикрит-диабазах, пикритах по юго-восточному склону Сыннырского хребта на участках Высотном, Снежном, Амнундакан. Это показывает необходимость изучения автономных никеленосных ультрамафитов в районе между Йоко-Довыренским и Чайским массивами.

Чайский дунит-перидотит-габброноритовый массив расположен на северо-западном склоне Верхнеангарского хребта в 90 км северо-восточнее северной оконечности оз. Байкал. Это юго-западная часть Безымянного плутона. Собственно Чайский массив имеет размеры 1,5 × 5,0 км и слагает водораздел в междуречье Чая – Огиендо. Центральную часть слагают серпентинизированные дуниты, по периферии – плагиоперидотиты, в основном плагиолерцолиты. Вторую интрузивную фазу слагают безоливиновые габбронориты и роговообманковые габбро. Они окаймляют ультрабазиты, образуя многочисленные жилообразные тела в ультрамафитах, сопровождаемые оторочками контактово-реакционных пироксенитов. Оруденение сосредоточено в осевой части ультрамафитового ядра и прослеживается в субширотном направлении на 900–950 м при средней мощности рудной зоны 100 м. При бортовом содержании 0,5 % Ni выделены 20 кулисообразно располагающихся рудных тел субвертикального падения. Оруденение сопряжено с контактово-реакционными пироксенитами и сечет внутреннюю структуру интрузива. Внутри рудной зоны оруденение локализуется либо в пироксенитах, либо на их контакте с перидотитами и дунитами. Мощность рудных тел составляет *n* м, реже до 15–20 м, по простиранию они прослеживаются на 100–200, реже до 400 м. Интенсивность оруденения до глубины 200–250 м остается примерно постоянной, затем убывает. На глубоких горизонтах (1000 м) оруденение выклинивается, переходя в маломощные зоны рассеянно-вкрапленных руд. Авторские запасы Ni – 260 тыс. т, Cu – 86 тыс. т, Co – 10,7 тыс. т при средних содержаниях 0,55, 0,18 и 0,023 мас. %. Прогнозные ресурсы Ni – 800 тыс. т, Cu – 270 тыс. т, Co – 33 тыс. т.

Маринкин дунит-троктолит-габбровый массив расположен в бассейне руч. Маринкина, впадающего в р. Тулдунь (левый приток р. Витим), в западном складчатом обрамлении Муйской глыбы. Имеет концентрически-зональное внутреннее строение. Площадь около 11 км$_2$. Центральную часть слагают дуниты и плагиодуниты, образующие вытянутое в субмеридиональном направлении эллипсовидное тело площадью около 2 км$_2$. В северо-восточной части вскрывается расслоенная серия: чередование троктолитов, плагиодунитов, перидотитов, переходящих в более однородные оливиновые габбро и оливиновые габбронориты. Периферийная часть, исходно троктолиты и оливиновые габбро, изменена в цоизитовые, цоизит- и соссюрит-актинолитовые породы. Обнаружены две линейные зоны гнездово-вкрапленного оруденения северо-западного простирания 100 × 500 и 100 × 750 м, приуроченные к разрывным нарушениям. В зонах отмечаются участки брекчированных руд того же простирания. Сульфидное медно-никелевое и хромитовое оруденение сформированы в результате регенерации ультраосновных пород под воздействием поздних гранитов.

Выводы:

1. Северо-Байкальская ЭПГ-Cu-Ni провинция включает верхнепротерозойские ультрамафит-мафитовые интрузивы, сформированные в различной геодинамической обстановке: Йоко-Довыренский и Авкитский – рифтогенные; Чайский, Гасан-Дякитский и Нюрундуканский синколизионные; Маринкин и Кивельевский – островодужные. Они сгруппированы в результате аккреции на юго-восточной границе Сибирского кратона.
2. В формирование оруденения внесли значительный вклад контактовые процессы: взаимодействие с вмещающими породами в рифтогенных комплексах и реакционное развитие пироксенитов по дунитам в синколизионных интрузивах. В массиве Маринкин сульфидное медно-никелевое и хромитовое оруденение сформированы в результате регенерации ультраосновных пород под воздействием поздних гранитов.
3. Большинство объектов провинции представляют собой Cu-Ni рудный узел в районе Холоднинского Pb-Zn месторождения между БАМ и Калюмным K-Al, Нюрундинским Au месторождениями. Маринкин массив находится в районе Ирокиндинского и Кедровского Au месторождений. По отдельности объекты не имеют большого промышленного значения. Но расстояние между ними не превышает 30 км в радиусе действия ГОК. Чайский массив и наиболее богатый участок Озерный Байкальского месторождения находятся вне Байкальской природной области, что делает возможным их отработку при современной нормативной базе.
4. Особый интерес представляют слабоизученные небольшие объекты, с которыми связана сульфидная минерализация. Ранее они считались бесперспективными из-за небольшого объема интрузивных тел. Но сейчас показано, что часто богатые Cu-Ni руды формируют рудные тела в небольших интрузивах, подводящих каналах, вследствие перепадов скорости течения магмы и коровой контаминации.

Ковалев С. Г., Ковалев С. С.
Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

РАССЛОЕННЫЙ КУСИНСКО-КОПАНСКИЙ КОМПЛЕКС, ЮЖНЫЙ УРАЛ: НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПЕРСПЕКТИВАХ МЕТАЛЛОНОСНОСТИ

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН, тема № FMRS-2022-0012.

Проведенный анализ петрогеохимических особенностей пород (включая благородные металлы), слагающих дифференцированные (расслоенные) тела западного склона Южного Урала, и приуроченой к ним Ti-Fe-Cr минерализации показал сходство по всем изученным параметрам Мисаелгинского и Кусинско-Копанского комплексов. В результате моделирования процесса кристаллизации расплава установлено, что Кусинско-Копанский комплекс представляет собой интрузивное тело, в идеализированном разрезе которого присутствует ультраосновной горизонт.

Предлагаемое строение Кусинско-Копанского комплекса увеличивает его перспективы на такие виды минерального сырья, как платиноиды + сульфидное медно-никелевое оруденение и/или хромиты.

Ключевые слова: Южный Урал, дифференцированные (расслоенные) интрузии, Кусинско-Копанский комплекс, благородные металлы, моделирование.

Кусинско-Копанский комплекс с титан-железо-ванадиевым оруденением представляет собой одну из наиболее известных ассоциаций интрузивных пород Башкирского мегантиклинория. В составе комплекса выделяются Кусинско-Чернореченский, Медведевский, Копанский и Маткальский массивы, вытянутые друг за другом с северо-востока на юго-запад на расстояние около 70 км. Общая площадь массивов составляет около 50 км^2, а наибольшая ширина достигает 2 км [1]. Для массивов характерно неоднородное внутреннее строение – полосчатость, стратифицированность, заключающаяся в чередовании в разрезе прослоев базитов переменной мощности, различного состава, зернистости, структуры и текстуры. Полосчатое строение массивов подчеркивается переменным содержанием рудных минералов в породах и наличием согласных с общей полосчатостью пластов вкрапленных и сплошных титаномагнетит-ильменитовых руд. В сложении массивов преобладают разнообразные по составу и структуре габбро, подчиненное значение имеют пироксениты, горнблендиты и анортозиты. Породообразующие минералы габброидов – плагиоклаз № 55–62, авгит переменного состава, редко пижонит-авгит, магнезиальный гиперстен, оливин (редко); в небольших количествах – титанистая и буро-зеленая роговая обманка, биотит, сульфиды (пирротин, реже пирит и халькопирит). Пироксениты и горнблендиты установлены в разрезах Маткальского и Медведевского массивов. Пироксен в них полностью замещен амфиболом или ассоциацией магнезиальный актинолит-хлорит. Диорит-гранитная зона прослеживается полосой шириной от 100–200 до 500–600 м в юго-восточной краевой части Копанского, Медведевского и Маткальского массивах. Зона сложена переслаиванием пород диоритового, гранодиоритового и гранитного составов. Переход от габброидной зоны к диоритовой постепенный через лейкогаббро и габбродиориты [1].

Для выяснения особенностей геологического строения и перспектив металлоносности был выполнен сравнительный анализ геологического строения, петрогеохимии и минералогии Кусинско-Копанского комплекса с дифференцированными (расслоенными) базит-гипербазитовыми интрузиями, распространенными в пределах западного склона Южного Урала (Шуйдинский, Мисаелгинский комплексы и дифференцированное тело, разбуренное скв. 7), детальная характеристика которых дана в ранее опубликованных работах [3, 4, 6].

Кроме изучения «стандартных» геохимических характеристик (редкие, рассеянные и редкоземельные элементы) был выполнен анализ содержаний и распределения благородных металлов*. Особенности благороднометалльной геохимической специализации пород дифференцированных (расслоенных) комплексов выявляются при сравнении их между собой и с нормализованными содержаниями элементов в «эталонных» образованиях. Как видно из диаграммы (рисунок, а) конфигурация трендов, характеризующих породы дифференцированных комплексов западного склона Южного Урала, очень похожа, отличаются лишь количественно. Для них характерны «пиковые» значения Ir, Rh и Pd. Отличия заключаются в большем количестве Cu в Мисаелгинском комплексе и резко пониженном количестве Ni в породах Кусинско-Копанского комплекса.

Из диаграммы (см. рис., а) видно, что конфигурация графиков, характеризующих породы дифференцированных комплексов, резко отличается от графиков «эталонных» пород. Для объяснения данной ситуации приводится диаграмма нормализованного распределения Ni, Cu и благородных металлов в сульфидах из обогащенных железом горизонтов норильских месторождений (см. рис., б). Сравнительный анализ диаграмм позволяет с большой долей уверенности говорить о том, что в породах описываемых комплексов благородные металлы сосредоточены в сульфидах, а вопрос о форме их нахождения на данном этапе исследований остается открытым.

---

* Количественное определение содержания благородных металлов (Au, Pt, Pd, Rh, Ru, Ir) выполнено в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

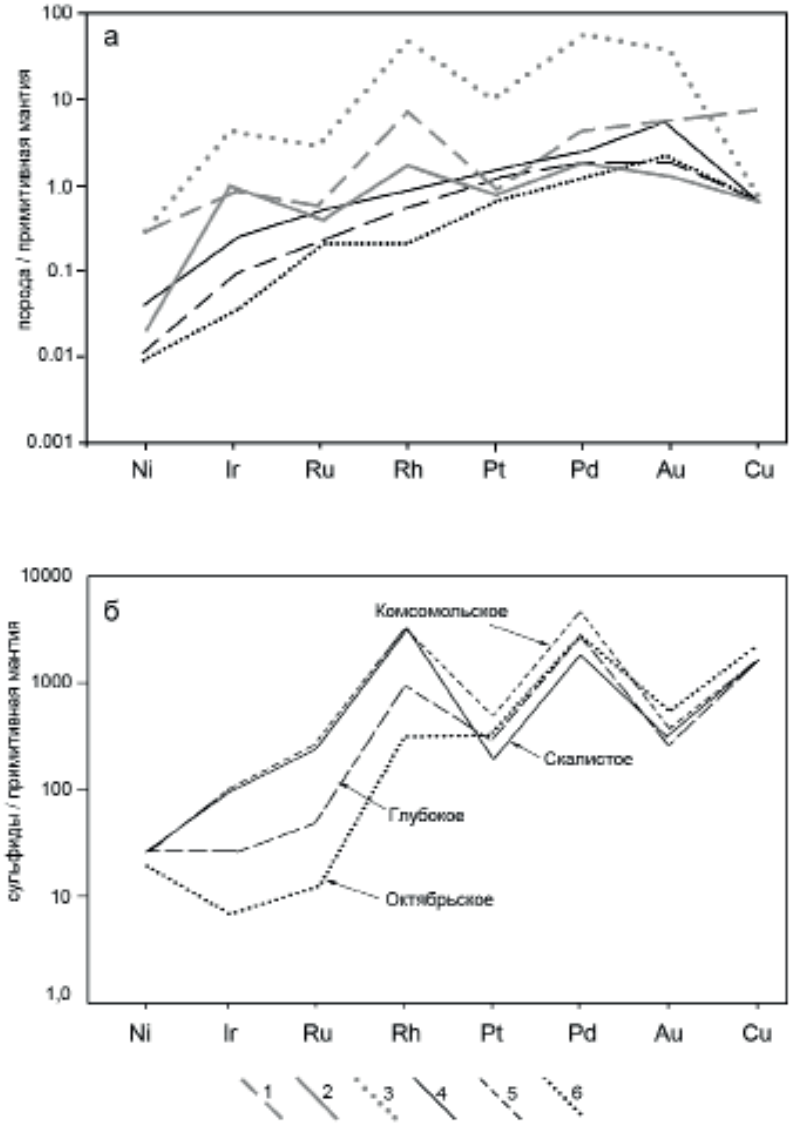


Рис. 1. Нормализованное распределение Ni, Cu, благородных металлов в породах дифференцированных комплексов (а) и нормализованное распределение Ni, Cu и благородных металлов в сульфидах из обогащенных железом горизонтов норильских месторождений (б, по [7]):
1 – Мисаелгинский комплекс (*n* = 27); 2 – Кусинско-Копанский комплекс (*n* = 31); 3 – Шуйдинский комплекс (*n* = 7); 4 – пикрит, по [8]; 5 – норильские рудоносные породы, по [7]; 6 – континентальный толеит, по [7]; примитивная мантия по [9]; *n* – число анализов

Анализ всей совокупности материалов показал значительное сходство геохимии и минерализации Мисаелгинского и Кусинско-Копанского комплексов практически по всем параметрам, что может служить доказательством схожести механизмов формирования тел. Это позволяет использовать геологическое строение интрузивного тела Мисаелгинского комплекса в качестве «эталонного» объекта для выяснения условий и механизмов формирования пород Кусинско-Копанского комплекса.

В связи с этим было проведено моделирование процесса кристаллизации, которое осуществлялось с использованием алгоритма Х. Натана и К. Ван-Кирка [10]. За расплав принимался рассчитанный средневзвешенный состав интрузивного тела Мисаелгинского комплекса. Кристаллизация расплава начинается с Ol* при температуре 1304 °С, после выделения около 24 % кристаллов на ликвидусе появляется tiMgt, а при температуре 1207 °С кристаллизуется Cpx +

* При описании модели используются следующие обозначения: Ol – оливин, Cpx – клинопироксен, Opx – ортопироксен, Pl – плагиоклаз, Or – ортоклаз, Mgt – магнетит, tiMgt – титаномагнетит, Q – кварц.

tiMgt ассоциация с небольшим количеством Ol. В результате этого при снижении температуры до 1185 °С около 48 % объема расплава представлено Ol + Cpx + tiMgt ассоциацией. В интервале температур 1185–1143 °С кристаллизуется Pl + Cpx + Opx + Mgt + Ol ассоциация, далее при снижении температуры – Pl + Opx + Cpx + tiMgt, сменяющаяся Or + Pl + Q, которой и завершается процесс становления интрузивного тела. В результате моделирования получаем двучленное строение тела, верхняя часть которого полностью соответствует реальному строению расслоенной серии Кусинско-Копанского комплекса, а нижний ультраосновной горизонт представлен Ol+Cpx породами.

Таким образом, моделирование процесса кристаллизации расплава свидетельствует, что Кусинско-Копанский комплекс должен представлять собой лополитообразное тело, идеализированный разрез которого представлен обнажающейся на поверхности расслоенной габброидной серией и невскрытым ультраосновным горизонтом. В результате коллизионных процессов, которые проявились на территории Южного Урала в венде и/или позднем палеозое [5], верхняя часть интрузива была оторвана от нижней.

Предлагаемое строение Кусинско-Копанского комплекса увеличивает в значительной степени его перспективы на такие виды минерального сырья, как платиноиды + сульфидное медно-никелевое оруденение и/или хромиты ввиду того, что, как это было показано ранее на примере Мисаелгинского комплекса [2], элементы платиновой группы, сульфиды никеля и хромитовая минерализация концентрируются в нижнем (ультраосновном) горизонте дифференцированного тела.

Список литературы:

1. Алексеев А. А., Алексеева Г. В., Ковалев С. Г. Расслоенные интрузии западного склона Урала. – Уфа. : Гилем, 2000. – 188 с.
2. Ковалев С. Г., Ковалев С. С. Условия и механизмы формирования сульфидно-оксидной минерализации при дифференциации расплава в промежуточной камере (на примере интрузии западного склона Южного Урала) // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 6. – С. 551–575.
3. Ковалев С. Г., Ковалев С. С. Ti-Fe-Cr шпинелиды в дифференцированных (расслоенных) комплексах западного склона Южного Урала: видовое разнообразие и условия формирования // Записки Горного института. – 2022. – Т. 255. – С. 476–492.
4. Носова А. А., Сазонова Л. В., Каргин А. В., Ларионова Ю. О., Горожанин В. М., Ковалев С. Г. Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция Западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение // Петрология. – 2012. – Т. 20, № 4. – С. 392–428.
5. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа. : ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
6. Сазонова Л. В., Носова А. А., Ларионова Ю. О., Каргин А. В., Ковалев С. Г. Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Башкирского мегантиклинория: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена // Литосфера. – 2011. – № 3. – С. 64–83.
7. Barnes S. J., Maier W. D. The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulfide liquids // Dynamic Processes in Magmatic Ore Deposits and their application in mineral exploration. Geological Association of Canada, Short Course. – 1999. – V. 13. – P. 69–106.
8. Barnes S. J., Barnes S. J., Lightfoot P. C. Formation of magmatic nickel sulfide deposits and processes affecting their copper and platinum group element contents // Book Chapter Economic geology in One Hundredth Anniversary Volume. – 2005. – P. 179–213.
9. McDonough W. F., Sun S. S. The composition of the Earth // Chemical Geology. – 1995. – V. 120. – P. 223–253.
10. Nathan H. D., Vankirk C. K. A model of magmatic crystallization // Journal of Petrology. – 1978. – V. 19, № 1. – P. 66–94.

Козлов Г. А., Молчанов А. В., Белова В. Н., Семенова В. В.
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

РЕСУРСНАЯ БАЗА МАРГАНЦЕВЫХ И ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ РУД РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Марганцевые руды относятся к остродефицитному типу сырья, запасы которого не восполняются в достаточном объеме, а потребность обеспечивается за счет поставок из-за рубежа. Промышленная добыча марганцевых руд в России практически не ведется с 2013 г. В 2017 г. велась только опытно-промышленная добыча, в 2020 г. ее объемы составили 188 тыс. т руды [2]. Среди всех участков недр распределенного фонда добыча марганцевых (железо-марганцевых) руд осуществляется лишь на месторождении Ниязгуловское-1 в Башкирии [2]. Одной из составляющих решения проблемы дефицита марганцевого сырья является проведение целенаправленных работ по средне- и крупномасштабному геолого-минералогическому картированию (ГМК) площадей, перспективных на выявление объекта ранга потенциальное рудное месторождение.

С целью их выявления в 2020 г. перед ФГБУ «ВСЕГЕИ» была поставлена задача по составлению в форме ГИС-проекта карты закономерностей размещения и прогноза основных типов месторождений дефицитных полезных ископаемых территории Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000.

В рамках работы были составлены прогнозно-металлогенические карты критических видов сырья, собрана и проанализирована значительная база данных о геологическом строении и прогнозно-поисковых критериях марганцевой минерализации, учитывающая большинство известных объектов ранга рудопроявление и месторождение марганцевых и железо-марганцевых руд. Анализировалась информация о прогнозных ресурсах различных категорий (включая авторские) с учетом геолого-промышленной классификации (ФГБУ «ВИМС») и рудно-формационной и генетической классификации (ФГБУ «ВСЕГЕИ») объектов данного вида полезного ископаемого. Отдельно авторами рассматривались комплексные Fe-Mn руды и железо-марганцевые корки (ЖМК) континентального шельфа.

Ключевые слова: марганцевые руды, железо-марганцевые руды, прогнозные ресурсы, ресурсная база.

На текущий день прогнозные ресурсы марганцевых руд Российской Федерации, по состоянию на 01.01.2019 г., оценены и апробированы на 35 объектах в количестве 943,7 млн т руд, в том числе: категории P_1 – 232 млн т руд (24,6 % от общероссийских), категории P_2 – 143,7 млн т руд (15,2 %) и категории P_3 – 568 млн т руд (60,2 %) [2]. Результаты обобщения фондовых и опубликованных материалов (с учетом авторских) позволяют установить несколько иные цифры. Так, суммарные прогнозные ресурсы марганцевых руд подсчитаны в пределах России и её континентального шельфа на 144 объектах (с учетом разделения прогнозных ресурсов различных категорий в пределах одного объекта, на 178 объектах) и составляют: по категории P_1 – 685,58 млн т руд, P_2 – 595,40 млн т руд, P_3 – 3072,3 млн т руд. Эти данные превышают учитываемые ГКЗ прогнозные ресурсы категории P_1 на 195 %, P_2 на 314 %, а P_3 440 %. Кроме того, суммарные прогнозные ресурсы железо-марганцевого сырья России составляют 63,73 млн т категории P_1, 723,4 млн т руды категории P_2, 1249,4 млн т руды категории P_3. Всего объекты ранга рудопроявления и месторождения марганца выявлены в пределах 20 минерагенических провинций России (далее МП), а прогнозные ресурсы оценены в пределах 14 (табл. 1).

Наибольшее количество объектов установлено в пределах Алтае-Саянской минерагенической провинции, являющейся также и лидером по сумме прогнозных ресурсов всех категорий. В ее пределах сосредоточены 26,53 % от общероссийских ресурсов марганцевых руд категории P_1, 31,38 % от всех ресурсов категории P_2 и 27,61 % от ресурсов категории P_3. На втором месте находится Уральская МП, в пределах которой сосредоточены 2,87 % общероссийских ресурсов марганцевых руд категории P_1, 32,28 % ресурсов категории P_2, 9,77 % ресурсов марганцевых руд категории P_3.

Табл. 1. Суммарные прогнозные ресурсы марганцевых руд территории Российской Федерации и континентального шельфа

№ п/п	Минерагеническая провинция	Прогнозные ресурсы, Р (млн т руды)			Количество прогнозируемых объектов		
		P_1	P_2	P_3	P_1	P_2	P_3
1	Скифская	0	31,03	22,20	0	1	1
2	Восточно-Европейская	0	0,72	61,31	0	1	5
3	Тимано-Печерская	2,77	4,47	5,29	1	1	1
4	Западно-Сибирская	13,94	67,86	535,50	7	6	8
5	Восточно-сибирская	174,00	7,55	55,00	1	2	1
6	Пай-Хой-Новоземельская	0	54,20	739,60	0	2	6
7	Олюторско-Камчатская	1,53	0	26,70	2	0	2
8	Ханкай-Буреинская	22,8	0	110,00	2	0	2
9	Сихоте-Алиньская	0,04	0	9,50	1	0	3
10	Монголо-Охотская	8,22	43	121,50	3	8	5
11	Верхояно-Колымская	4,50	0	0	1	0	0
12	Байкальская	256,20	0	170,83	1	0	4
13	Алтае-Саянская	181,22	200,30	925,20	16	20	21
14	Уральская	20,36	186,26	289,6	7	16	18
15	**Суммарные**	**685,58**	**595,40**	**3072,3**	**42**	**57**	**77**

Значительная доля прогнозных ресурсов руд выявлена в Байкальской МП, где составляет 37,37 % по категории P_1. Существенное место в балансе прогнозных ресурсов марганцевых руд занимает Пай-Хой-Новоземельская МП, где сосредоточены 24,94 % прогнозных ресурсов марганцевых руд категории P_3, а также Западно-Сибирская МП, где локализованы 18,06 % прогнозных ресурсов руд категории P_3. Более 1/4 от всех ресурсов руд категории P_1 локализованы в пределах Восточно-Сибирской минерагенической провинции. Роль остальных провинций в балансе прогнозных ресурсов не значительна.

Прогнозные ресурсы высших категорий, в особенности P_1, в основном локализованы в пределах уже известных крупных месторождений. Это хорошо видно на примере Олдакитского месторождения Байкальской МП и Чуктуконского месторождения Восточно-Сибирской МП, где единичные объекты включают 25,38 и 37,37 % соответственно от общероссийского баланса прогнозных ресурсов категории P_1. В то же время данные объекты характеризуются низкими содержаниями марганца в рудах, составляя на Олдакитском месторождении от 8,0 до 12,0 % Mn [7], а на Чуктуконском месторождении – 5,52 % [1, 3]. Прирост запасов в пределах подобных объектов в дальнейшем может быть обусловлен проведением поисково-оценочных работ крупного масштаба в пределах рудных полей, а также разведочных работ на флангах уже известных объектов.

Прогнозные ресурсы категории P_2 в основном локализованы в пределах хорошо изученных площадей, а доля выявленных объектов в целом коррелирует с долей суммарных прогнозных ресурсов. Это видно на примере Западно-Сибирской (11,81 % прогнозных ресурсов кат. P_2 в пределах 9,38 % всех объектов), Алтае-Саянской (39,06 % ресурсов при 21,88 % всех объектов) и Уральской (31,38 % ресурсов при 32,28 % всех объектов) минерагенических провинций. Такое соотношение обусловлено низким значением суммы прогнозных ресурсов, локализованных на большом количестве объектов. Значительная часть объектов прогноза относится к категории рудопроявлений и частично отработанных и законсервированных месторождений, в пределах которых ожидаемый прирост запасов позволит отнести их к рангам малого, реже среднего месторождения. Подавляющее большинство таких объектов характеризуется низким содержанием Mn в рудах. Так, например, на Куруильском месторождении в Южно-Уральском сегменте Уральской МП прогнозные ресурсы марганца составляют 89,1 млн т руды при среднем содержании 5,5 % [6]. Дальнейший прирост запасов в пределах данных объектов также может быть

получен при проведении крупномасштабных поисково-оценочных и разведочных работ в пределах рудных полей и на флангах уже известных объектов.

Основное количество прогнозных ресурсов категории P_3 сосредоточено в пределах перспективных площадей и рудных узлов в Западно-Сибирской, Пай-Хой-Новоземельской и Алтае-Саянской МП, при том, что наибольшее количество объектов выявлено в Алтае-Саянской (23,53 % объектов) и Уральской (26,47 % объектов) провинциях. При этом на Уральскую провинцию приходятся лишь 9,7 % от общего объема ресурсов. Прогнозные ресурсы категории P_3 локализованы преимущественно на участках большой площади с низкой изученностью и неясными перспективами марганцевой минерализации, в труднодоступных и неразвитых с инфраструктурной точки зрения территориях, удаленных от потребителя. Для выявления в их пределах месторождений потребуются долгие годы и значительные затраты.

Говоря о прогнозных ресурсах марганцевых руд различных формационных типов, следует уточнить, что наиболее востребованными являются объекты формации кор выветривания марганцеворудных месторождений; вулканогенно-карбонатно-терригенной формации; железо-марганцевой терригенно-кремнисто-карбонатной формации (Парнокский тип) с браунитовым, пиролюзит-псиломелановым составом руд, благоприятными параметрами оруденения и возможностью получения первосортных концентратов (табл. 2).

Наибольшее количество прогнозных ресурсов марганцевых руд категории P_1 относится к марганцевой терригенной и марганцевой вулканогенно-карбонатно-терригенной формации.

Табл. 2. Суммарные прогнозные ресурсы марганцевых руд различных рудно-формационных типов территории Российской Федерации и континентального шельфа

Рудные формации	Прогнозные ресурсы, Р (млн т руды)			Количество прогнозируемых объектов		
	P_1	P_2	P_1	P_2	P_1	P_2
Железистых кварцитов марганец-сланцевая	22,8	44,8	203,0	2	1	3
Железо-марганец-барит-свинцово-цинковая терригенно-кремнисто-карбонатная (Атасуйский тип)	27,5	58,0	94,1	2	3	3
Железо-марганцевая кор выветривания апокарбонатная	2,7	**93,7**	**137,1**	1	4	5
Железо-марганцевая терригенно-кремнисто-карбонатная (Парнокский тип)	15,4	84,7	**351,7**	2	6	12
Железо-марганцевых конкреций илисто-глинистая	0	0	3,1	0	0	1
Кор выветривания марганцеворудных месторождений	38,8	**142,9**	**609,8**	15	19	19
Марганцевая вулканогенно-карбонатно-терригенная	**100,5**	19,5	**440,2**	12	8	13
Марганцевая карбонатная	0	5,2	**555,0**	0	3	7
Марганцевая скарновая	28,0	25,0	90,0	1	2	2
Марганцевая терригенная	**271,2**	**121,3**	**539,9**	5	11	10
Марганцевая сульфатно-карбонатная	0	0	52,2	0	0	2
НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТИПЫ РУД (нет соответствующих рудных формаций)						
Кор выветривания карбонатитовых массивов «Чуктуконский тип»	**174**	0	0	1	0	0
«Высокогорный тип»	4,5	0	0	1	0	0
Суммарные	685,5	595,4	3076	42	57	77

При этом 174 млн т прогнозных ресурсов руд локализованы в пределах Чуктуконского массива, не подходящего под используемые классификации [3]. Совместно данные формационные типы включают 79 % всех локализованных прогнозных ресурсов категории P_1.

Наибольшая часть ресурсов категории P_2 относится к формациям кор выветривания марганцеворудных месторождений, апокарбонатной железо-марганцевой формации кор выветривания, а также марганцевой терригенной формации. Вместе они составляют 60 % всех прогнозных ресурсов категории P_2. Значительна и сумма ресурсов руд железо-марганцевой терригенно-кремнисто-карбонатной формации (Парнокский тип) – 14,2%.

Для категории P_3 наблюдается тенденция к повышению доли ресурсов руд марганцевой вулканогенно-карбонатно-терригенной формации и марганцевой карбонатной формации. Такие формационные типы руд, как илисто-глинистый железо-марганцевых конкреций, марганцевый скарновый, а также марганец-сланцевый железистых кварцитов, не играют значительной роли в балансе прогнозных ресурсов. Незначительны и прогнозные ресурсы таких высокопродуктивных формационных типов, как Атасуйский и Парнокский.

Необходимо обратить внимание на наличие в пределах территории России ряда объектов с апробированными и авторскими прогнозными ресурсами марганцевых руд нетрадиционных типов, которые, впрочем, могут составить в ближайшей перспективе основу минерально-сырьевой базы марганцевых руд России. В первую очередь, это Ta-Nb-REE руды Чуктуконского массива и Томторского месторождения, для которых разработана технология попутного получения Mn-концентрата при обогащении руд [1,8] а также уникальные алабандиновые руды проявления Высокогорное [5, 4].

По мнению авторов, наибольшей перспективой выявления новых объектов являются недостаточно изученные территории Удско-Селемджинского рудного узла (Монголо-Охотская МП), Западно-Аргнинского потенциального рудного узла (Западно-Сибирская МП) и Чача-Эпильчикского рудного узла (Олюторско-Камчатская минерагеническая провинция).

Планируемое введение в эксплуатацию месторождений Алтае-Саянской провинции (Усинское, Порожинское) позволит лишь частично отсрочить актуальную проблему выявления новых объектов и создания технологий обогащения руд низкого качества. Необходим комплексный подход к восполнению МСБ марганцевых руд, включающий как обзорное, так и средне- и мелкомасштабное картирование, поисково-оценочные работы, разработку и применение новых методик обогащения и извлечения руд.

Список литературы:

1. Агафонов Д. Г. Поведение ниобия, марганца и фосфора при восстановительном обжиге редкоземельно-редкометалльных руд Чуктуконского месторождения / Д. Г. Агафонов, Г. Б. Садыхов, Д. Ю. Копьев, К. Г. Анисонян // Труды Кольского научного центра РАН. Химия и материаловедение. Вып. 5. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 21–23.
2. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году. // Ред. Е. А. Киселев. – М. : РОСНЕДРА, 2021. – 572 с.
3. Кириченко В. Т. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист О-47 Объяснительная записка // В. Т. Кириченко, В. К. Зуев, О. Ю. Перфилова, О. В. Сосновская. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 470 с.
4. Кокин А.В. Алабандин Якутии – новый минеральный тип промышленного оруденения марганца // А. В. Кокин, В. И. Силаев, А. Л. Батурин. – Ростов-на-Дону : ЗАО «Ростиздат», 2011. – 208 с.
5. Кокин А. В. Новый тип марганцевой минерализации. Перспективы освоения // Вестник Госкомгеологии Якутии. – 2003. – № 2. – С. 42–45.
6. Лядский П. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист М-40. Объяснительная записка // П. В. Лядский, Л. Н. Кваснюк, А. В. Жданов, О. В. Чечулина. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. – 392 с.
7. Платов В.С. Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия

Муйская. Листы О-49-XXXIV, XXXV. Объяснительная записка // В. С. Платов, А. М. Игнатов, Д. В. Гороховский. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. – 136 с.
8. Садыхов Г. Б. Исследования по восстановительному обжигу ниобий-редкоземельных руд Чуктуконского месторождения с получением фосфористого чугуна и ниобий-редкоземельного шлака // Металлы. – 2020. – № 3. – С. 3–13.

Колесник А. Ю.
Проспекторская группа «Открытая геология», г. Санкт-Петербург

ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ КИМБЕРЛИТОВ ДАЛДЫНО-АЛАКИТСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА

Установлено, что при благоприятных климатических условиях в весенне-летнее время года на открытых территориях Далдыно-Алакитского алмазоносного района кимберлитовые тела могут быть выявлены по вегетационным аномалиям, которые де-факто представляют собой вещественный индикатор присутствия кимберлитового материала в почвах. Работоспособность метода зависит от размеров кимберлитового тела, его положения на склоне увала и мощности перекрывающих элювиально-делювиальных отложений.

Ключевые слова: кимберлит, алмаз, ДЗЗ, геоботаника, вегетационные индексы, NDVI.

При разработке методик дешифрирования кимберлитовых тел на аэрофотоснимках в 1950-х гг. А. Н. Лукичевой было проведено геоботаническое картирование на известных на тот момент кимберлитовых телах Далдынского поля. Были закартированы комплексы растительности в долине р. Далдын и установлено, что непосредственно на кимберлитовых телах или на их контактах с вмещающими карбонатными породами наблюдается бурное развитие растительности, бóльшая сомкнутость леса и кустарников. Следовательно, картирование кимберлитовых тел возможно по «аномалиям» растительности [2].

Впоследствии на кимберлитовых телах, расположенных в различных странах, а именно в США, Канаде, Бразилии, Индии и Либерии также были установлены геоботанические «аномалии», характеризующиеся развитием густой растительности на элювии и делювии кимберлитов, а в некоторых случаях и появлением растений-эндемиков [3], которые произрастают только на серпентиновых почвах, формирующихся на кимберлитах.

В условиях севера Средней Сибири неоднородность растительности хорошо выявляется на аэрофотоснимках, тем самым здесь создаются благоприятные условия для геологического дешифрирования по растительности. Различие в «плотности» растительного покрова на ультраосновных, основных и карбонатных породах выражается достаточно ярко [1].

В конце 1950-х гг. было известно, что локальные изометрические аномалии растительности нередко формируются на кимберлитовых телах. Таким образом, было выявлено несколько десятков кимберлитовых тел. Территории известных алмазоносных районов были покрыты аэрофотосъёмкой полностью. Благодаря этому, на первый взгляд, можно считать, что данный метод себя исчерпал.

Однако аэрофотосъёмка выполнялась однократно в летне-осеннее время, что не даёт возможности наблюдать вариации объёма растительной биомассы в течение года или год от года на кимберлитовых телах и вмещающих карбонатных породах.

С 2013 г. на орбите Земли стали появляться георесурсные спутники типа Landsat-8 и Sentinel-2 с разрешающей способностью до 10 м на пиксель, что сопоставимо со среднемасштабной съёмкой масштаба 1 : 25 000 – 1 : 50 000. В отличие от чёрно-белой аэрофотосъёмки спутниковая съёмка проводится не только в видимом, но и в инфракрасном спектре с интервалом от 5 до 14 дней.

Соответственно, на сегодняшний день существует возможность проследить изменение объёма растительной биомассы в связи со сменой времён года на кимберлитах, экспонированных на дневную поверхность. В ходе ручного разбора космических снимков Landsat-8 и Sentinel-2 за

период с 2013 по 2021 год установлено, что в первой декаде июня в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе складываются благоприятные условия для раннего «пробуждения» растительной биомассы на кимберлитовых телах, в то время как на окружающих карбонатных породах растительность «пробуждается» сравнительно медленными темпами. Были выявлены геоботанические аномалии на кимберлитовых телах, ранее считавшихся «невидимыми» в материалах ДЗЗ, выделены перспективные аномалии.

Оценка объёма биомассы производилась при помощи индексных изображений, построенных по результатам расчёта нормализованного относительного индекса растительности NDVI, являющегося простым показателем количества фотосинтетически активной биомассы.

Список литературы:

1. Лукичева А. Н. Возможности использования крупномасштабных геоботанических карт при геологическом картировании (на примере северо-востока Сибирской платформы) / А. Н. Лукичева // Геоботаническое картографирование. – 1965. – М.; Л. – С. 32–39.
2. Лукичева, А. Н. Растительный покров как индикатор кимберлитовых трубок // Геология и геофизика. – 1960. – Т. 1, № 11. – С. 35–48.
3. Haggerty S.E. Discovery of a kimberlite pipe and recognition of a diagnostic botanical indicator in NW Liberia // Economic Geology. – 2015. – V. 110 (4). – P. 851–856.

Колова Е. Е., Глухов А. Н.
ФГБУ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНОГО ПРИОХОТЬЯ – ПОИСКОВЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

Рассмотрена история открытия медно-порфировых месторождений Северного Приохотья, определена положительная роль квалифицированного регионального прогноза, выполненного с учетом существующих поисковых предпосылок. Приведены первые данные о результатах проведенных ГРР, направленных на поиск медно-порфировых месторождений в Магаданской области.

Ключевые слова: Северное Приохотье, Магаданская область, медно-порфировые месторождения.

Вопрос о диверсификации минерально-сырьевой базы Магаданской области не уходил из повестки на протяжении последних 20 лет, и только в 2018 г. появилась возможность начать целенаправленные работы по выявлению и вовлечению в промышленное освоение медно-порфировых месторождений. Исследования были инициированы Правительством Магаданской области в результате взаимодействия с СВКНИИ ДВО РАН. С 2019 г. были выполнены существенные объемы поисковых работ. Полученные результаты заслуживают внимания, а история поисков медно-порфировых месторождений в Магаданской области – осмысления.

Первые пункты минерализации меди в Северном Приохотье были выявлены при среднемасштабном геологическом картировании в период 1950–1970-х гг. Что важно, перспективы территории полуостровов Кони и Пьягина в то время оценивались только относительно золота. В 1975 г. Н. В. Ичетовкиным при составлении сводных материалов по полезным ископаемым Примагаданья была дана отрицательная прогнозная оценка на обнаружение месторождений молибден-медно-порфирового типа.

В. Ф. Белый в 1977 г. [1] выявил сходство так называемой Тайгоносской андезитовой геосинклинали с Арауканской зоной Чилийских Анд, вмещающей медно-порфировые месторождения, и предположил возможность обнаружения подобных объектов на побережье Охотского моря. С учетом этого в 1975–1978 гг. Ю. П. Скибиным [6] в рамках госгеолкартирования и общих поисков были проведены целенаправленные на медно-порфировое оруденение исследования, в результате которых были выявлены признаки прожилково-вкрапленной медной минерализации в верховьях р. Накхатанджа (рудопроявление Прямое), р. Антара, на мысах Павловича

и Япон, в бухте Шельтинга, открыто рудопроявление медно-порфировых руд, которое Юрий Павлович назвал именем свой жены – Лора. В 1983–1990 гг. под руководством В. Д. Юдина, Ю. Ю. Воробьева, М. В. Лютаева в Накхатанджинском рудном узле были проведены поисковые работы масштаба 1 : 50 000, в рамках которых выполнены литохимические, геофизические, горно-геологические, а на рудопроявлении Лора и буровые работы (16 скв. до 100 м). Здесь установлены 10 рудных тел северо-западного направления, открыты рудопроявления Буочах, Буксенджа, Крутой, Верный, отмечен аномальный поток рассеяния меди в долине ручьев Балочный и Тальниковый. Перспективы Накхатанджинского рудного узла были оценены как высокие, представленные ресурсы составили порядка 6 млн т.

Оценочные работы в Накхатанджинском рудном узле были продолжены в 1999–2004 гг. Дукатской ГГК при участии сотрудников СВКНИИ ДВО РАН – д. г.-м. н. Н. Е. Саввы и на тот момент еще студентки 4 и 5 курсов Е. Е. Коловой (Савва, 2003 г.) [2]. В результате горно-буровых работ на рудопроявлении Лора (буровые работы 16 скв. от 80 до 401 м) выделены и прослежены до глубины 401 м три рудных тела, оценены прогнозные ресурсы и сделан авторский подсчет запасов центральной части одного рудного тела. Стоит заметить, что применявшийся для анализа керновых и бороздовых проб ПКСА не соответствует требованиям к точности для подсчета запасов, что стало причиной снятия их с государственного баланса в 2019 г. Дукатской ГГК были проведены поисковые работы на площади 5250 км^2, изучены 24 участка, в том числе участок Тальниковый. В береговых обрывах и руслах ручьев Балочный и Поворотный Н. Е. Саввой зафиксированы зоны сульфидизации и образования, названные ею латеритами (Савва, 2003 г., архив СВКНИИ ДВО РАН), по описанию соответствующие феррикритам [8, 12]. Натальей Евгеньевной сделано предположение о залегании под ледниковыми образованиями в междуречье Балочный–Тальниковый медно-порфировых руд, которые подтвердились аномалией ВП. По ее рекомендации в борту ручья была пройдена канава, вскрывшая зону пропилитизации, одна бороздовая проба показала содержание меди 0,4 %. Дукатская ГГК не имела технических возможностей для проведения буровых работ, а сроки лицензии к тому времени истекли.

В 2013 г. лицензию на Накхатанджинский рудный узел приобрела ООО «Четвертая ГГК». При составлении проекта за консультацией геологическая служба компании обратилась к СВК НИИ ДВО РАН. Первоочередным объектом для проведения поисковых работ был рекомендован участок Тальниковый, а наиболее интересным, нуждающимся в исследованиях, – участок Рыжик, расположенный в 20 км к северу от участка Тальниковый. В 2014–2016 гг. ООО «Четвертая ГГК» провела на Лоре, Прямом и Тальниковом поисковое бурение (2747 м), на участке Рыжик – литохимические и аэрогеофизические работы. Пробы анализировались современными методами. По скважинам месторождения Лора геохимические результаты показали удовлетворительную сходимость. На участке Тальниковый были пробурены 4 скважины от 194,6 до 416,5 м, тремя из которых вскрыли рудные зоны с максимальным содержанием меди 4 %. Проведенные работы подтвердили оценку предшественников о перспективности объектов, однако компанией было принято решение прекратить работы.

Не менее драматичной оказалась история открытия медно-порфирового рудопроявления Пиритовый (Дегденрэкэн) в Омсукчанском районе. В 1976 г. Г. И. Хориным в ходе поисковых работ по потокам рассеяния в верховьях ручья Пиритовый был выделен участок, рекомендованный для обнаружения золотого и молибденового оруденения прожилково-вкрапленного типа. Медь в этих работах не оценивалась. По методическим рекомендациям в 1980 г. участок Пиритовый был внесен в задание госгеолкартирования с общими поисками масштаба 1 : 50 000. Руководителем работ назначен А. Э. Ливач. На участке выполнены геохимические, геофизические и ГР (канавы 751 пог. м) работы. Оконтурена геохимическая аномалия площадью порядка 4 км^2, границы рудного штокверка составили 1 км^2, среднее содержание меди 0,5 % (ПКСА, лаборатория Омсукчанской ГРЭ), ресурсы меди оценены в 4,1 млн т. В 1985 г., также следуя методическим рекомендациям, Омсукчанская ГРЭ на участке поставила ГРР: канавы 3185 пог. м., колонковое бурение 1598,1 пог. м. Результатам в отчете отведен один абзац, в котором обозначено среднее содержание меди 0,05 % (ПКСА, лаборатория Омсукчанской ГРЭ), площадь штокверка 0,5 км^2. Объект отнесен к некондиционным. При изучении первичной документации нами выявлено несоответствие указанных содержаний меди (меньше 0,01–0,05 %) и описания керна – «по

трещинам развиты примазки медной зелени. Наблюдаются прожилки сульфидно-кварцевого состава мощностью до 7 мм. Сульфиды в прожилках представлены пиритом и халькопиритом». Содержание меди в образцах с медной зеленью не может быть меньше 0,1 %.

В июле 2018 г. губернатору Магаданской области нами была предложена программа по изучению в регионе медно-порфирового оруденения. Нами проанализированы фондовые материалы и выделены 58 перспективных площадей (до 100 км^2) на участке ОЧВП в границах Магаданской области. В список вошли как известные объекты – Лора, Тальниковый-1, Тальниковый-2 (Рыжик), мыс Павловича, Уптар, Осеннее-Оксинский РУ, Пиритовый (Вилигинские), Наяхан, Шельтинга, Кенгивеем, так и не известные ранее, но имеющие признаки порфировой системы [3, 4, 5, 7, 9–12], – мыс Речной, мыс Кейтеван, Меренга, Хаханджа, Канагинская, Широкинская, Верхнее Кегали (руч. Каняв). Кроме того, были даны рекомендации по пересмотрению геолого-промышленной модели молибденового месторождения Медьгорское, которое было открыто 1937 г., в «допорфировую эпоху», и имеет признаки проксимальной части медно-порфировой системы [7, 12].

В 2020–2021 гг. на ряде выделенных объектов проведены геохимические, геофизические и буровые работы, в которых частично была задействована команда СВКНИИ ДВО РАН. В 2019 г. нами в рамках Программы ДВО РАН (рук. А. И.Ханчук) исследовано рудопроявление Пиритовый (Дегденрэкэн). В 2021 г. в рамках госгеолкартирования 1 : 1 000 000 совместно с сотрудниками ВСЕГЕИ (рук. А. А. Аленичева) изучены рудопроявления Осенне-Оксинского РУ, рудопроявление Уптар и мыс Речной.

На рудопроявлении Тальниковый при применении MMI в междуречье Балочный–Тальниковый были выявлены несколько контрастных аномалий меди общей площадью 8 км^2, геофизическими работами подтверждена аномалия ВП, буровыми работами (порядка 4000 м) вскрыта рудная зона с прожилково-вкрапленной минерализацией со средним содержанием меди 0,4 %.

На мысе Кейтэван Карамкенской ГГЭ в 2020–2021 гг. были выявлены аномалии ВП, заверка которых привела к обнаружению сульфидного штокверка с содержаниями меди до 0,6 % (ПКСА, СВПГО, г. Магадан).

На мысе Речной нами установлены кварц-сульфидный штокверк и зона сульфидной минерализации с содержанием меди до 11 % (ICP-MS, ВСЕГЕИ), вскрытые разломом сбросовой кинематики.

На рудопроявлении Пиритовый нами зафиксировано поле пропилитов с кварц-сульфидной вкрапленной и штокверковой минерализацией, площадью не менее 2 км^2, с содержанием меди до 0,4 % (ICP-MS, ИТиГ, г. Хабаровск).

Объекты Осенне-Оксинского РУ нами оценены как не имеющие признаков медно-порфировой системы, содержание меди не превысило 0,07 % (ICP-MS, ВСЕГЕИ).

Рудопроявление Уптар нами рекомендовано к продолжению исследований. Рудные зоны приурочены к зонам дробления, горными выработками по простиранию не прослежены, минерализация скудная, метасоматическая зональность неясно проявленная, по трещинам широко распространена медная зелень, содержание меди достигает 0,2 % (ICP-MS, ВСЕГЕИ).

Таким образом, история открытия в Северном Приохотье медно-порфирового оруденения является примером успеха квалифицированного регионального прогноза, выполненного с учетом существовавших поисковых предпосылок [4, 7, 11, 12]. Привлечение к ГРР сотрудников академического НИИ создало для поисковых работ необходимый научный базис, что позволило непосредственно в поле увидеть важные для поисков факты и верно их интерпретировать.

Список литературы:

1. Белый В. Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М. : Наука, 1977. – 171 с.
2. Колова Е. Е. Золотая минерализация Кони-Пьягинской металлогенической зоны : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. геол.-минерал. наук / Елена Евгеньевна Колова. – М. : ИГЕМ, 2009. – 24 с.

3. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Попов В. С. Медно-порфировые месторождения мира. – М. : Наука, 1986. – 236 с.
4. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф. [и др.]. Медно-порфировые месторождения // Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
5. Павлова И. Г. Медно-порфировые месторождения: закономерности размещения и критерии прогнозирования. – Л. [СПб.] : Недра. Ленингр. отд., 1978. – 280 с.
6. Скибин Ю. П. Вопросы систематики месторождений медно-молибденовых прожилково-вкрапленных руд Северо-Востока СССР // Рудные формации Северо-Востока СССР. – Магадан : СВКНИИ ДВО АН СССР, 1990. – С. 109–119.
7. Hammarstrom J. M., Hammarstrom J. M., Zientek M. L., Parks H. L., Dicken C. L. Assessment of undiscovered copper resources of the world, 2015 // US Geological Survey, 2019. – № 2018–5160.
8. Hayes T. S., Brown J. G., Sutley S. J., Whelan J. F. Geology and Rock-Water Geochemistry of Exotic Copper Deposits, Ferricretes, and Manganocretes Associated with Porphyry Copper Deposits in Arizona, New Mexico, and Sonora // Special publications of the Society of Economic Geologist – 2009. – № 14. – P. 145–147.
9. Hollister V. F., Sirvas E. B. The Michiquillay porphyry copper deposit // Mineralium Deposita. – 1974. – V. 9. – P. 261–269.
10. Loucks R. R. Distinctive composition of copper-ore-forming arcmagmas // Australian Journal of Earth Sciences. – 2014. – V. 61, № 1. – P. 5–16.
11. Richards J. P. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation // Economic geology. – 2003. – V. 98, № 8. – P. 1515–1533.
12. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Economic geology. – 2010. – V. 105, № 1. – P. 3–41.

Колова Е. Е., Глухов А. Н.
ФГБУ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ ОСНОВЕ – ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗЕДОЧНЫХ РАБОТ

Выполнен анализ состояния рынка подрядных геологических работ и его структуры. Показано, что значительным потенциалом на нем располагают академические и отраслевые научно-исследовательские институты. Их рыночными преимуществами являются погруженность в местный контекст, знание геологических и географо-экономических условий региона, наличие опыта изучения расположенных здесь месторождений. Широкое вовлечение академических институтов в ГРР принесет пользу и государству и бизнесу.

Ключевые слова: сервисные геологические работы, НИИ, научный.

Геологоразведочные работы (ГРР) представляют собой процесс получения информации о недрах, позволяющей экономически рентабельно извлечь из них полезное ископаемое. Это определяет расположение данного вида человеческой деятельности на стыке индустрии и научного исследования. Качество и успешность этих работ формируют первичную стоимость будущего месторождения, поэтому обеспечение их оптимального соотношения является важнейшей задачей и государства и недропользователей.

Проведение ГРР ранних стадий силами горнорудных компаний, даже крупных, часто нецелесообразно по ряду причин. Первая – идеологическая. Любая коммерческая компания вне зависимости от формы собственности ориентирована прежде всего на получение прибыли. Это не позволяет на должном научном уровне выполнять прогнозно-металлогенические исследования, обоснованно выделять площади и проводить на них поисковые работы. Отраслевыми геологическими институтами, прежде всего ЦНИГРИ, за десятилетия разработана нормативно-методическая информация, использование которой позволяет методически корректно вести ГРР. Однако чаще всего поисковые работы сводятся к исхаживанию или разбуриванию участков

с известными прямыми признаками, а попытки придать им хотя бы подобие научной обоснованности, как правило, встречают неприятие менеджмента.

Вторая – кадровая. Крупные и средние компании по характеру своей деятельности являются трансрегиональными, их головные офисы располагаются в столичных мегаполисах, и комплектование кадрами также производится из различных районов страны. Постоянная ротация кадров приводит к тому, что, в среднем, даже при наличии в компании региональных филиалов специалист-геолог проводит в одном регионе не более 2–5 лет. За такой период невозможно изучить геологическое строение, полезные ископаемые и специфику местных условий в той степени, которая позволит уверенно планировать и организовывать поисковые работы.

Третья – организационная. Вся производственная инфраструктура горнорудных компаний привязана к уже действующим ГОКам, и проведение работ за их пределами крайне затруднено. Как правило, региональные филиалы крупных компаний не располагают ни техническими возможностями, ни персоналом для проведения площадных работ в регионах, подобных Магаданской области или Чукотке.

Осознавая данные проблемы, горнорудные компании, как крупные, так и средние, в последние годы при проведении ГРР обращаются к геосервисным компаниям. В данном сегменте рынка в настоящее время работают как относительно крупные подрядчики, предоставляющие полный спектр услуг от выбора участков и полевых поисковых работ до подсчета запасов и проектирования горнодобывающего предприятия, так и мелкие, выполняющие отдельные виды работ. Все они располагаются в нескольких крупных городах-мегаполисах, и кадровый и организационный вопросы при работе в регионах для них столь же остры, как и для их заказчиков. Предлагаемый ими спектр сервисных услуг можно разделить на шесть направлений: геолого-технологический аудит горнорудных проектов, выбор перспективных участков и площадей, геологическое обеспечение поисковых и разведочных работ и контроль их качества, подсчет запасов, современные технические средства (БПЛА и др.).

В этом контексте целесообразно вспомнить, что в советское время в нашей стране была сформирована многоуровневая система научных исследований, включавшая в себя академические и отраслевые НИИ, как столичные, так и региональные. И если отраслевые НИИ в регионах к настоящему времени в значительной степени перестали функционировать, то система исследовательских институтов, входящих в состав РАН (а ныне Минобрауки РФ), в целом сохранилась. В большинстве столиц субъектов РФ с развитой горнорудной промышленностью есть академический институт геологического профиля. Благодаря бюджетному финансированию, системе грантов и заказам коммерческих структур, такие НИИ не утратили способности достаточно эффективно вести геологическое изучение недр.

Рассмотрение возможностей НИИ геологического профиля показывает, что большинство из них при существующем кадровом составе и техническом оснащении могут выполнять работы по трем из пяти направлений геосервисных услуг, включая наиболее востребованные – выбор перспективных объектов и геологическое обеспечение поисковых работ. Помимо этого НИИ могут предложить дополнительный комплекс работ (петрографические, минералогические, петрофизические, литолого-стратиграфические исследования, предоставление транспорта, склада, помещений для работы с каменным материалом, полевого снаряжения).

Главным преимуществом регионального НИИ является знание своего региона, его геологии и полезных ископаемых; в каждом институте сформирован соответствующий банк данных. За многие годы работы геологи региональных институтов не только проработали значительное количество отчетов, хранящихся в территориальных фондах геологической информации (ТФИ), но и сами составили многие из них. Все это позволяет придать геологическому сервису подлинно научную основу, базирующуюся на твердом, накопленном за многие десятилетия исследований теоретическом и практическом фундаменте.

Наиболее наукоемкое направление геологического сервиса – выбор перспективных участков и площадей для поисковых работ. В отечественной системе стадийности ГРР [1] данные работы, целью которых является оконтуривание и оценка новых рудных районов, узлов и полей, именуются прогнозированием месторождений, прогнозно-минерагеническими исследованиями, геолого-минерагеническим картированием [2] и относятся к первому этапу ГРР – «работы об-

щегеологического и минерагенического назначения». Их проведение за счет средств федерального бюджета РФ возлагается на государственные предприятия и организации, принадлежащие Роснедрам, Росгеологии и Минобрнауки. Совершенно очевидно, что академические НИИ в состоянии проводить такие работы и для коммерческих заказчиков (горнорудных компаний). С учетом акцента на выявление месторождений конкретных металлов, являющихся профильными для конкретной компании, подобные исследования сближаются с работами следующего этапа – «Поиски и оценка месторождений». Поэтому оправданным является использование для их обозначения термина «прогнозно-поисковые работы» (ППР). Так как большая часть площади горнорудных регионов покрыта средне- и крупномасштабной геологической съемкой, в том числе второго и третьего поколений, наиболее целесообразной методикой ППР являются ревизионно-поисковые работы в пределах ранее выделенных рудных районов на потенциально рудных узлах и полях. Научно обоснованной базой для таких работ являются в первую очередь сведения, хранящиеся в ТФИ и фондах НИИ. Использование технических средств, таких как БПЛА или мультиспектральные космоснимки, лишь дополнительный инструмент, способный дополнить фундамент геологических данных. Как отмечал Р. Силлитоу (1995), «ключевым фактором открытия месторождения является максимально возможный контакт геологического персонала и собственно геологической среды».

Примером успешной прогнозно-поисковой работы академического НИИ является реализация программы поисков медно-порфировых месторождений в Магаданской области. На предварительном этапе исследований учеными было выделено несколько десятков перспективных площадей ранга рудного узла, рекомендованных для проведения поисков. На нескольких из них были проведены поисковые работы, подтвердившие прогноз и выявившие медную минерализацию либо перспективные геохимические аномалии.

В последнее время наметилась тенденция внедрения в отечественную практику терминов, являющихся калькой с англоязычных обозначений – «геологическое таргетирование», «геологический супервайзинг». Это представляется излишним; принятые в отечественной практике термины «прогнозно-поисковые работы», «геологическое сопровождение», «контроль качества ГРР» являются вполне удобными и исчерпывающими.

Следует отметить, что не является оправданной также тенденция экстраполировать на прогнозно-поисковые работы подходы и практики, применяемые при разведке месторождений. Очень часто в докладах и рекламных статьях говорится о необходимости проведения такого рода исследований в соответствии с некими международными стандартами. При этом даются ссылки на такие нормативные документы, как «Кодекс JORC» и NI 43-101. В этой связи обращаем внимание, что они регламентируют лишь содержание отчетности о запасах и не имеют никакого отношения к методике поисковых работ, а тем более к прогнозированию.

Таким образом, проведение сервисных геологических работ, прежде всего прогнозно-поисковых, на фундаментальной научной основе открывает перед горнорудными компаниями значительные возможности в деле развития их минерально-сырьевой базы. Академические НИИ располагают для этой работы наибольшим потенциалом и имеют несколько ключевых преимуществ перед другими участниками данного рынка. Ключевым из них является погруженность в местный контекст, знание геологических и географо-экономических условий региона, наличие опыта изучения расположенных здесь месторождений. Широкое вовлечение академических институтов в ГРР принесет пользу и государству и бизнесу.

Список литературы:

1. Положение о порядке проведения ГРР по этапам и стадиям. – М. : ВИЭМС, 1999. – 11 с.
2. Требования к организации и проведению геолого-минерагенического картирования масштабов 1 : 500 000 и 1 : 200 000. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2009. – 44 с.
3. Sillitoe R. H. Exploration and discovery of base- and precious-metal deposits in the Circum-Pacific Region During the Last 25 years / Metals Mining Agency of Japan. – 1995. – 132 p.

Конкин В. Д.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СВЯЗЬ СТРАТОИДНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ И СТРАТИФОРМНЫХ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЯХ

Приведены краткие сведения о фациальных обстановках нахождения рудных полей с различными минералого-геохимическими типами стратоидных месторождений золота, стратиформных колчеданно-полиметаллических руд в группе черносланцевых толщ, а также стратиформных свинцово-цинковых руд в хемогенно-рифогенных карбонатных толщах Енисейской и Байкало-Патомской провинций. Предложен вариант выделения комплексных рудных узлов с «совмещенной металлогенией».

Ключевые слова: стратоидные месторождения золота, стратиформные колчеданно-полиметаллические, свинцово-цинковые месторождения, черносланцевые, карбонатные, толщи.

1. Металлогения Енисейской и Байкало-Патомской провинций характеризуется широким спектром месторождений различных рудных формаций в черносланцевых и карбонатных толщах. При этом для провинций, при ведущей роли стратоидных месторождений золота (СМЗ) различных минералого-геохимических (геолого-промышленных) типов: золото-кварц-сульфидной, золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формаций в черносланцевых толщах с углерод- и карбонатсодержащими фациями, характерно наличие стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах с органогенными фациями (СЦ), а также стратиформных колчеданно-полиметаллических месторождений (КПМ) в черносланцевых толщах [2–4, 7].

Группа черносланцевых формаций включает фациальные типы углеродсодержащих и безуглеродистых терригенных (от разнозернистых песчанистых до аргиллитовых и глинистых фаций), карбонатно-терригенных, туфогенно-карбонатно-терригенных и карбонатных пород, слагающих толщи преимущественно флишоидного (от мелкого до грубого) и флишевого (до тонко-мелко ритмичного) строения. Мощность отдельных горизонтов от первых метров до первых сотен метров, слагающих от двух до трех стратиграфических серий формационных комплексов общей мощностью до 10–15 км.

2. В палеоструктурном плане терригенные и вулканогенно-терригенные комплексы с черносланцевыми формациями Енисейской и Ленской (Байкало-Патомской) провинций составляют единую систему структурно-вещественных комплексов, сформировавшихся в рифее и рифей-венде в рифтогенных и надрифтовых прогибах с преимущественно миогеосинклинальным режимом осадконакопления на шельфе и склоне континента с рассеянным спредингом.

Осадконакопление проходило синхронно осадконакоплению в сопряженных с ними прогибах с преимущественно эвгеосинклинальным (островодужным) режимом осадконакопления в обстановках вулканических дуг. Стратифицированные толщи обеих провинций претерпели складчато-разрывные деформации байкальского орогенеза с внедрением базит-гипербазитовых и гранитоидных комплексов рифея и тектоно-магматические перестроения на палеозойских этапах активизации с внедрением комплексов гранитоидов [2, 4].

3. В черносланцевых толщах обеих провинций выявлены стратоидные месторождения различных геолого-промышленных типов золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварц-сульфидной рудных формаций, стратиформные месторождения колчеданно-полиметаллических, в том числе золотосодержащих, руд и свинцово-цинковых стратиформных руд в карбонатных толщах [2, 4, 7].

4. Металлогения золота в черносланцевых толщах (на современном уровне изученности) свидетельствует о сложном длительном процессе полигенно-полихронного рудообразования золоторудных месторождений – от этапов сингенетичного накопления тонкорассеянной золотосодержащей сульфидной и/или металлоорганической тонкодисперсной вкрапленности во вмещающих черносланцевых и глинисто-карбонатных фациях, до заключительных этапов коллизионных преобразований (включая складчатость и метаморфизм) с переотложением син-

генетичных золотосодержащих образований и их обогащением благородными и попутными элементами на этапах постколлизионной тектоно-магматической активизации с внедрением диорит-гранодиорит-гранитных комплексов малых интрузий и даек пестрого состава [1, 2, 4, 5].

Характерной особенностью СМЗ различных минералого-геохимических типов служит наличие тонкорассеянной вкрапленности сульфидов в рудовмещающих фациях черносланцевой формации, среди которых важную роль играют золотоносный пирит и/или арсенопирит, составляющие, как правило, не более 10 %, обычно 3–7% от объема горизонта.

Металлогения колчеданно-полиметаллических руд (КПМ) в черносланцевых толщах характеризуется преимущественно сингенетичным формированием сульфидов в карбонат- и бескарбонатных углеродистых толщах флишоидного строения. Необходимо отметить, что локальные рудовмещающие впадины с черносланцевыми толщами флишоидного строения, как правило, разделены внутренними палеоподнятиями с формированием на них карбонатных толщ с рифогенными постройками. Такие толщи служат рудовмещающими для месторождений СЦ [3].

Характерной особенностью КПМ служат рудные залежи со слоистыми текстурами, которые претерпевают складчатые деформации и метаморфизм (до амфиболитовой фации) совместно с рудовмещающими толщами. Рудные залежи могут локализоваться ярусно как в пределах единого горизонта, так по толще в целом, слагая серию кулисообразно расположенных залежей. Содержание сульфидов, для оконтуривания рудных тел, составляет обычно 20–25 %, что соответствует бортовому содержанию по сере 12–15 %.

5. В современном региональном плане в строении Енисейской провинции выделены три металлогенические зоны, соответствующие структурно-формационным зонам. По сочетанию структурно-вещественных комплексов в каждой из них выделены подзоны с ведущими месторождениями цветных и благородных металлов [2, 4].

Стратоидные золоторудные месторождения приурочены к насыщенной гранитоидами Центральной (Тейско-Татарской) и отчасти Восточной зонам и их подзонам с вуканогенно-карбонатно-черносланцевыми толщами пенченгинской (протерозой-?) и нижне-среднерифейской сухопитской серий.

Стратиформные КПМ в черносланцевых толщах и СЦК в хемогенно-органогенных карбонатных толщах выявлены только на верхнерифейских стратоуровнях тунгусиксой серии в пределах Ангаро-Тисской подзоны. При этом в отдельных прогибах этой подзоны отчетливо выражен латеральный ряд осадконакопления, в которых мощные терригенные углеродсодержащие толщи флишоидного строения с колчеданно-полиметаллическими рудными залежами, накопившиеся в локальных палеовпадинах, сменяются по латерали синхронными терригенно-карбонатными и карбонатными толщами с органогенными постройками на палеоподнятиях, разделяющих прогибы и вмещающих месторождения СЦК [3].

Основной спектр сопутствующих геохимических элементов для золоторудных месторождений в черносланцевых толщах включает Au, As, Sb, W, реже Mo, Ag, Hg, что, вероятно, связано с металлогенической специализацией интрузивных комплексов. Для колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых месторождений такой спектр характеризуется преимущественным наличием Pв, Zn, Cu, реже Ag и группы редких элементов (индий, селен, скандий), связанных с сингенетичными осадконакоплению вулканогенными гидротермами. Такой спектр элементов находит свое отражение и в аномалиях вторичных ореолов рассеяния.

Пространственное совмещение в ранге рудного района и узла фиксируется только для стратиформных КПМ и СЦК месторождений, локализованных в толщах Тунгусикской серии (верхний рифей), что позволят выделить комплексные рудные узлы со совмещённой металлогенией различных геолого-промышленных типов месторождений свинцово-цинковых руд.

6. В современном региональном плане в составе Байкало-Патомской провинции выделяются три области со стратоидной золоторудной минерализацией в черносланцевых толщах – Тонодско-Патомо-Нечерская, собственно Ленская (Бодайбинская) с системой прогибов с миогеосинклинальным режимом осадконакопления и Олокит-Делюн-Уран-Сюльбанская (ОДУС) с прогибами, включающими элементы рифтогенного и задугового режимов осадконакопления [4–7].

Стратиформные месторождения КПМ и СЦК и золоторудные выявлены в пределах ОДУС зоны, а СЦК – в пределах Западно-Прибайкальской полиметаллической зоны с преимущественно терригенно-карбонатными (в том числе хемогенно-рифогенными) фациями.

В отдельных прогибах (Олокито-Мамском, Чаяндринском, Урях-Бахтарнакском и других) черносланцевые толщи (по строению, различной степени интенсивности проявления метасоматитов и их составу) сходны с геолого-структурными обстановками Южно-Бодайбинского золоторудного узла. Но в отличие от последних рудовмещающие стратифицированные толщи ОДУС более интенсивно интрудированы телами базит-гипербазитового состава рифей-вендского времени и потенциально золотоносными малыми телами гранитоидов палеозойского Конкудёро-Мамаканского комплекса, входящего в состав Ангаро-Витимского ареал-плутона гранитоидов.

В этих прогибах, помимо СМЗ золота в черносланцевых толщах, выявлены стратиформные КПМ в черносланцевых толщах, а также проявления стратиформных СЦК руд в карбонатных толщах с рифогенными постройками.

7. В Олокито-Мамском прогибе на простирании черносланцевой формации с колчеданно-полиметаллическими месторождениями в черносланцевой толще (Холоднинское, Космонавтинское, Овгольское), стратиформными свинцово-цинковыми рудопроявлениями в карбонатных толщах (Йоко, Рыбачье) выявлена группа стратоидных золоторудных проявлений в черносланцевых толщах (Сининда-Нерундинский золоторудный узел с месторождением Нерунда).

Отметим, что интрузивные комплексы гранитоидов на площади Холоднинского рудного узла с черносланцевыми толщами не установлены, но проявлены на его простирании в пределах площади Сининда-Нерундинского золоторудного узла. Это отчасти определяет пространственно-генетическую связь золоторудной минерализации с потенциально золотоносными флюидами, сопровождающими становление гранитоидов.

8. На площади Чаяндринского прогиба, расположенного на периферии вулканической постройки базальт-риолитового состава, установлено совмещение в пространстве двух рудноформационых типов месторождений – стратиформных КПМ (месторождение Среднее) и стратоидных золото-кварц-сульфидных руд (проявление Лево-Джалагунское) в пределах черносланцевой толщи Джалагунской свиты флишоидного строения мощностью около 1400 м.

В строении свиты выделены три подсвиты: нижняя (мощностью около 550 м), сложенная пакетами переслаивания углеродистых филлитовидных сланцев, углеродсодержащих туфогенных меаталевро-аргиллитов карбонатных пород (доломитов, доломит-анкеритовых мраморов) с линзами и плитоообразными телами колчеданно-полиметаллических руд; средняя (мощностью около 500 м), также представленная пакетами переслаивания углеродсодержащих металевролитов и метапесчаников с горизонтами метатуфогенных кварц-хлорит-слюдистых, кварц-хлоритовых сланцев, карбонат- и углеродсодержащих тонкослоистых (волнисто-слоистых) кремнистых туффитов, магнетитсодержащих сланцев (туфо-алевросланцев хлорит-актинолитового состава), пластами и линзами карбонатных пород (в том числе битуминозных известняков) и горизонтами слюдистых метапесчаников; верхняя подсвита (мощностью более 350 м) сложена преимущественно кварцитами и полевошпат-кварцевыми метапесчаниками с прослоями слюдистых кварцито-сланцев.

На площади выявлены зоны полистадийных метасоматитов железо-магнезиально-карбонатного и березит-лиственитового составов и сближенные в пространстве аномалии вторичных ореолов рассеяния золота, свинца и цинка.

Признаки околорудного метасоматоза стратиформных тел колчеданно-полиметаллических руд не выявлены, что свидетельствует о синхронности осадко- и рудонакопления руд за счет поступления растворов по конседиментационным разрывным нарушениям.

Вместе с тем, стратоидное жильно-прожилковое золото-сульфидно-кварцевое оруденение Чаяндринского рудного узла зафиксировано в зонах совмещения полистадийных метасоматитов с жильно-прожилковой золото-сульфидно-кварцевой минерализацией, связанной с гидротермами, сопутствующими стадиям внедрения гранитоидов [6].

Совмещение в пределах единого рудного узла с черносланцевыми формациями, вмещающими стратоидные месторождения золота, а также стратиформные колчеданно-полиметаллических

и свинцово-цинковых руд, позволяет выделять их в качестве комплексных рудных узлов с совмещенной металлогенией и прогнозировать их выделение на новых слабоизученных территориях с группой черносланцевых и карбонатных формаций в вертикально-латеральных рядах с островодужными вулканогенными формациями. В частности, для площадей Таймырской провинции и Присаянского прогиба Восточно-Саянской провинции.

Список литературы:

1. Буряк В. А. Источники золота и сопутствующих компонентов золоторудных месторождений в углеродсодержащих толщах // Геология рудных месторождений. – 1986. – Т. 28, № 6. – С. 31–43.
2. Забияка А. И., Гусаров Ю. В. Районирование Енисейской металлогенической провинции // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. – Красноярск : КНИИГиМС, 2002. – Вып. 3. – С. 80–89.
3. Зайцева М. Н., Кузнецов В. В., Конкин В. Д., Серавина Т. В., Инякин А. В., Богославец Н. Н. Хачатуров М. М. Обстановки формирования месторождений свинца и цинка Ангаро-Большепитской минерагенической зоны // Руды и металлы. – 2020. – № 3. – С. 52–67.
4. Иванов А. И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ФГУП ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
5. Иванов А. И. Рифейско-палеозойское рудообразование в Байкало-Патомской золоторудной провинции // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 12. – С. 3–10.
6. Иванов А. И., Агеев Ю. Л., Конкин В. Д., Донец А. И. Особенности золотого рудообразования в юго-восточной части Байкало-Патомской металлогенической провинции (Джалагунское рудное поле) // Руды и металлы. – 2022. – № 3. – С. 6–44.
7. Конкин В. Д., Галямов А. Л., Донец А. И., Окулов А. В. Стратиграфические уровни локализации золоторудных и свинцово-цинковых месторождений Енисейской и Ленской провинций // Руды и металлы. – 2019. – № 4. – С. 17–33.

Конышев А. А.
ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА СУЛЬФИДНЫХ РАСПЛАВОВ, СУЩЕСТВОВАВШИХ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГРАНИТ-ПОРФИРОВ, АССОЦИИРУЮЩИХ С ГРАНИТАМИ РАПАКИВИ (САЛМИНСКИЙ БАТОЛИТ, КАРЕЛИЯ)

Это исследование выполнено в рамках Государственного задания ИГ КарНЦ РАН, тема № 216. На более ранних этапах выполнялось в рамках грантов РФФИ 15-05-03393 и 18-05-01101 в ИЭМ РАН и ГЕОХИ РАН.

В данной работе охарактеризован состав сульфидного расплава, захваченного цирконом при становлении даек гранит-порфиров – геохимических аналогов гранитов рапакиви. При кристаллизации большого объема магмы примитивных гранитоидов анортозит-рапакиви-гранитных комплексов это сульфидное вещество может быть вовлечено в процессы автометасоматоза, мобилизировано и транспортировано посредством отделяющихся от кристаллизующейся магмы флюидов. Тем самым в данном исследовании показана возможность характеристики потенциально рудных расплавов, содержащихся в силикатной магме на ранних этапах становления гранитоидов. Для исследования из породы выделялся циркон, содержащий расплавные сульфидные включения, его зерна прогревались для гомогенизации при внешнем давлении в инертной атмосфере, после чего происходила быстрая изобарическая закалка. Продукты эксперимента изучались локальными методами рентгенофазового микроанализа и лазерной абляции.

Ключевые слова: рапакиви, гранит-порфиры, сульфидный расплав, сульфидные расплавные включения, кварцевые порфиры, циркон, граниты А-типа, Балтийский щит, Салминский батолит.

Введение. Крупные анортозит-рапакиви-гранитоидные (АРГ) комплексы пород представляют собой устойчивые магматические ассоциации, для которых предполагается комплексное образование за счет мантийных и коровых магм. Их формирование приходится в основном на протерозой (1,8–1,0 Ga) [1], для которого они являются одним из типоморфных признаков. В АРГ комплексы входит широкий перечень пород: пироксениты, нориты, габбро, анортозиты, сиениты, монцониты, кварцевые диориты, граниты, вплоть до развития редкометалльных топазсодержащих «Li-F» гранитов, но визитной карточкой АРГ комплексов являются граниты рапакиви – породы с обилием кристаллов калишпата округлой формы (овоиды), часто покрытых плагиоклазовой каймой [11]. В АРГ комплексах отмечаются явления смешения кислых и основных магм, приводящие к формированию гибридных пород [3, 5], а также следы минглинга – внедрения более горячего расплава основного состава в гранитный [4, 8]. Механизмы образования и генетические взаимоотношения пород этих комплексов не до конца ясны.

В крупных интрузивных образованиях утрачивается значительная доля первичной информации об условиях кристаллизации родоначальных расплавов за счет субсолидусного переуравновешивания составов минералов и процессов автометасоматоза. Однако она сохраняется в быстрозакаленных телах небольшой мощности – дайках и штоках – в виде включений в минералах. Подобные дайковые тела – природный эксперимент по экстракции магмы примитивных гранитоидов, ассоциирующих с АРГ комплексами из магматической камеры. Именно такая геологическая ситуация в пределах Салминского батолита нашла освещение в данной работе. Основное внимание в ней уделено исследованиям сульфидных расплавных включений в цирконе, одной из наиболее ранних ликвидусных фаз, являющейся хорошим контейнером для минералообразующих сред, захваченных при его образовании.

Салминский батолит расположен в Карелии, на стыке Свекофеннского орогена и Карельского кратона, на северо-восточном берегу Ладожского озера, в пределах Раахе-Ладожской зоны. С Салминским батолитом известны многочисленные уже отработанные и стоящие на балансе месторождения Sn и потенциально In объекты [6], связанные со скарнами с Fe-Sn-Cu-Zn-редкометалльным оруденением.

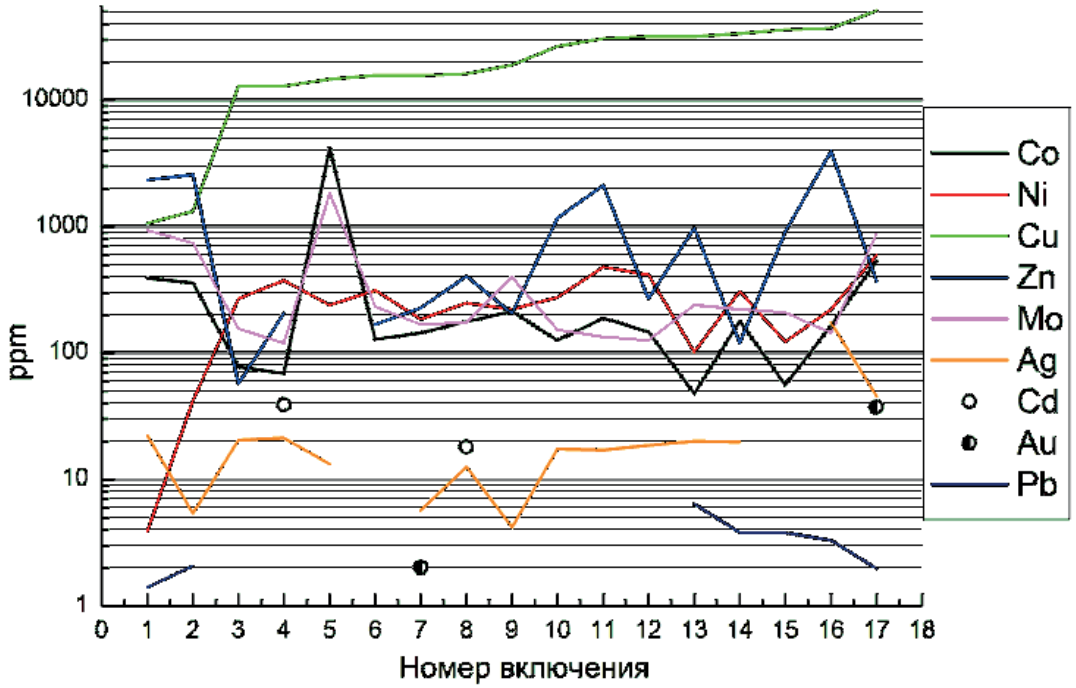
Методика. Цирконы из породы выделялись путем ее растворения во фтористоводородной кислоте. Для избежания заражения цирконами из ксенолитов других пород образцы пилились алмазной дисковой пилой на пластины толщиной не более 5 мм, после чего обнаруженные ксенолиты удалялись. Зерна циркона с оптически различимыми сульфидными включениями подвергались прогреву до 1000 °С при внешнем давлении в 150 МПа на установке «газовая бомба» УВГД10000 (ИЭМ РАН) в атмосфере аргона в течение 6 ч с последующей закалкой для их гомогенизации и определения исходного химического состава, существовавшего в момент захвата. Закалка производилась в изобарических условиях путем сброса нагреваемого образца в холодную область. Давление в эксперименте было выбрано на основе литературных данных по физическим параметрам формирования пород батолита на уровне современного эрозионного среза 100–200 МПа [2, 7]. Гретые кристаллы циркона монтировались в эпоксидной смоле, сполировывались до интересующих объектов для последующего их изучения при помощи методов СЭМ (ГЕОХИ РАН и ИГ Кар НЦ РАН) и LA-ICP-MS (ИГЕМ РАН). Ранее негретые включения и геохимия цирконов были изучены при помощи СЭМ (ГЕОХИ РАН и ИГ КарНЦ РАН) и SIMS (ЯФ ФТИАН РАН), их внутренняя зональность – при помощи катодолюминесценции на СЭМ MIRA3 (ГЕОХИ РАН).

Результаты и обсуждение. Полученные данные по микроэлементному составу 17 расплавных сульфидных включений в цирконах позволяют заключить, что эти сульфиды представляют собой закристаллизованный расплав главным образом пирротин-халькопиритового состава, в котором в подчиненном количестве присутствуют Co, Ni, Zn, Mo, Ag, Cd, Au, Pb. Результаты показаны на рисунке.

Можно выделить несколько групп элементов по уровням их содержаний:

1-я группа. Представлена только Cu, концентрация которой достигает 5 мас. %. Корреляции ее содержания с содержаниями других халькофильных элементов не обнаружены.

2-я группа. В эту группу входят Co, Ni, и Mo, средние содержания которых составляют первые сотни ppm; Ni в сравнении с содержаниями других элементов распределен чрезвычайно равномерно.



Микроэлементный состав расплавных сульфидных включений из циркона, полученный с помощью LA-ICP-MS и рентгеноспектрального микроанализа (Cu). Единичные анализы показаны точками, остальные соединены линиями

3-я группа. В эту группу входит Zn, содержания которого образуют два интервала: порядка 1000 ppm (семь анализов) и порядка первых сотен ppm (девять анализов).

4-я группа. В эту группу входят Ag, Cd, Au, Pb. Эти элементы характеризуются малыми содержаниями, часто ниже предела обнаружения. Минимальные пределы обнаружения для измеренных значений: 1,15; 11,05; 0,03; 0,3 ppm соответственно. Ag имеет наиболее стабильное распределение на уровне первых десятков ppm, и лишь только в одном включении его содержание составило 174 ppm. Вслед за Ag по стабильности содержания следует Pb, но его концентрации ни в одном анализе не превысили 10 ppm. Cd и Au в количествах выше предела обнаружения встречаются только в единичных включениях, и их содержание не превышает первых десятков ppm.

Все полученные составы гомогенизированных сульфидных включений ложатся в область твердого раствора пирротина на 800 °C [10] с незначительным захватом области Pyh ss + liq. Однако надо иметь в виду, что анализировались только крупные расплавные включения, в то время как наибольшее их количество имеет размеры до 10 мкм. В более мелких расплавных включениях содержание Cu может сильно отличаться. Например, в одном зерне циркона, в различных негретых раскристаллизованных расплавных сульфидных включениях встречаются отношения в плоскости полировки площади пирротиновой части к халькопиритовой, равные 1,6 и 3,5. При допущении, что отношение пирротин/халькопирит в расплавном включении также равно 1,6, содержание Cu в мас. % может достигать 13. Вероятно, источником расплавных сульфидных включений могла быть магма основного состава. Обогащение ее Zn может быть связано с контаминацией сфалеритсодержащей минерализации. Однако было обнаружено округлое включение в цирконе, в котором сфалерит являлся основной фазой. В этом включении были обнаружены халькопиритовые ламели распада, не выходящие за общие границы включения, что может быть интерпретировано как захват в жидком состоянии. Изучение состава этого негомогенизированного включения показало также наличие таких элементов, как Cd, Hg, Se, In, As. Однако изучение анатектического плавления в сульфидной системе со сфалеритом показало, что при подъеме температуры до 1000 °C, в расплав переходит всего 1,8 мас. % Zn [9]. Таким образом, сфалерит должен оставаться в рестите. Вероятно, микроэлементы, обнаруженные при исследовании состава этого раскристаллизованного включения, понижали температуру его плавления. Так как такие включения чрезвычайно редки, то к на-

стоящему моменту его количественный микроэлементный состав неизвестен, как и возможный механизм его образования.

Выводы. В данной работе впервые охарактеризован состав сульфидного вещества, принимавшего участие в образовании гранит-порфиров – примитивных (в эволюционном смысле) гранитоидов, геохимических аналогов гранитов рапакиви. Источником сульфидного вещества, вероятно, послужил расплав основного состава. Обогащение сульфидного расплава Zn, вероятно, связано с контаминацией сфалерита или смешением с сульфидной жидкостью, по составу близкой к сфалериту.

Список литературы:

1. Ларин А. М. Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. – СПб. : Наука, 2011. – 410 с.
2. Руб М. Г., Хетчиков Л. Н., Котельникова З. А., Руб А. К. Включения минералообразующих сред в минералах докембрийских оловоносных гранитов Северного Приладожья // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. – 1986. – № 1. – С. 30–36.
3. Andersson U. Petrogenesis of some Proterozoic granitoid suites and associated basic rocks in Sweden (geochemistry and isotope geology). Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Mineralogy, Petrology and Tectonics. – SGU, Uppsala, Sweeden, 1997. – 216 p.
4. Boyd W. W., Rämö O. T. Mixing and mingling in the late stages of the evolution and emplacement of the Wiborg rapakivi batholith SE Finland // Proceedings of the 7th International Symposium on Rapakivi granites and related rocks. – Helsinki, Finland, 1996. – P.10.
5. Eklund O., Frojdo S., Lindberg B. Magma mixing, the petrogenetic link between anorthositic suites and rapakivi granites, Aland, SW Finland. – Mineralogy and Petrology. – 1994. – V. 50. – P. 3–19.
6. Ivashchenko V. Geology, geochemistry and mineralogy of indium resources at Pitkäranta Mining District, Ladoga Karelia, Russia // Journal of Geochemical Exploration. – 2022. – V. 240. – 107046. – DOI:10.1016/j.gexplo.2022.107046.
7. Poutiainen M., Scherbakova T. F. Fluid and melt inclusion evidence for the origin of idiomorphic quartz crystals in topaz-bearing granite from the Salmi batholith, Karelia, Russia // Lithos. – 1998. – V. 44. – P. 141–151. – DOI:10.1016/S0024-4937(98)00052-8.
8. Salonsaari P. T. Hybridization in the subvolcanic Jaala-Iitti complex and its petrogenetic relation to rapakivi granites and associated mafic rocks of southern Finland // Bulletin of the Geological Society of Finland. – 1995. – V. 67. – P. 104.
9. Stevens G., Pinz S., Rozendaal A. Partial melting of the assemblage sphalerite + galena + pyrrhotite + chalcopyrite + sulfur: implications for high-grade metamorphosed massive sulfide deposits // Economic Geology. – 2005. – V. 100. – P. 781–786. – DOI:10.2113/gsecongeo.100.4.781.
10. Tsujimura T., Kitakaze A. New phase relations in the Cu-Fe-S system at 800°C; constraint of fractional crystallization of a sulfide liquid // Neues Jahrbuch für Mineralogie – Monatshefte Jg. – 2004. – V. 10. – P. 433–444. – DOI: 10.1127/0028-3649/2004/2004-0433.
11. Vorma A. On the petrochemistry of rapakivi granites with special reference to the Laitila massif, southwestern Finland // Geological Survey of Finland, Bulletin. – 1976. – V. 285. – P. 98.

Конышев В. О.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМАТИКИ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ СОБСТВЕННО ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ТРАДИЦИОННЫХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ ДЛЯ РФ

Рекомендованная для обязательного применения в РФ систематика содержит 15 геолого-промышленных типов (ГПТ). Из них 11 второстепенных не относятся к таковым по 1 % порогу значимости в объеме российской добычи золота, а поэтому рассматриваются в качестве минеральных разновидностей руд (МРР) зональных месторождений. К главным отнесены золотой,

серебряно-золотой, золото-сульфидный (сульфидно-золотой), золото-кварцевый (кварцево-золотой*) с унаследованными и упорядоченными (*) для единообразия названиями. При укрупнении главных ГПТ к их месторождениям причислены и объекты второстепенных МРР рудных узлов. Для ГПТ нетрадиционных в РФ месторождений предложены формулировки названий, отражающие обобщенный вещественный состав руд, залегающих в специфичных рудоносных формациях.*

Ключевые слова: минеральные разновидности руд зональных месторождений; геолого-промышленные типы рудно-магматических систем рудных узлов; собственно золоторудные месторождения, традиционные и нетрадиционные для РФ.

Анализ [1] показал, что основной ежегодный прирост запасов золота осуществляется преимущественно по мелким – до 5 т (33,5 %) и средним – до 50 т (52,9 %) месторождениям, часто представляющим собой лишь отдельные блоки или участки [2] крупных (50–250 т), суперкрупных (250–1000 т) и гигантских или уникальных (свыше 1000 т) объектов.

На глубинах и флангах эксплуатируемых объектов прирост запасов обычно реализуется длительное время, за которое ранее утвержденные запасы золота нередко удваиваются или возрастают в несколько раз. При этом скопления золоторудных месторождений, созданные рудно-магматическими системами (РМС) рудных узлов в металлогенических зонах горных систем, предстают с широким разнообразием МРР. Последние нередко принимаются исследователями за новые и нетрадиционные ГПТ без учета зональной дифференциации флюидов РМС в процессе их ликвации и продвижения в рудоносных структурах рудных узлов до полного завершения кристаллизации минеральных парагенезисов руд.

Охарактеризованная в качестве примера [2] минеральная зональность, универсальная для ряда отработанных на большие глубины золоторудных месторождений Ольховско-Чибижекского рудного узла Восточных Саян, представлена широким разнообразием МРР, закономерно сменяющих друг друга по восстанию рудных тел. Вся их совокупность принадлежит только одному золотому ГПТ, созданному РМС Шиндинского гранитоидного плутона исследованного рудного узла. Типовые аналоги этого ГПТ проявлены и в смежных рудных узлах вокруг менее крупных интрузивов ольховского комплекса и его аналогов.

Аналоги каждого ГПТ устанавливаются по сходству следующих характеристик: химический и минеральный состав и технологические свойства руд; геолого-структурные условия локализации рудных тел и месторождений; связь с рудоносными геологическими формациями РМС и вмещающими породами их рамы; геотектоническая позиция рудных узлов в рудных районах, металлогенических зонах и провинциях; экономическая значимость в мировой добыче золота в качестве реального поставщика данного вида сырья (более 1 % для ГПТ по критерию В. М. Крейтера [6]).

Рекомендованная Металлогеническим кодексом России (МКР) [7] для обязательного использования и применяемая в РФ систематика ГПТ собственно золоторудных месторождений нуждается в совершенствовании. Она содержит 15 ГПТ, из которых 11 второстепенных не принадлежат к таковым по 1 % порогу значимости в российской добыче золота, а относятся к следующим МРР: полиметаллическо-золотой; золото-сульфидно-кварцевой; золото-серебряной; золото-серебро-баритовой; золото-колчеданной первичных и окисленных руд; золото-сурьмяной; медно-золоторудной; золото-скарновой; золотосодержащих бурых железняков; золотоносных конгломератов.

В авторской версии систематики собственно золоторудных месторождений [2] оставлены лишь четыре главных ГПТ с унаследованными от МКР названиями, упорядоченными (*) для единообразия, а именно: золотой; серебряно-золотой; золото-сульфидный (сульфидно-золотой*); золото-кварцевый (кварцево-золотой*). Принципиально важно считать, что РМС каждого рудного узла или его типового аналога порождает только один из главных ГПТ. Это ограничивает рост их неоправданно бесконечного множества за счет фациальных разновидностей зональных руд.

При укрупнении главных ГПТ к числу их месторождений авторами причислены и объекты вышеперечисленных 10 из 11 МРР в качестве зональных фаций руд, а 11-я отнесена к нетради-

ционному для РФ ГПТ золотоносных конгломератов, обособленному из золото-кварцевого ГПТ по характерной рудоносной формации.

Золотой ГПТ к 01.01.2018 г. включал 269 месторождений с балансовыми запасами золота 7 769 447 кг и забалансовыми 1 708 975 кг [2]. Добыча за 2017 г. составляла 157 917 кг золота или 43,2 % всей российской, и существенно не изменилась за последние четыре года. К золотому ГПТ всегда относились месторождения, в основном представленные жилами, штокверками и минерализованными зонами золото-сульфидно-кварцевых руд, залегающих в дайках и массивах березитизированных гранитоидов, лиственитизированных габброидов и разнообразных метасоматитах по андезит-базальтовым вулканогенным и флишевым толщам в различной степени метаморфизованным. Их руды со свободным самородным золотом легко обогащались гравитацией и флотацией.

С последнего десятилетия XX века Государственный баланс запасов (ГБЗ) [3] причисляет к золотому ГПТ и месторождения прожилково-вкрапленных золото-кварц-сульфидных руд в черносланцевых и зеленосланцевых толщах, которые, благодаря успешному внедрению в промышленных масштабах бактериального окисления упорных руд и сульфидных концентратов перед цианированием, приобрели статус легкообогатимых.

Роднит те и другие минеральные и технологические разновидности руд в золотом ГПТ то, что из них извлекают только золото и попутно второстепенное серебро. Селективное извлечение комплекса других полезных и вредных примесей, накапливающихся в отходах производства (мышьяк, ртуть, сурьма, редкие элементы), оказывается экономически нецелесообразным.

Серебряно-золотой ГПТ к 01.01.2018 г. включал 47 месторождений, к которым авторами [2] при укрупнении были добавлены схожие по составу три объекта золото-серебряной и один объект золото-серебро-баритовой МРР. Все они являются минеральными разновидностями золото-серебро-адуляр-родонит-халцедон-алунит-барит-кварцевых руд с переменными количествами жильных минералов, самородных благородных металлов, их сульфосолей, теллуридов и селенидов при обычно убогом (до 3 %) содержании сульфидов. Всего в составе этого ГПТ рассмотрен 51 учтенный ГБЗ объект, где существенная роль наряду с золотом принадлежит серебру.

При укрупнении этого ГПТ число месторождений изменилось от 47 до 51. Балансовые запасы категории $АВС_1С_2$ возросли на 63 330 кг от 957 726 до 1 021 056 кг. Забалансовые запасы увеличились на 35 472 кг от 170 146 до 205 618 кг, а добыча золота за 2017 г. не изменилась (52 120 кг).

Месторождения представлены жилами, штокверками, залежами брекчиевидных руд и минерализованными зонами в рудных узлах, сложенных субвулканическими гранитоидными массивами в вулканогенно-осадочных толщах андезит-дацит-риолитового состава окраинно-континентальных и внутриконтинентальных вулканогенных поясов.

Золото-сульфидный (сульфидно-золотой)* ГПТ к 01.01.2018 г. включал 37 месторождений, к которым авторами [2] при укрупнении были добавлены схожие по составу богатые сульфидами второстепенные объекты МРР, а именно: четыре полиметаллическо-золотых; четыре первичных и четыре окисленных золото-колчеданных; одно золото-сурьмяное; одно медно-золоторудное; два золото-скарновых; одно золотоносных бурых железняков с ураном.

В этом укрупненном ГПТ число месторождений изменилось от 37 до 54, балансовые запасы категории $АВС_1С_2$ возросли на 145 151 кг от 496 545 до 641 696 кг, забалансовые запасы увеличились на 22 902 кг от 226 248 до 249 150 кг, а добыча золота за 2017 г. увеличилась на 3 357 кг от 16 847 до 20 204 кг.

Переработка руд и концентратов сульфидно-золотого* ГПТ осуществляется по технологическим схемам, предусматривающим извлечение наряду с главным золотом и второстепенным серебром некоторых количеств мышьяка, сурьмы, ртути, серы, меди, полиметаллов, редких металлов, иногда урана, редкоземельных и рассеянных элементов, содержащихся в сульфидах и кварце. Их содержания и суммарные добываемые количества, при резком преобладании золота, не позволяют рассматривать такие сульфидно-золотые руды как ярко выраженные комплексные, так как роль попутных измеряется лишь первыми процентами.

Золото-кварцевый (кварцево-золотой) ГПТ* к 01.01.2018 г. включал 29 месторождений, к которым авторами [2] при укрупнении были добавлены схожие по составу четыре

золото-сульфидно-кварцевых второстепенных объектов (МРР) с преобладанием в рудах кварца над сульфидами. Из первоначального комплекта в 29 месторождений кварцево-золотого* ГПТ авторами причислено одно месторождение Хужирское к прогнозируемому в РФ нетрадиционному ГПТ золотоносных конгломератов. Возникшие количественные изменения за счет выведения из списка Хужирского месторождения отражены ниже по тексту в круглых скобках.

При подобном укрупнении кварцево-золотого* ГПТ число месторождений изменилось от 29 (28) до 32, балансовые запасы категории $АВС_1С_2$ возросли от 347 488 (346 989) до 353 705 кг, забалансовые запасы увеличились от 99 756 до 99 792 кг, а добыча золота за 2017 г. не изменилась, достигнув 11 730 кг. Роль попутных (мышьяк, сурьма, ртуть, сера, медь, полиметаллы, редкие металлы, уран, редкоземельные и рассеянные элементы) измеряется первыми процентами.

В предложенной версии систематики собственно золоторудных месторождений [2] кроме четырех главных ГПТ выделена группа из четырех нетрадиционных для РФ ГПТ, играющих существенную долю в мировой добыче золота ряда зарубежных стран и прогнозируемых в России. В нее вошли месторождения с сульфидно-кварцево-золотым* составом руд в специфичных рудоносных формациях, а именно:

- сульфидно-кварцево-золотой* с платиноидами и ураном в кварцитовидных конгломератах архея (тип витватерсранд), реже протерозоя и фанерозоя;
- сульфидно-кварцево-золотой в амфиболитах коматиит-базальтовой формации архея (тип калгурли);
- железо-кварцево-золотой в джеспилит-базальтовой формации архея (тип гейта), реже протерозоя и фанерозоя;
- сульфидно-золотой с ртутью, мышьяком, вольфрамом в джаспероидах карбонатных толщ (тип карлин).

В настоящей статье к ним добавлен пятый нетрадиционный ГПТ, значительные прогнозные ресурсы которого высоких категорий оценены в ряде золотоносных районов Алтае-Саянской провинции [4] за счет совершенствования методики опробования [5] объектов с крупным золотом, а именно:

- сульфидно-кварцево-золотой с бонанцево-гнездовым золотом в хлорит-анкеритовых метасоматитах по туфопесчаникам флишевых толщ, силлам и дайкам монцонитов (тип Федоровское 1).

Список литературы:

1. Алексеев Я. В., Конкина О. М., Пивоварова Т. А. Количественные аспекты развития МСБ золота РФ // Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2019. – С. 64.
2. Алексеев Я. В., Конышев В. О., Шаповалов В. С. О промышленных типах собственно золоторудных месторождений // Золото и технологии. – 2019. – № 3 (35). – С. 62–72.
3. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2018 года. Выпуск 29. Золото. Т. 1. Сводные данные по РФ и федеральным округам. – М., 2018. – 222 с.
4. Конышев В. О. Информационно-методические аспекты прогноза крупнообъемных месторождений с бонанцами золота в золотороссыпных районах Алтае-Саянской провинции // Геоинформатика. – 2016. – № 3. – С. 17–28.
5. Конышев В. О. О методике определения близких к истинным содержаний золота в рудных телах // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 44–58.
6. Крейтер В. М. Промышленные типы месторождений / Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. – М. : Недра, 1968. – С. 9–27.
7. Металлогенический кодекс России. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.

Косбергенов К. М.
ИГГ, г. Ташкент, Узбекистан

МАЛЫЕ ИНТРУЗИИ И ДАЙКИ ГОР КАРАТАУ (ЮЖНЫЙ НУРАТАУ)

Рассматриваются малые интрузии и дайки гор Каратау. Представлены фактические материалы и петрографические данные о породах малых интрузий, которые состоят из кварцевых субщелочных диоритов Карамечетского штока, гранит-порфиров Сармичайского гантелеобразного тела и разнообразных даек.

Ключевые слова: горы Каратау, малые интрузии, кварцевые субщелочные диориты, гранит-порфиры, дайки, диабазы, диоритовые порфириты, кампто-спессартиты, спессартиты, керсантиты, риолит-порфиры, гранит-порфиры.

В изучение малых интрузий и даек Нуратинского региона внесли существенный вклад Х. М. Абдуллаев (1957), И. Х. Хамрабаев (1958, 1965, 1990), Д. М. Огарёв (1970), И. В. Мушкин (1979), З. А. Юдалевич (1975), Р. Ахунджанов (1978, 1986), А. М. Мусаев (1984), В. А. Клипенштейн (1979), А. В. Головко (2005), Ф. К. Диваев (1996), Ишбаев (2007, 2022), Шукуров (2019) и др. В пределах золоторудных и редкометалльных месторождений Западного Узбекистана, в том числе Нуратинского региона, широко развиты дайковые комплексы. Общая систематика последних, их возраст, последовательность образования и отношение к оруденению изучены еще недостаточно, как отмечают в своих работах Х. М. Абдуллаев и И. Х. Хамрабаев, сформулировавшие вопросы, которые следует решить в перспективе [1, 8]. В связи с намеченной проблематикой последователи петрометаллогенической школы начали проводить планомерные исследования дайковых образований (Р. Ахунджанов, Х. Д. Ишбаев, У. Д. Мамарозиков, Ф. К. Диваев, М. С. Карабаев, Ф. Б. Каримова, А. Х. Шукуров, Н. Р. Далимов, А. А. Курбанов и др.).

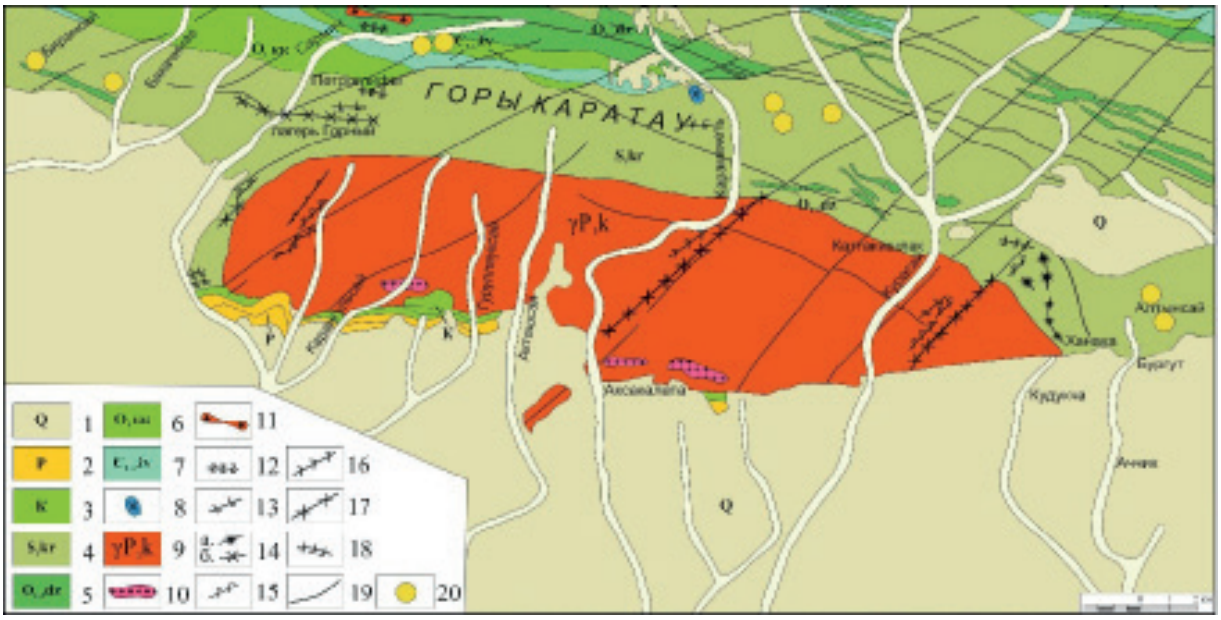
Каратауские горы, протяженностью около 75 км при ширине 6–7 км, образующие южную ветвь хребта Южный Нуратау, расположены в западной части Южного Тянь-Шаня и входят в состав Зарафшано-Туркестанской структурно-формационной зоны. В их геологическом строении (рисунок) принимают участие осадочно-метаморфические отложения кембрия (живачисайская свита), ордовика (джалатарская и каракушская свиты), силура (караташская свита) и магматические образования (до- и послегранитоидные дайки и гранитоиды Каратауского интрузива).

Хотелось бы дать определение: что следует понимать под терминами «малые интрузии» и «дайки». Термин «малые интрузии» впервые был введен в геологическую литературу в 1929 г. К. Хьюлиным для обозначения даек основных и кислых пород, развитых в рудных полях США. Позднее подобные тела охарактеризованы в работах В. Линдгрена, Д. Сперра, А. Баддингтона, В. Эммонса (1926, 1937), Ю. А. Билибина (1947), М. Б. Бородаевской (1955), Х. М. Абдуллаева (1957) Ф. К. Шипулина (1965), И. Х. Хамрабаева с соавторами (1988) и др. Трактовки различались: гипомагматические дайки плутонического класса, самостоятельные малые интрузии, дайки глубинного происхождения, дайки регионального распространения и т.д. По И. Х. Хамрабаеву [9], «Под малыми интрузиями понимаются генетически самостоятельные от крупных плутонов и вулканических проявлений мелкие малоглубинные тела преобладающего среднего и кислого состава, но всегда повышенной щелочности, возникающие обычно на поздних этапах тектономагматического цикла и при активизации, сопровождаемые характерной (медно-порфировой, редкометалльной) металлогенией».

Термин «дайки» широко употребляется в геологической литературе. В данной работе мы использовали систематику Х. М. Абдуллаева: 1) субвулканические, связанные с корнями вулканогенных комплексов; 2) гипабиссальные – дайки, являющиеся жильными дериватами плутонических (интрузивных) комплексов; 3) плутонические – дайки, связанные с подкоровыми магматическими очагами; 4) самостоятельная группа – комплекс малых интрузий [1].

Каратауский золотоносный пояс насыщен пластообразными, силлоподобными телами и дайками следующих пород: 1 – диабазы, диабазовые порфириты; 2 – диоритовые порфириты, кварцевые диоритовые порфириты, микродиориты; 3 – камто-спессартиты, спессартиты, 4 – риолит-порфиры; 5 – гранит-порфиры; 6 – фельзит-порфиры и др. Дайки имеют субширотное простирание, контролируются наиболее ранними системами разломов, молодые дайки (кампто-спес-

сартиты) контролируется поздними северо-восточными разломами. Мы вслед за Д. И. Огарёвым считаем, что эти дайки принадлежат к числу силурийских субвулканических образований.



Геологическая карта гор Каратау (м-б 1 : 100 000) Р. С. Хан с соавторами (2006), с дополнениями автора по дайковым образованиям:
1 – четвертичные отложения (Q); 2 – сугралинская свита (P); 3 – карнабская свита (K_2); 4 – караташская свита (S_1kr); 5 – джалатарская свита ($O_{1-2}dž$); 6 – каракушская свита (O_1kk); 7 – живачисайская свита – ($Є_{2-3}žv$); 8 – кварцевый субщелочной диорит (Карамечетский шток); 9 – биотитовый гранит (главная фаза) Каратауского интрузива; 10 – лейкократовый гранит; 11 – гранит-порфир Сармичского штока; 12–18– дайковые образования: 12 – диабаз, 13 – кварцевый диоритовый порфирит, 14 – кварцевый порфир (а) и гранит-порфир (б), 15 – спессартит, 16 – керсантит, 17 – гранит-порфир, 18 – кампто-спессартит; 19 – разломы; 20 – золоторудные проявления

За пределами Каратауского интрузива, севернее от него, находится Карамечетский шток кварцевых субщелочных диоритов, генезис которого до сих пор не определен. Одни исследователи считают эти диориты ранней фазой Каратауского гранитного интрузива, другие относят их, предположительно, к силурийскому осадочно-метаморфическому золотоносному поясу. Кварцевые субщелочные диориты образуют небольшое (32 × 75 м) штокообразное тело. Породы интенсивно изменены, с характерными псевдошаровыми отдельностями.

Под микроскопом порода среднезернистая с участками микрогранофировой структуры. Состоит из плагиоклаза (50–60 %), роговой обманки (8–10 %), биотита (15–20 %), калиевого полевого шпата и кварца (около 10 %), акцессорных минералов (1,5–2 %).

На правом борту правого составляющего Сармичсая располагается гантелеобразное тело (60 × 950 м) гранит-порфиров среди отложений караташской свиты (S_1kr). Макроскопически гранит-порфиры характеризуются скрытокристаллической, фельзитовидной основной массой, на фоне которой отчетливо выделяются фенокристаллы калишпата, плагиоклаза, кварца и биотита. Вкрапленники составляют от 5 до 30 % общего объема породы. Микроскопически гранит-порфиры обладают гранит-порфировой структурой и имеют микрогранитовую, иногда микрофельзитовую структуру основной массы. Порфировая структура обусловлена вкраплениями плагиоклаза, олигоклаза и микроклина с характерной решетчатой структурой, биотита хлоритизированного (клинохлор, тюрингит) и кварца [2].

Диабазы и диабазовые порфириты широко распространены среди песчано-сланцевых отложений раннесилурийского возраста и приурочены к единому дайковому поясу северо-западного направления. Мощность их варьируется от 1,5 до 30 м, отдельные пластообразные тела до 600–650 × 25 м. Внешне это зеленовато-серые породы с мелкозернистым строением. Под

микроскопом породы характеризуются преимущественно лепидогранобластовой с реликтами офитовой структурой и состоят из новообразованных минералов – альбита, хлорита, кальцита, и рудного, иногда с примесью кварца и биотита [5].

Диоритовые порфириты наиболее широко распространены; они образуют дайки, залегающие среди осадочно-метаморфических пород кембрия–ордовика и гранитоидов перми, имеют преимущественно северо-западное, реже северо-восточное простирание с крутыми углами падения. Мощность даек варьируется от первых метров до 10–20 м. Протяженность достигает первых сотен метров. В нижнем течении Сармичсая (ниже к. Сармич) дайки диоритовых порфиритов образуют небольшой дайковый пояс протяженностью 560 м (шесть даек), север-северо-западного направления среди песчано-сланцевых отложений караташской свиты (S_1kr). Мощность даек от 5,76 до 18 м. На водораздельной части, на уровне среднего течения Коксарой, они также образуют пояс шириной 150–200 м из пяти даек среди биотитовых гранитов Каратауского интрузива (P_1). Внешне это темно-зеленые, серо-зеленые, мелко- и тонкозернистые породы, массивные или рассланцованные. Породы порфировые, состоят из вкрапленников (15–40 %) и основной массы (60–85 %) с микропризматически-зернистой структурой. Главные породообразующие минералы представлены амфиболом, биотитом, плагиоклазом и кварцем. Акцессорные минералы: апатит, сфен, ильменит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, циркон, ортит, ксенотим и монацит.

Лампрофиры представлены в основном известково-щелочными полевошпатовыми разностями типа кампто-спессартитов (переходная, но не щелочная), спессартитов и керсантитов (последние выделены впервые).

Кампто-спессартиты – темно-зеленые породы с тонкозернистой основной массой, на фоне которой отмечаются фенокристаллы роговой обманки. Породы обладают порфировой структурой и призматически зернистой основной массой, состоящей из плагиоклазов (40 %), роговой обманки (25–30 %), пироксена (5–10 %), хлорита (10 %), кальцита (8 %).

Спессартиты. Дайки спессартитов наиболее широко распространены в среднем течении р. Уртасай в северо-западной части Каратауского интрузива, где они образуют небольшой дайковый пояс северо-восточного направления. Мощность даек изменчива, колеблется от 0,4 до 3,2 м. Под микроскопом спессартиты обладают структурой лампрофировой, в сочетании с трахитоидной, с призматически-зернистой основной массой. Порфировые выделения спессартитов (до 20 % породы) состоят из обыкновенной роговой обманки (40–50 % в целом), плагиоклаза (35–55 %), калишпата, кварца (до 1,5–2 %) и единичных листочков биотита [3].

Дайки керсантитов единичны, впервые установлены нами в биотитовых гранитах Каратауского интрузива. Встреченная дайка является крутопадающим телом, северо-восточного (35–40°) простирания, мощностью от 1,5 до 10 м и протяженностью до 500 м [4]. Дайка керсантита представлена серыми, зеленовато-серыми породами с мелкозернистой основной массой и вкрапленниками плагиоклаза и крупных чешуй биотита размерами до 1 см и более. Основная масса породы сложена плагиоклазом, биотитом, карбонатом, кварцем и редко амфиболом. Вкрапленники биотита замещены по периферии хлоритом и эпидотом. Спектр акцессорных минералов представлен апатитом, ильменитом, сфеном, цирконом, пиритом.

Кислые субвулканические дайки представлены гранит-порфирами, риолит-порфирами и другими разностями, которые широко распространены в пределах и за пределами гранитного интрузива.

Дайки риолит-порфиров локализованы в восточной и западной экзоконтактовой части гранитного интрузива. Они образуют извилистые дайки севера-северо-западного простирания мощностью до 12 м. Визуально выделяются по наличию вкрапленников кварца в тонко-скрытокристаллической основной массе [6].

Дайки гранит-порфиров локализуются в левом борту Сармичсая, имеют мощность 4–6 м, местами до 15 м, и прослеживаются до 8 км в широтном направлении с характерными лестничными кварцевыми жилами [7]. Под микроскопом структура порфировидная, неоднородная, в сочетании с микрографической. Вкрапленники составляют около 30–32 % и состоят из плагиоклаза, калиевого полевого шпата, кварца и редко биотита. Из акцессорных минералов встречаются апатит, циркон, рутил и др.

Итак, малые интрузии и дайки гор Каратау весьма разнообразны по возрасту и составу; среди них могут быть выделены, условно, четыре генетические группы: 1) субвулканическая – связанная с корнями вулканогенных комплексов (диабазы, диабазовые порфириты, гранит-порфиры, риолит (кварцевые) порфиры, фельзит-порфиры); 2) гипабиссальная – дайки, являющиеся жильными дериватами плутонических комплексов (гранит-порфиры, лейкократовые граниты, аплиты и пегматиты); 3) плутоническая – дайки, связанные с подкоровыми магматическими очагами (диоритовые порфириты, микродиориты, кампто-спессартиты, спессартиты, керсантиты) и 4) самостоятельная группа – комплекс малых интрузий (кварцевые субщелочные диориты, гранит-порфиры и др.), не имеющих связей с вулканическими или интрузивными комплексами.

Список литературы:

1. Абдуллаев Х. М. Дайки и оруденение. – М. : Госгеолтехиздат, 1957. – 232 с.
2. Косбергенов К. М. Дайка гранит-порфиров Сармичского рудного поля (Южный Нуратау) // Геология и минеральные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 3–6.
3. Косбергенов К. М., Ганиев С. С. Спессартиты Каратауского интрузива (Южное Нуратау) // Геология и минеральные ресурсы. – 2022. – № 2. – С. 18–23.
4. Косбергенов К. М., Ишбаев Х. Д. Дайка керсантита в гранитоидах Каратауского интрузива (Южное Нуратау) // Горный вестник Узбекистана. – 2022. – № 3. – С. 50–53.
5. Косбергенов К. М., Ишбаев Х. Д. Диабазовые дайки Каратауского золотоносного пояса (Южное Нуратау) // Актуальные вопросы геологии, инновационные методы прогнозирования, добычи и технологии обогащения полезных ископаемых. Материалы Международной научно-практической конференции ГУ «ИМР», 2022. – С. 199–202.
6. Косбергенов К. М., Утамуродов Э. А., Ганиев С. С. Дайки кварцевых порфиров Каратауского золотоносного пояса (Южное Нуратау, западный Узбекистан) // Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче. Сборник тезисов докладов III Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ. – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 105–109.
7. Формационный анализ гранитоидов Западного Узбекистана / Под ред. Изоха Э. П. – Новосибирск : Наука, 1975. –518 с.
8. Хамрабаев И. Х. Магматизм и постмагматические процессы в Западном Узбекистане. – Ташкент : Издательство АН УзССР, 1958. – 479 с.
9. Хамрабаев И. Х., Бабаходжаев С. М., Павлов В. А., Айзенштат В. И. Малые интрузии и их таксономия (на примере Средней Азии) // Материалы V Среднеазиатского регионального петрографического совещания «Магматизм и геолкарта-50 Средней Азии». – Душанбе : Дониш, 1988. – С. 57–67.

Костровицкий С. И.[1, 2], **Гаранин К. В.**[3]

[1] Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск; [2] Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск;
[3] АК АЛРОСА

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СОСТАВА КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ ЯКУТИИ

Трубочные тела месторождений характеризуются разной морфологией, могут быть как одноканальные, так и многоканальные; с кратерным воронкообразным расширением в верхних частях трубок, но в основном без него; конусовидные с увеличением вытянутости с глубиной и субцилиндрические, имеющие, как правило, субвертикальные борта. Уровень алмазоносности месторождений постепенно снижается с юга на север Якутской провинции (максимальный в Мирнинском и Накынском полях, расположенных на юге Западной Якутии, средний – в Далдынском и Алакит-Мархинском полях и относительно низкий – в Верхнемунском поле, занимающем самое северное положение по сравнению с другими полями). Месторождения демонстрируют явную зависимость содержания алмазов от химического состава выполняющих пород. Макси-

мальные содержания отмечены в трубках Нюрбинская, Ботуобинская, Майское тело, Интернациональная, Айхал, выполненных кимберлитами высоко-Mg состава. Большинство других месторождений, в том числе, самые крупные (Мир, Юбилейная), сложены Mg-Fe петрохимическим типом кимберлита. Основной объем трубок месторождений выполнен пирокластическими кимберлитами, которые по сравнению с когерентным кимберлитом являются более высокоалмазоносными образованиями. Обсуждаются генетические вопросы, связанные с зависимостью алмазоносности от разного состава месторождений, от структурно-текстурного типа кимберлитов, от морфологии, многофазности выполнения кимберлитовых трубок.

Ключевые слова: месторождения алмазов, кимберлитовая трубка, алмазоносность кимберлитов, петрохимический тип кимберлита, структурно-текстурный тип кимберлита.

Коренные месторождения алмазов Западной Якутии представлены в основном типичными трубочными телами, широко варьирующими по размерам горизонтальных сечений на современном уровне эрозионного среза, по глубине перехода трубочной формы в жилы, дайки. Исключением являются месторождения Айхал и Майское тело, которые уже на поверхности представляли собой дайкообразные тела с трубообразными расширениями, встречающиеся как на поверхности, так и на глубине. На корневых уровнях форма трубочного канала теряет субвертикальную прямолинейность, появляются субгоризонтальные ступени контактов кимберлитов с вмещающими породами, встречаются субгоризонтальные кимберлитовые линзовидные тела.

Характерной морфологической особенностью многих месторождений является их многоканальность, которая проявляется в расщеплении на глубине единого на поверхности канала на 2–3 трубки, разделенные перемычками вмещающих пород. Морфология трубок месторождений обусловлена, в первую очередь, разным эрозионным срезом, который оказался минимальным в Алакит-Мархинском поле, и максимальным – в Верхнемунском поле. Именно в Алакит-Мархинском поле находятся две трубки Юбилейная и Краснопресненская, в которых сохранились их верхние части – кратерные воронки. Косвенными свидетельствами относительно большого эрозионного среза трубок Верхнемунского поля являются доминирование в сложении трубок гипабиссальных разновидностей кимберлита с массивной текстурой, а также относительно высокая сохранность неизмененного оливина. Большинство трубок месторождений относится к многофазным образованиям. В строении таких трубок, как Мир, Удачная-западная, Удачная-восточная, Айхал, участвуют 3–5 структурно-текстурных разновидностей кимберлитов. Кимберлиты разных фаз внедрения образуют, как правило, отдельные тела, особенности контактовых взаимоотношений между которыми позволяют установить последовательность их внедрения [2]. Наличие двух и более подводящих каналов для многофазных трубок говорит о самостоятельности формирования каждой из фаз, об их формировании на уровнях, гораздо более глубоких, чем трубочные. Факт многоканальности дает объяснение механизму формирования линейного куста трубок, рассматриваемого нами как горизонтальную развертку многофазной трубки, несколько тел которой соответствуют отдельным фазам внедрения [1].

Контактовые взаимоотношения кимберлитов разных фаз внедрения разнообразны по морфологии, интенсивности термального, механического и химического воздействия контактирующих фаз. Намечаются два морфологических типа контактов: 1) резкий, секущий и 2) нечеткий, постепенный, с образованием зон гибридизации. Резкие контакты нередко используют сопряжения плоскостей трещин отдельности, развитых в кимберлите ранней фазы внедрения, при этом формируются ступенчатые контакты. Иногда субвертикальный контакт наблюдается в виде задира псевдопластов кимберлита ранней фазы внедрения, сформировавшихся за счет образования субгоризонтальной системы трещин отдельности. Постепенные гибридные типы контактов формируются благодаря агрессивности и необычайно высокой проникающей способности отдельных фаз внедрения. Наблюдения по контактовым взаимоотношениям кимберлитов разных фаз внедрения дают основания для выводов об относительной длительности формирования трубочных тел. Косвенным образом могут служить аргументами при оценке скоростей восхождения кимберлитовых расплавов-флюидов.

Основные сведения об алмазоносности кимберлитовых трубок представлены в таблице. Практически все месторождения представлены трубками, выполненными в основном кимбер-

литовыми брекчиями (пирокластическим кимберлитом по зарубежной терминологии). Порфировые кимберлиты с массивной текстурой (гипабиссальные или когерентные кимберлиты по зарубежной терминологии), во-первых, занимают гораздо меньший объем трубок (почти на порядок), а во-вторых, характеризуются меньшим содержанием алмазов, чем кимберлитовые брекчии [3–4]. Характерно, что кимберлитовые брекчии отличаются от порфировых кимберлитов массивной текстуры и более высоким (в 2–3 раза) содержанием минералов-спутников.

Рассмотрены основные факторы формирования алмазоносных кимберлитов. Предполагается, что высокоалмазоносные месторождения были образованы в результате восхождения расплава, преимущественно состоящего из флюидной компоненты существенно карбонатного состава, отвечающего за становление высоко-Mg типа кимберлита, характеризующегося наиболее высокой мобильностью и способностью дезинтегрировать, захватывать и частично ассимилировать обломочный материал литосферной мантии. Большинство месторождений, выполненных Mg-Fe петрохимическим типом, были сформированы расплавом-флюидом, обладающим менее высокой мобильностью и способностью к дроблению вмещающих пород. Особенностью Fe-Ti кимберлитов северных полей явилось то, что они были образованы в условиях относительно низкой мощности литосферной мантиии, следовательно, соответствующей близости астеносферы, характеризующейся высоко-Fe и высоко-Ti составом. Предполагается, что на уровне астеносферы произошла дифференциация расплава, возможно, во время кристаллизации минералов низко-Cr мегакристной ассоциации на две части – с преимущественно флюидной существенно карбонатного состава и с доминирующей расплавной, содержащей мегакристные минералы оливина, граната и пироильменита. Заметим, что высоко-Mg кимберлиты не содержат мегакристы низко-Cr ассоциации, и, напротив, тяжелая фракция кимберлитов Mg-Fe и Fe-Ti петрохимических типов как в южных алмазоносных, так и северных полях с убогой алмазоносностью обогащена и пикроильменитом, и высоко-Ti гранатом и перовскитом. Тяжелая фракция кимберлитов высоко-Mg типа не содержит перовскит.

Табл. Характеристика алмазоносности месторождений Западной Якутии

Месторождение, трубка	Общий объем запасов (в млн карат)	Содержание, карат / т	Качество алмазов, USD/карат	Качество алмазов, градация
Мир	453,00	4,038	108,7	Высокое
Интернациональная	146,15	8,155	186	Высокое
Имени 23 съезда КПСС	0,94	3,160	186	Высокое
Дачная	0,70	1,780	109	Высокое
Зарница	43,71	0,266	143,9	Высокое
Удачная	1025,99	2,045	80,7	Среднее
Дальняя	9,71	0,540	37,7	Низкое
Иреляхская	1,52	0,360	70	Среднее
Краснопресненская	35,12	0,912	25	Низкое
Юбилейная	297,18	0,775	127	Высокое
Комсомольская	7,36	0,385	217	Уникальное
Айхал	163,50	5,074	39,5	Низкое
Заря	7,11	0,179	200	Высокое
Сытыканская	14,26	0,983	90	Среднее
Заполярная	21,70	0,671	107	Высокое
Деймос	1,58	0,50	107	Высокое
Новинка	10,54	0,692	107	Высокое
Комсомольская-Магнитная	6,61	0,496	107	Высокое
Поисковая	1,90	0,328	107	Высоко
Нюрбинская	145,37	5,227	78,4	Среднее
Ботуобинская	102,24	6,202	92,7	Средний
Майская	15,34	2,555	89,5	Средний

Список литературы:
1. Костровицкий С. И. Геохимические особенности минералов из кимберлитов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 263 с.
2. Костровицкий С. И., Егоров К. Н. Многоактность и механизм заполнения кимберлитовых трубок // Геология и геофизика. – 1983. – № 5. – С. 42–50.
3. Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмазов. – М.: Недра, 1997. – 601 с.
4. Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов Мира. – М. : Недра, 1998. – 555 с.

Криволуцкая Н. А.
ФГБУ «ГЕОХИ РАН», г. Москва

М. Н. ГОДЛЕВСКИЙ – ОСНОВОПОЛОЖНИК ТЕОРИИ МАГМАТИЧЕСКОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ В НОРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-27-00387).

Рассмотрены главные направления исследований магматических месторождений, выполненные М. Н. Годлевским. Главными объектами его изучения на протяжении многих лет являлись месторождения медно-никелевых руд Норильского района, которые служили и служат в качестве эталонных объектов при разработке теории магматического рудообразования в России и за рубежом.

Ключевые слова: магматические месторождения, медно-никелевые руды, генезис, теория, Норильск.

Михаил Николаевич Годлевский – один из крупнейших геологов Советского Союза, признанный лидер в области магматического рудообразования, основы которого были разработаны им на примере Норильского рудного района [1, 2]. Анализ творчества Михаила Николаевича представляет собой непростую задачу, во-первых, в силу известной сложности его жизненного пути (многие его работы остались анонимными), а во-вторых, из-за секретности Норильских месторождений в течение многих лет. В связи с этими обстоятельствами самая крупная работа М. Н. Годлевского – его докторская диссертация «Траппы и сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района» (1959) – так и осталась неопубликованной. Между тем она представляет собой первый фундаментальный труд по геологии района, на основании которого развились многие направления исследований норильских руд. Главной особенностью творчества Михаила Николаевича является чрезвычайно широкий охват проблемы формирования месторождений. Основные достижения М. Н. Годлевского в изучении геологии Норильского района кратко можно свести к следующим положениям.

1. Обоснование особой позиции Норильского района в структуре Сибирской платформы. Впервые эта территория была выделена им как особая петрографическая провинция, характеризующаяся многообразием пород, в частности, присутствием высокомагнезиальных эффузивных и интрузивных разновидностей (пикритовых базальтов и пикритовых габбро-долеритов). На основании современных данных можно подчеркнуть, что это и особая геохимическая провинция [7], поскольку выделенные ранее высокомагнезиальные породы имеют совершенно разные геохимические характеристики и генезис.

2. Разработка фациального подхода при исследовании магматических пород района и составлении 1:100 000 геологической карты района. Продолжение этого направления осуществляется В. А. Радько, опубликовавшего в 2016 г. книгу «Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района» [4].

3. Выявление циклического характера проявленного в районе магматизма, в котором принимали участие туфы, лавы и интрузивы [2]. Михаил Николаевич пытался отстоять свой приоритет в этом направлении геологического изучения района, подчеркивая, что в 1956 г. эта цикличность уже была им продемонстрирована, тогда как на картах Н. Н. Урванцева эффузивы еще не были расчленены на свиты.

4. Установление начала магматизма в конце пермского периода, основанное на изучении осадочных пород тунгусской серии, в которых появляются пепловые отложения, а затем лавы. На геологических картах района это нашло отражение еще в конце 1950-х годов и в более поздних изданиях, в том числе на картах, составленных М. Н. Годлевским. Современные исследователи нередко игнорируют эти работы и связывают время формирования траппов только с изучением цирконов, начатое Campbell [6], продемонстрировавшего близость их образования к P–T границе.

5. Определение позиции интрузивных образований в общей схеме развития магматизма на Сибирской платформе [2]. М. Н. Годлевским было выделено несколько разных типов интрузивов – прообразы современных интрузивных комплексов. Михаил Николаевич отмечал своеобразие состава рудоносных интрузивов – их повышенную магнезиальность, пониженные содержания титана и повышенные – хрома в породах. Все это существенно отличает их от типичных траппов и сближает с производными гипербазитовых магм, характеризующихся более глубинными условиями образования, чем обычные базальты. Эти отличия неоднократно подчеркивались им в ряде работ [1, 2].

6. Выполнение детального описания морфологии интрузива Норильск 1 и рассмотрение его внутреннего строения, а также характеристика условий формирования. Наибольший интерес в работе представляют описания пикритовых габбро-долеритов и своеобразных крупнокристаллических пород – лейкогаббро. Изучение последних легло в основу кандидатской диссертации А. П. Лихачева и его основополагающей статьи «Роль лейкократового габбро в формировании норильских дифференцированных интрузий». Она отражает идеи Михаила Николаевича о докамерной кристаллизации части магмы (абиссальная кристаллизация).

7. Получение первых данных о составах породообразующих минералов с использованием столика Федорова. Михаилом Николаевичем прекрасно сделано петрографическое описание пород. Несмотря на «домикрозондовую эпоху» проведения исследований, получены очень точные составы оливинов, пироксенов и плагиоклазов, подтвержденные позже современными аналитическими данными.

8. Выполнение первых комплексных геохимических исследований пород. Породообразующие оксиды были определены с помощью силикатного анализа, а примесные элементы (54 элемента) – с помощью спектрального анализа. Конечно, сам Михаил Николаевич не выполнял аналитические работы, но отбор образцов, а главное, обработка результатов анализов были кропотливо осуществлены им. С помощью метода Заварицкого он сумел подразделить интрузивы на разные типы, отличить рудоносные от безрудных.

9. Создание базы данных по жильным полям месторождения Норильск 1. Приведенные Михаилом Николаевичем данные совершенно бесценны. Он охарактеризовал каждое жильное поле в пределах Норильска 1, им были созданы карты распределения полезных компонентов в них, а также в отдельных рудных телах, которые уже невозможно исследовать в силу их отработанности. Михаилом Николаевичем изучены вертикальные жилы, которые существовали в самой прогнутой части интрузива Норильск 1, а также проводилось изучение трещинной тектоники, на основании которого были сделаны выводы о формировании сульфидных жильных тел в тангенциальных по отношению к удлинению массива трещинах.

10. Выполнение систематического описания руд: текстур и структур рудных минералов, их ассоциаций, последовательности выделения, химического состава. Михаил Николаевич отмечал, что каждый минерал имеет несколько генераций (халькопирит, пирротин, пентландит); причем указывал, что пентландит встречается не только в структурах распада, но и кристаллизуется из расплава. Им были описаны многочисленные разновидности руд – от обычных халькопирит-пирротиновых до халькопирит-кубанитовых и халькопирт-борнитовых. Работы по изучению минерального состава руд получили наибольшее развитие в последующие годы. Это обусловлено двумя причинами: появлением локального микрорентгеноспектрального анализа и открытием уникальных по составу месторождений Талнахского рудного узла.

11. Определение возможных источников серы в месторождениях Норильского района. Михаилом Николаевичем впервые была высказана идея о заимствовании серы из вмещающих пород при образовании руд. Он был инициатором изучения ее изотопного состава в сульфидах [3], которым потом на протяжении многих лет занималась Л. Н. Гриненко.

12. Изучение метаморфических и метасоматических ореолов, развитых вокруг массивов. Это направление получило интенсивное развитие в работах учеников М. Н. Годлевского – В. В. Юдиной, Д. М. Туровцева [5] и др.

Несмотря на огромный объем данных, полученных М. Н. Годлевским, многие вопросы образования руд остаются нерешенными. Дальнейшая разработка генетической модели норильских месторождений чрезвычайно важна для успешных поисков новых интрузивов с богатыми сульфидными рудами не только в Сибири, но и в других трапповых провинциях Земли. Ее создание – ближайшая задача современных исследователей.

Список литературы:

1. Годлевский М. Н. Магматические месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. – М. : Недра, 1968. – С. 7–83.
2. Годлевский М. Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. – М. : Госгеолтехиздат, 1959. – 68 с.
3. Годлевский М. Н., Гриненко Л. Н. Некоторые данные об изотопном составе серы сульфидов норильских месторождений // Советская геология. – 1963. – № 1. – С. 27–39.
4. Радько В. А. Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. – СПб., ВСЕГЕИ, 2016. – 226 с.
5. Туровцев Д. М. Контактовый метаморфизм норильских интрузий. – М. : Научный мир. – 2002. – 318 с.
6. Campbell I. H., Czamanske G. K., Fedorenko V. A., Hill R. I., Stepanov V. K. Synchronism of the Siberian Traps and the Permian-Triassic boundary // Science. – 1992. – V. 258. – P. 1760–1763.
7. Krivolutskaya N., Latyshev A., Dolgal A., Gongalsky B., Makareva E., Makarev A., Svirskaya N., Bychkova Ya., Yakushev A., Asavin A. Unique PGE–Cu–Ni Noril'sk Deposits, Siberian Trap Province: Magmatic and Tectonic Factors in Their Origin // Minerals. – 2019. – V. 9 (1). – 66.

Кряжев С. Г., Двуреченская С. С., Тышкевич А. В., Берковский Е. М., Старостин И. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИГЕННО-ПОЛИХРОННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВЕРХНЕТАТАРСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПЛОЩАДИ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

По результатам полевых и лабораторных исследований в пределах Верхнетатарской золотоносной площади (Южно-Енисейский рудный район) выделены и охарактеризованы четыре последовательно сформированных минеральных комплекса. (1) – жильный куммингтонит-кварцевый с высокопробным (940–980 ‰) самородным золотом. (2) – прожилково-вкрапленный арсенопирит-пирротиновый с самородным золотом (880–920 ‰) и Te-Bi минерализацией (самородный висмут, хедлейит, мальдонит и неназванный минерал Bi_3Te_2). (3) – редкометалльный, включающий рибекит-флогопитовые метасоматиты с апатит-пирохлоровой минерализацией. (4) – грейзеновый мусковит-кварц-турмалиновый. По флюидным включениям для каждого этапа определены температура, давление и состав минералообразующих растворов. Указаны вероятные источники рудного вещества.

Ключевые слова: Татарский массив, этапы минералообразования, золото, висмут, Bi_3Te_2, флюидные включения, температура, давление, состав флюидов.

Верхнетатарская золотоносная площадь расположена в Южно-Енисейском рудном районе и локализована в западном крыле крупного поднятия, ядром которого служит Татарский гранитоидный массив. В восточном крыле поднятия расположено золоторудное месторождение Герфед, которое рассматривается в качестве ближайшего объекта-аналога. В геологическом строении площади принимают участие породы кремнисто-карбонатно-вулканогенно-терригенной формации нижнего протерозоя, претерпевшие контактовый метаморфизм амфиболитовой

фации: мраморизованные известняки, кварциты, роговообманковые ортоамфиболиты и углеродистые гранат-биотит-кварцевые сланцы.

В результате полевых и минералого-петрографических исследований авторами в пределах Верхнетатарской площади выделены четыре минеральных комплекса, сформированных последовательно в течение соответствующих этапов флюидно-магматической активности. Ниже даны их минералого-геохимические и термобарогеохимические характеристики.

Золотокварцевое оруденение. Основной объем золоторудной минерализации Верхнетататарской площади связан с кварцевыми жилами и прожилками. Как и на месторождении Герфед [1], наиболее мощные и протяженные тела по микроструктурным признакам могут быть отнесены к кварцитам. Околожильные породы, которые также характеризуются промышленной золотоносностью, сложены альбитом (45–55 %) и кварцем (10–25 %) с примесью биотита (около 5 %), альмандина (5–15 %) и куммингтонита – светлого моноклинного магниево-железистого амфибола с формулой $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$, доля которого варьирует от 5 до 20 %. Рудные минералы представлены пирротином-1 и высокопробным самородным золотом (940–980 ‰).

Признаки низкотемпературного кислотного метасоматизма, характерного для постмагматического золотого оруденения, в рудах полностью отсутствуют, все высокотемпературные минералы (гранат, биотит, куммингтонит) не изменены. Данная особенность указывает на метаморфогенную природу золотокварцевого оруденения. Вероятнее всего, рудные тела были окончательно сформированы при контактовом метаморфизме на этапе становления гранитоидов главной фазы Татарского массива. U-Pb возраст последних составляет 890–870 млн лет (Стороженко и др., 2018 г.).

Максимальная температура минералообразования превышала изограду граната и биотита (450–500 °С). В золотоносном кварце присутствуют углекислотно-водные и водно-углекислотные включения (CO_2 / CH_4 = 10–20, V = 52–54 см^3/моль), которые декрепитируют в интервале 300–320 °С вследствие высокого давления в вакуолях. При 450 °С расчетное давление в них достигает ~2,5 кбар, что соответствует глубинам около 10 км от палеоповерхности.

По нашему мнению, приуроченность золотокварцевого оруденения к куммингтонит-содержащим породам и кварцитам обусловлена составом исходного субстрата. Так, например, на золоторудном месторождении Хоумстейк (США), происхождение которого связано с метаморфизмом золотоносных гидротермально-осадочных залежей протерозойского возраста, куммингтонит является характерным минералом руд. Он образовался за счет осадочно-диагенетических магнезиально-железистых карбонатов при достижении породами изограды граната [2]. Пирротин-1, распространенный в метаморфических породах Верхнетатарской площади, содержит серу гидротермально-осадочного происхождения ($\delta^{34}S$ от 0 до 9 ‰). Поэтому можно предполагать, что и в рассматриваемом случае золоторудные тела были сформированы в процессе метаморфизма обогащенных Fe, Mg и Au кремнисто-карбонатных и кремнистых фаций. Признаки конседиментационной природы повышенных концентраций золота отмечались в кварцитах месторождения Герфед [1].

Золотосульфидное оруденение. На метаморфические породы и жильный кварц наложена прожилково-вкрапленная золотосульфидная минерализация, включающая тонкоигольчатый арсенопирит, пирротин в парагенезисе с самородным золотом (пробность 900 ± 20 ‰) и теллуро-висмутовыми минералами. Рентгеноспектральным микроанализом установлены хедлейит (Bi_2Te), мальдонит (Au_2Bi), самородный висмут, а также чрезвычайно редкий минерал (Bi_3Te_2), пока не имеющий названия [4].

При наложении данной минерализации на кварц в нем появляются вторичные включения гетерогенных восстановленных метан-углекислотно-водных флюидов. Доля метана в газовой фазе закономерно возрастает по мере повышения интенсивности геохимических аномалий висмута (CO_2 / CH_4 = 4 × 2, V = 50 см^3/моль), температура захвата включений при этом снижается от 290 до 240 °С. Давление на данном этапе составляло 1,8–1,6 кбар, что соответствует палеоглубинам порядка 7 км.

Время формирования золотосульфидной минерализации можно определить в 720–680 млн лет по аналогии с возрастом золотосульфидного оруденения Партизанского рудного узла, определенного Ar-Ar методом по слюдам и сформировавшегося синхронно с внедрением даек субщелочных-щелочных основных пород [3].

Пирротин-2, находящийся в парагенезисе с самородным золотом и минералами висмута, характеризуется значениями $\delta^{34}S = 3,4 \pm 0,4$ ‰, что подтверждает вероятную связь золотосульфидной минерализации с глубинным магматизмом.

Щелочные метасоматиты, связанные с редкометалльной (Nb) минерализацией, встречаются спорадически как в золотоносных зонах, так и на удалении от них. В редких случаях установлено, что формирование полнопроявленных щелочных метасоматитов сопровождается полным замещением золотых руд с выносом Au и Bi.

Полнопроявленные метасоматиты сложены альбитом (50–60 %), кварцем (10–20 %), КПШ (до 10 %), флогопитом (10–15 %), щелочным амфиболом (рибекит, 7–10 %). Отмечено замещение куммингтонита рибекитом. Характерной примесью является фторапатит, часто присутствует кальцит. Рудные минералы представлены магнетитом, пиритом, халькопиритом и галенитом. Основным минералом ниобия служит пирохлор.

С минерализацией данного этапа связаны вторичные включения насыщенных углекислотой магматогенных рассолов-расплавов, достаточно часто отмечаемые в жильном кварце. Основными компонентами рассолов служат NaCl и $MgCl_2$ (температура эвтектики -35 °С), концентрация солей достигает 33–45 мас. % NaCl-экв. Кроме кристалла галита во включениях присутствуют еще две-три анизотропные фазы и частицы рудного минерала. Углекислота не содержит примесей (Tпл = -56,7 °С). Включения гомогенизируются путем растворения кристалла галита при температурах 405–240 °С и давлении 1,6–1,5 кбар.

Щелочные метасоматиты датированы Rb-Sr методом по флогопиту (650 млн лет), близкий возраст (670–650 млн лет) имеют распространенные на площади дайкообразные тела щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов [3].

Мусковит-кварц-турмалиновые метасоматиты (грейзены) также встречаются как в золотоносных зонах, так и за их пределами. Они представлены сближенными жилообразными телами небольшой мощности. На отдельных участках в них встречаются скопления магнетита и ильменита. С участками развития кварц-турмалиновых метасоматитов пространственно связаны вторичные ореолы золота, что позволяет отнести минерализацию данного типа к потенциально продуктивной.

В турмалине присутствуют первичные углекислотно-водные включения (соленость 6 мас. % NaCl-экв., $x CO_2$ = 5–6 мол. %), которые гомогенизируются в интервале 375–350 °С при давлении около 0,5 кбар. Столь сильное снижение давления, вероятнее всего, связано со сменой литостатического режима гидростатическим на глубинах около 5 км.

Мусковит-кварц-турмалиновые грейзены, несущие оловянную и Ta-Nb минерализацию, на площади распространены в экзоконтактах штоков щелочных гранитоидов, U-Pb возраст которых составляет 640–620 млн лет (Стороженко и др., 2018 г.).

Таким образом, в золоторудных зонах Верхнетатарской площади совмещены продукты последовательного развития нескольких флюидно-магматических рудообразующих систем, что обусловило наблюдаемое разнообразие рудной и жильной минерализации, сложность строения геохимического поля и неоднозначность типизации золотого оруденения.

Список литературы:

1. Гибшер Н. А., Томиленко А. А., Сазонов А. М. [и др.]. Золоторудное месторождение Герфед: характеристика флюидов и *PT*-условия образования кварцевых жил (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 11. – С. 1851–1867
2. Константинов М. М., Некрасов Е. М., Сидоров А. А., Стружков С. Ф. Золоторудные гиганты России и Мира. – М. : Научный мир, 2000. – 272 с.
3. Ножкин А. Д., Борисенко А. С., Неволько П. А. Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 1. – С. 158–181.
4. Cook N. J., Ciobanu C. L., Wagner T., Stanley C. J. Minerals of the system Bi-Te-Se-S related to the tetradymite archetype: review of classification and compositional variation // The Canadian Mineralogist. – 2007. – V. 45. – P. 665–708.

Кудрявцева Н. Г.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ МАЙКАИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА – ПАЛЕОЗОЙСКИЙ АНАЛОГ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИПА «КУРОКО»

Приведены основные характеристики колчеданно-полиметаллических объектов Майкаинского рудного района, и предложено их рассматривать как палеозойский аналог месторождений типа «куроко».

Ключевые слова: колчеданно-полиметаллические месторождения, Майкаинский рудный район, островные дуги.

В последние десятилетия в целом ряде работ показано, что колчеданные месторождения (VMS) Рудного Алтая [1, 7], Урала [3] и их современных аналогов [7] сформированы в рифтогенных структурах, но имеются из этого ряда и исключения.

Особую группу золото-колчеданно-полиметаллических месторождений составляют объекты Бозшакольской и Баянаульской зон поздних каледонид Северо-Восточного Казахстана в юго-западной раме Иртыш-Зайсанской складчатой системы. Как правило, они рассматриваются в составе мегакомплексов структур типа первичных островных дуг [5].

Рудоносный последовательный ордовикский базальт-андезит-дацит-риолитовый комплекс зрелой стадии развития образует пояс, протягивающийся вдоль границы ранних каледонид к юго-востоку от Степнякского островодужного пояса. Бозшаколь-Баянаульские вулканические массивы ассоциируют с практически одновозрастными граувакковыми флишоидными формациями ранне-позднеордовикского возраста. В ранний период изучения Майкаинского и Торткудукского месторождений возраст их оценивался как раннекембрийский [6]. По последним данным в связи с находками конодонтов [2], возраст этого пояса – ордовикский.

Ордовикская островная дуга развилась на преимущественно терригенно-базальтоидных образованиях ранних венд-кембрийских рифтогенных прогибах, которые залегают на древнем комплексе основания переходного типа. Начальная офиолитовая ассоциация ($V–C_1$) на современной поверхности выступает в виде локальных субширотных линейных поднятий.

Вышележащий комплекс составляют вулканиты базальт-андезибазальт-андезит-дацитового состава и прорывающие их гранитоиды габбро-диорит-тоналит-гранодиоритовой формации, с которыми связано медно-порфировое оруденение.

Полный ряд ранне-среднеордовикских колчеданоносных вулканитов проявлен в пределах наиболее значительного Майкаинского рудного района, в пределах которого многочисленные колчеданно-полиметаллические месторождения и проявления вписываются в складчатые структуры рудовмещающей толщи. В то же время оруденение контролируется разрывными нарушениями и контактами субвулканических даек среднего и основного состава. Сходный комплекс субвулканических образований Торткудукского района завершает формирование вмещающей тефроидно-осадочной толщи верхнего тремадока с горизонтами лав андезитового, андезидацитового составов и прослоями кремнистых алевролитов и известняков. Вулканиты относятся к толеитовому и островодужному известняково-щелочному типам натриевой и калиево-натриевой щелочности. Майкаинские объекты отличает многообразие состава руд. При этом основную ценность имеют золото-серебросодержащие руды пирит-полиметаллического, барит-полиметаллического, баритового и серно-колчеданного составов. Околорудные изменения представлены кварц-серицитовыми метасоматитами и монокварцитами. Выше несогласно залегают орогенные континентальные нижне-среднедевонские вулканогенные конгломераты, эффузивы основного-среднего, редко кислого составов, расслоенные песчаниками и конгломератами. Эти образования прорваны мелкими интрузивами габбро-диоритов, гранодиоритов и граносиенитов, с которыми связана борнит-халькопиритовая минерализация, относящаяся к молибденово-медной формации.

Таким образом, основными характеристиками колчеданно-полиметаллических объектов Майкаинского рудного района являются: формирование в обстановках активных окраин островодужного типа, связь оруденения с андезидацитовыми вулканитами, золото-серебросодержащий барит-полиметаллический состав руд, что свидетельствует об их идентичности с колчеданно-полиметаллическими месторождениями Японии типа «куроко» [4]. В связи с этим предлагается рассматривать колчеданно-полиметаллические объекты Майкаинского рудного района как их палеозойский аналог, что необходимо учитывать при прогнозе и поисках месторождений данного типа.

Список литературы:

1. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Т. 1. – Алматы, 2002. – С. 220.
2. Жуковский В. И., Магретова Л. И. Эволюция магматизма и минерагении Майкаинского сегмента Бозшаколь-Чингизской палеодуги // Материалы Республиканского стратиграфического совещания. – Караганда, 2006. – С. 121–128.
3. Колчеданные месторождения мира. –М.: Недра, 1979. – 284 с.
4. Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Геодинамические обстановки формирования месторождений цветных и благородных металлов Большого Алтая // Отечественная геология. – 2022. – №3. – С. 12–23.
5. Металлогения Казахстана. Типы структурно-формационных комплексов и тектоническое районирование палеозоид. – Алма-Ата : Наука, КазССР, 1977. – 192 с.
6. Яковлев Л. И. Главные особенности структуры и локализации колчеданно-барит-полиметаллического оруденения Майкаинского рудного поля (Центральный Казахстан) // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 37. – М., 1960. – С. 95–122.
7. Shanks Pat, Thurston R. Volcanogenic Massive Occurrence Model: Scientific Investigations Report. – 2010. – P. 5070.

Кудряшов Н. М.[1], **Калинин А. А.**[1], **Галеева Е. В.**[1], **Удоратина О. В.**[2], **Гроув М.**[3]

[1] ГИ ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты; [2] ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар; [3] Стэнфордский Университет, Калифорния

ВРЕМЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО (LI, CS, TA) ПЕГМАТИТООБРАЗОВАНИЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ №22-27-00589.

Приведены результаты изотопно-геохронологического изучения циркона из редкометалльных пегматитов месторождения Охмыльк и Васин-Мыльк. До настоящего времени не было достоверных данных о возрасте лепидолит-сподумен-поллуцитовых пегматитов архейского зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья. Предполагаемые оценки указывали на довольно широкий временной диапазон от 2,7 до 1,7 млрд лет. Новые U-Pb (SHRIMP-RG) изотопно-геохронологические значения по циркону из пегматитовых жил месторождения Охмыльк с возрастом 2607 ± 9 млн лет и 2619 ± 29 млн лет для месторождения Васин-Мыльк отражают время их кристаллизации. Полученные результаты свидетельствуют о неоархейском времени образования месторождений на рубеже 2,65–2,60 млрд лет, отражая глобальную эпоху архейского редкометалльного пегматитообразования. Изотопные данные с возрастом ~1,7–1,6 млрд лет указывают на более поздние метасоматические преобразования.

Ключевые слова: редкометалльные (Li, Cs, Ta) пегматиты, U-Pb изотопный возраст, SHRIMP-RG, циркон, месторождения Охмыльк и Васин-Мыльк, Фенноскандинавский щит.

Месторождения редкометалльных пегматитов присутствуют на всех континентах и охватывают порядка 3 млрд лет истории Земли начиная с мезоархея. Глобальное возрастное распределение

эпох редкометалльного пегматитообразования сходно с распределением обычных пегматитов, орогенных гранитов и детритовых цирконов. Пиковые временные импульсы образования пегматитов приходятся на рубежи около 2640, 1800, 960, 485 и 310 млн лет назад и соответствуют временам коллизионного орогенеза и сборки суперконтинентов. Между этими импульсами были длительные промежутки времени, когда пегматиты формировались в незначительных масштабах или вообще не образовывались [7, 8]. Среди крупнейших мировых месторождений семейства LCT (литий-цезий-тантал) можно отметить архейские пегматиты Гринбушес в Западной Австралии (возраст 2527 млн лет), пегматиты Бикита в Зимбабве (~2650 млн лет) и пегматиты Танко в Канаде (2640 млн лет).

Крупные месторождения редкометалльных LCT пегматитов, которые выделяются в северо-восточной части Фенноскандинавского щита, сконцентрированы в зеленокаменном поясе Колмозеро-Воронья и на его северо-западном продолжении в Урагубской структуре. Пояс расположен в зоне глубинного разлома на границе трех крупных блоков – Мурманского, Кольско-Норвежского и Кейвского, сложен преимущественно метаморфизованными осадочно-вулканогенными породами позднеархейского возраста (2,9–2,8 млрд лет). Породы осадочно-вулканогенного комплекса прорываются более поздними (2,73–2,68 млрд лет) высокомагнезиальными интрузиями дифференцированной серии габбро-гранодиорит-гранитного состава (санукитоиды), а также турмалин-мусковитовыми и микроклиновыми гранитами (2,7–2,5 млрд лет). В пределах пояса расположены два крупных поля редкометалльных пегматитов (Li, Cs с попутными Nb, Ta, Be). В северо-западной части располагаются месторождения лития и цезия Охмыльк, Васин-Мыльк, Оленинское, Полмостундровское и Шонгуйское, в юго-восточной – крупнейшее литиевое месторождение сподуменовых пегматитов Колмозерское. Месторождения пегматитов, размещенные в северо-западной части обнажаются среди амфиболитов пояса, колмозерские сподуменовые пегматиты прорывают интрузивное тело габбро-анортозитов Патчемварекского массива с возрастом 2,93 млрд лет [3].

Изотопно-геохронологические определения возраста жил различных пегматитов и гранитоидов, выделяемых в пределах пояса, по имеющимся данным охватывают довольно широкий временной диапазон 2,7–1,7 млрд лет. В последние годы были получены новые изотопно-геохронологические результаты для гранитоидов как возможных источников вещества для редкометалльных пегматитов. Возрастные данные для турмалин-мусковитовых гранитов северо-западного поля оцениваются в ~2,6–2,5 млрд лет, для юго-восточной части пояса, в районе размещения сподуменовых пегматитов Колмозерского месторождения, определен возраст турмалин-мусковитовых гранитов 2,8–2,7 млрд лет [5]. Эти разрозненные данные, до настоящего времени, не позволяли дать точную оценку возраста каждого из месторождений, поэтому были поставлены задачи изотопно-геохронологического изучения циркона из пегматитовых жил локальным U-Pb (SHRIMP-RG) методом.

Месторождение Охмыльк. Пегматитовое поле месторождения занимает площадь около 600 м^2, прослеживается по простиранию на 1,25 км и характеризуется высокой насыщенностью пегматитовыми жилами. Для геохронологического изучения была взята проба из жилы лепидолит-турмалин-сподуменового состава. Циркон, выделенный из пробы, представлен идиоморфными, изометрическими и близкими к изометрическим дипирамидальными и дипирамидально-призматическими полупрозрачными трещиноватыми кристаллами, реже ксеноморфными зернами серого, серо-коричневого цвета. Размеры не превышают 1 мм и наиболее часто составляют 0,3–0,5 мм. Индивиды циркона развиты преимущественно с альбитом и кварцем, присутствуют срастания циркона с минералами группы колумбита. Внутреннее строение циркона характеризуется центральными участками в виде пятнистой текстуры с включениями урановых оксидов, во внешних частях некоторых кристаллов отчетливо выделяются узкие участки с признаками поздней перекристаллизации.

Для четырех проанализированных точек циркона из центральных зон получен дискордантный возраст 2607 ± 9 млн лет, СКВО = 0,87 (рисунок), который отражает время формирования

пегматитов месторождения Охмыльк. Аналитические данные двух точек из перекристаллизованных зон составили 1719 ± 65 млн лет и 1666 ± 23 млн лет, что указывает на более поздние, метасоматические, вероятно, процессы.

Месторождение Васин-Мыльк. Пегматитовое поле месторождения с продуктивной ассоциацией лепидолит-альбит-микроклин-сподумен-поллуцит расположено среди амфиболитов. Незначительные по размеру участки выходов пегматитов на поверхность прослежены на глубину при прохождении шурфов и скважин. Месторождение представляет собой субпараллельные пологие зональные жилы протяженностью до 220 м при мощности 5 м. Среди разнообразных минералов, часто представленных в пегматитовых жилах несколькими генерациями, к наиболее ранним относятся минералы группы колумбита-танталита, микролит, симпсонит, торолит, циркон [1]. Ранее был проанализирован микролит ранней генерации U-Pb (ID TIMS) методом, возраст которого составил 2454 ± 8 млн лет [2]. Циркон из пегматитовых жил здесь представлен двумя резко отличающимися по составу генерациями: высокоурановые единичные кристаллы ранней генерации, а также основная масса практически безуранового высокогафниевого циркона поздней генерации. Для циркона поздней генерации, в котором содержания урана составляли всего 0,2–0,3 ppm, не представлялось возможным определение U-Pb возраста [4]. U-Pb методом были проанализированы несколько кристаллов циркона ранней генерации. Циркон этой генерации представлен идиоморфными, изометрическими дипирамидально-призматическими полупрозрачными трещиноватыми кристаллами темно-коричневого и серого цвета. Внутреннее строение циркона характеризуется фазовой неоднородностью, где выделяются центральные и краевые зоны. Центральные зоны обогащены ураном, РЗЭ и иттрием, ^{232}Th / ^{238}U = 0,01–0,02. Краевые участки содержат значительно меньшие концентрации урана, иттрия и РЗЭ, ^{232}Th / ^{238}U = 0,3–0,8.

Для четырех проанализированных точек циркона из центральных зон получен близконкордантный возраст 2619 ± 29 млн лет, СКВО = 2,2 (см. рис.), который отражает время формирования пегматитов месторождения Васин-Мыльк. Аналитические данные трех точек из краевых зон по отношению 207Pb / 206Pb составили 1,9–1,6 млрд лет, что указывает на более поздние события.

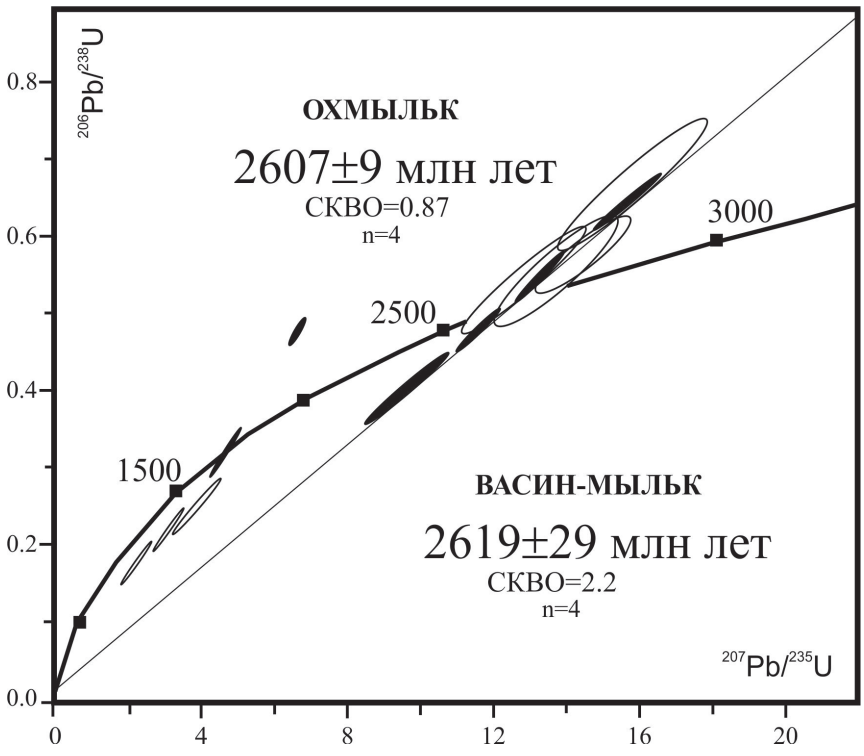


Диаграмма с конкордией для циркона из редкометалльных пегматитов. Залитые эллипсы – месторождение Охмыльк, прозрачные эллипсы – месторождение Васин-Мыльк

Полученные изотопные возрасты магматического циркона 2607 ± 9 млн лет для месторождения Охмыльк и 2619 ± 29 млн лет для месторождения Васин-Мыльк служат надежной оценкой времени их кристаллизации, отражая глобальную эпоху пегматитообразования, с которой связано формирование крупнейших мировых редкометалльных месторождений на рубеже 2,60–2,65 млрд лет. Образование внешних кайм связано с полной перекристаллизацией циркона в палеопротерозойское время на рубеже 1,7–1,6 млрд лет назад. Анализ литературных данных показывает, что основные геолого-минералогические и геохимические характеристики LCT пегматитов со временем практически не изменялись. Тем не менее отмечается, что архейские LCT пегматиты образовались из метаглиноземистых исходных расплавов, в отличие от более молодых пегматитов, связанных с перглиноземистыми расплавами [6]. Этот вывод подтверждается и изучением древнейшего (хадейского) обломочного циркона Джек-Хиллз [9].

Список литературы:

1. Волошин А. В., Пахомовский Я. А. Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. – Л. : Наука, 1988. – 240 с.
2. Кудряшов Н. М., Лялина Л. М., Апанасевич Е. А. Возраст редкометалльных пегматитов месторождения Васин-Мыльк (Кольский регион): результаты геохронологического U-Pb-исследования микролита // ДАН. – 2015. – Т. 461, № 4. – С. 437–441.
3. Кудряшов Н. М., Мокрушин А. В. Мезоархейский габбро-анортозитовый магматизм Кольского региона: петрохимические, геохронологические и изотопно-геохимические данные // Петрология. – 2011. – Т. 19, № 2. – С. 173–189.
4. Kudryashov N. M., Skublov S. G., Galankina O. L., Udoratina O .V, Voloshin A .V. Abnormally high-hafnium zircon from rare-metal pegmatites of the Vasin-Mylk deposit (the northeastern part of the Kola Peninsula) // Chemie der Erde / Geochemistry. – 2019 – V. 80, № 3.
5. Kudryashov N. M., Udoratina O. V., Coble M., Steshenko E. N. Geochronological and Geochemical Study of Zircon from Tourmaline-Muscovite Granites of the Archaean Kolmozero–Voronya Greenstone Belt: Insights into Sources of the Rare-Metal Pegmatites // Minerals. – 2020. – V. 10 (9). – P. 760.
6. Martin R. F., De Vito C. The patterns of enrichment in felsic pegmatites ultimately depend on tectonic setting // Canadian Mineralogist. – 2005 – V. 43 – P. 2027–2048.
7. McCauley A., Bradley D. C. The global age distribution of granitic pegmatites // Canadian Mineralogist – 2014 – V. 52 – P. 183–190.
8. Tkachev A. V. Evolution of metallogeny of granitic pegmatites associated with orogens throughout geological time. Geological Society, London, Special Publications. – 2011 – V. 350 – P. 7–23.
9. Trail D., Tailby N., Wang Y., Harrison T. M., Boehnke P. Aluminum in zircon as evidence for peraluminous and metaluminous melts from the Hadean to present // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2017 – V. 18, Iss. 4 – P. 1580–1593.

Кужугет Р. В.[1], **Анкушева Н. Н.**[1, 2], **Хертек А. К.**[1], **Монгуш А-Д. О.**[1]
[1] ТувИКОПР СО РАН; [2] ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АК-СУГ (ВОСТОЧНЫЕ САЯНЫ, РОССИЯ)

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ (грант №, 23-27-00344).

В рудах золото-медно-порфирового месторождения Ак-Суг установлены минералы благородных металлов: Au, Ag и Pd. Руды месторождения характеризуются наличием Au не только в самородной (золото, электрум), но и теллуридной формах (калаверит $AuTe_2$, петцит Ag_3AuTe_2, сильванит $AgAuTe_2$, креннерит $AuAg_3Te_8$, мутманнит $AgAuTe_2$, штютцит Ag_3AuTe_2). Самородное золото и теллуриды Au-Ag ассоциируют с халькопиритом, блеклыми рудами, борнитом,

сфалеритом, галенитом (Ag до 3 мас. %), клаусталитом PbSe, гесситом Ag_2Te, ± эмпреситом AgTe ± науманнитом Ag_2Se ± меренскиитом $PdTe_2$ (Pt до 1,5 мас. %) ± сопчеитом Ag_4Pd3Te_4 ± арсенопалладитом Pd_8As_3 ± S-содержащим кавацулитом Bi_2Te_2Se ± тетрадимитом Bi_2Te_2S ± виттихенитом Cu_3BiS_3.

Ключевые слова: самородное золото, теллуриды Au-Ag, минералы Pd, Au-Cu-порфировое оруденение, Тыва.

Золото-медно-порфировое месторождение Ак-Суг находится в северо-восточной части Республики Тыва в верховьях р. Ак-Суг и было открыто в 1952 г. геологами Ферганской экспедиции ВИМСа Г. В. Махиным и Н. Е. Костиным. Одноименный рудный узел находится на южном склоне Восточного Саяна в зоне Кандатского разлома и Хамсаринской подзоны Таннуольско-Хамсаринской островодужной зоны ранних каледонид, сформировавшихся при субдукции Палеоазиатского океана [3]. Оруденение приурочено к многофазному Ак-Сугскому плутону, который локализован на пересечении Даштыгойского грабена северо-западного направления с зоной интенсивной трещиноватости субширотного Ак-Сугского разлома. Плутон сложен полнокристаллическими преимущественно среднезернистыми породами (габброиды, диориты, тоналиты), вмещающими штоко- и дайкообразные тела (малые интрузии, рудоносный комплекс) порфировых пород, с которыми пространственно и генетически ассоциирует золото-медно-порфировое оруденение. Малые рудоносные интрузии сложены мелко- и среднезернистыми тоналитами и тоналит-порфирами. Магматические породы плутона и малых рудоносных интрузий относятся к известково-щелочной серии пониженной щелочности с доминированием Na над K. Поздняя магматическая ассоциация представлена лейкогранитами и аплитами высококалиевой известково-щелочной серии [4].

Возраст месторождения Ак-Суг (U-Pb возраст рудоносных интрузий по циркону 515 ± 4 ... 499 ± ± 6 млн лет [4] и Re-Os датировки молибденита 518, 517, 516 и 511 млн лет [1, 4–6]), предполагает то, что оруденение образовалось на этапе смены геодинамической обстановки сжатия на растяжение, т. е. в постколлизионных условиях. В сходной обстановке сформировалось крупнейшее медно-порфировое месторождение Кулонг (Qulong) (Тибет) [7]. Отметим, что ранее по проблеме возраста магматизма и оруденения золото-медно-порфировых месторождений Саяно-Тувинского нагорья были высказаны разные точки зрения, и до недавнего времени доминировало представление об их девонском возрасте, что ограничивало металлогеническую оценку рассматриваемой территории.

Метасоматическая зональность месторождения Ак-Суг согласуется с типовой зональностью метасоматической колонны медно-порфирового месторождения и имеет вид (от центра к периферии): «кварцевое ядро» → кварцевые, серицит-кварцевые (филлитовые) метасоматиты ± кварц-калиевые метасоматиты → кварц-серицитовые и кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты ± аргиллизиты → пропилиты [2]. Кварц-калиевые метасоматиты развиты очень слабо. Картина зональности на отдельных участках усложняется наложенной аргиллизацией, а также контактом пропилитов с породами «кварцевого ядра».

Аргиллизиты не образуют какой-то определенной зоны, а встречаются в виде отдельных участков в зонах кварц-серицитовых и кварцевых метасоматитов. Около 80 % запасов руд месторождения сосредоточено в кварц-серицитовых, кварц-серицит-хлоритовых метасоматитах и аргиллизитах, образованных за счет тоналит-порфиров. Для месторождения характерна латеральная зональность распределения минеральных разновидностей руд от центра к периферии рудного штокверка: молибден-медная в кварцевых и кварцево-слюдистых метасоматитах с неравномерной калишпатизацией → халькопиритовая и Au-содержащая борнит-халькопиритовая в кварц-серицитовых метасоматитах → золото-теллуридно-медная в кварц-серицитовых и серицит-гидрослюдистых метасоматитах → золото-висмут-теллуридно-полисульфидная в серицит-гидрослюдистых метасоматитах, аргиллизитах, аргиллизитизированных тоналит-порфирах, лейкогранитах и аплитах → внешняя пиритовая в пропилитизированных породах.

Рудная минерализация месторождения Ак-Суг представлена восемью минеральными ассоциациями:

1. Пирит-кварцевая (кварц, пирит, магнетит, гематит, ферберит);

2. Сульфидно-карбонат-кварцевая (кварц, кальцит, калиевый полевой шпат, пирит, халькопирит, борнит, теннантит);

3. Галенит-молибденит-теннантит-халькопирит-кварцевая (кварц, халькопирит, теннантит, молибденит, пирит, галенит (Se до 1 мас. %), сфалерит (Fe до 0,24 мас. %));

4. Золото-пирит-борнит-халькопирит-кварцевая (кварц, борнит, халькопирит, пирит, галенит (Se до 3,67 мас. %), барит, золото (Au 80,30–69,79, Ag 13,64–29,71. Te 0,00–0,56) и электрум (Au 33,04–69,61, Ag 29,81–66,20, Te 0,00–0,76));

5. Золото-теллуридно-борнит-халькопирит-кварцевая (кварц, халькопирит, борнит, пирит, теннантит-тетраэдрит, минералы ряда галенит–клаусталит, алтаит, гессит, петцит, золото (Au 95,00–75,07, Ag 4,07–24,83), калаверит, креннерит, сильванит, эмпресит, штютцит, мутманнит, меренскиит, арсенопаладинит Pd_8As_3, сопчеит $Ag_4Pd_3Te_4$, темагамит Pd_3HgTe_3(?), самородный теллур, барит, молибденит, кобальтин, энаргит);

6. Золото-пирит-халькопирит-блекловорудно–кварцевая (кварц, теннантит-тетраэдрит, халькопирит, пирит, минералы ряда галенит–клаусталит, борнит, касситерит, энаргит, науманнит, барит, ангидрит, сфалерит, золото (Au 95,86–70,78, Ag 4,08–29,22) и электрум (Au 63,37–66, 84, Ag 33,14–35,92));

7. Золото-висмуто-теллуридно-сульфидно-кварцевая (кварц, халькопирит, пирит, борнит, Bi-содержащий теннантит, золото (Au 80,51–78,11, Ag 22,48–19,33), гессит, петцит, цумоит, S-содержащий кавацулит, тетрадимит, Se-содержащий тетрадимит, виттихенит и айкинит, барит);

8. Кварц-карбонатная (кварц, кальцит, анкерит, барит и ангидрит).

На месторождении Ак-Суг встречаются четыре минеральные ассоциации с минералами благородных металлов (Au, Ag и Pd) и наблюдается следующая эволюция состава самородного золота:

• золото-пирит-борнит-халькопирит-кварцевая ассоциация (среднепробное Au (810 ‰) → низкопробное Au (799–700 ‰) → электрум (697–331 ‰));

• золото-теллуридно-борнит-халькопирит-кварцевая ассоциация (высокопробное Au (950–901 ‰) → среднепробное Au (875–826 ‰) ± меренскиит $PdTe_2$ ± сопчеит $Ag_4Pd_3Te_4$ ± арсенопалладит Pd_8As_3 ± темагамит Pd_3HgTe_3(?) → калаверит $AuTe_2$ ± Ag-содержащие минералы ряда галенит–клаусталит (Ag до 3 мас. %) → среднепробное Au (854–806 ‰) → низкопробное Au (792–751 ‰) + петцит Ag_3AuTe_2 + гессит Ag_2Te ± креннерит $(Au,Ag)Te_2$ ± сильванит $(Au,Ag)_2Te_4$ ± мутманнит $AuAgTe_2$ ± штютцит Ag_3AuTe_2 ± эмпресит AgTe ± S-науманнит ± науманнит Ag2Se);

• золото-пирит-халькопирит-блекловорудно-кварцевая ассоциация (весьма высокопробное Au (959 ‰) → высокопробное Au (932–913 ‰) → среднепробное Au (863–820 ‰) → низкопробное Au (799–708 ‰) → электрум (669–638 ‰) ± науманнит Ag_2Se);

• золото-висмуто-теллуридно-сульфидно-кварцевая ассоциация (среднепробное Au (806–801 ‰) → низкопробное Au (799–781 ‰) + петцит Ag_3AuTe_2 + гессит Ag_2Te).

Минералы благородных металлов (размером от 5 до 150 мкм) находятся в виде моно- или, реже, полиминеральных вкрапленников и гнезд в халькопирите, борните, блеклых рудах и кварце. Морфология золота в рудах разнообразна, размер выделений до 1,5 мм. Преобладают трещинно-прожилковые, комковидно-ветвистые, комковато-ячеистые, дендритовидные, интерстициальные формы, реже кристаллы и их срастания. Поверхность зерен золота шагреневая и мелкоямчатая. Цвет золота варьирует от золотисто-желтого до серебристого с желтоватым оттенком. Содержание Ag в золоте достигает до 29,71 мас. %, Te – 0,59 мас. %; в электруме Ag – 66,20 мас. %, Te – 0,76 мас. %. Установлено, что пробность золота месторождения Ак-Суг варьирует от 311 до 959 ‰, в среднем составляя 672 ‰. Составы теллуридов Au-Ag, меренскиита $PdTe_2$, сопчеита $Ag_4Pd_3Te_4$, арсенопалладита Pd_8As_3, S-науманнита, науманнита Ag_2Se не отклоняется от стехиометрического, соответствующего химической формуле.

Список литературы:

1. Берзина А. Н., Берзина А. П., Гимон В. О. Cu-Mo-порфировая рудно-магматическая система Аксуг (Северо-Восточная Тува): источники и процессы формирования рудоносной магмы // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62, № 4. – С. 549–566.

2. Забелин В. И. Геологическое строение и геолого-геохимическая зональность Ак-Сугского медно-порфирового месторождения как критерий глубинного прогнозирования: дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук. – Кызыл, 1988. – 145 с.
3. Berzin N. A., Kungurtsev L. V. Geodynamic interpretation of Altai-Sayan geological complexes // Russian Geology and Geophysics. – 1996. – № 37. – P. 56–73.
4. Berzina A. N., Berzina A. P., Gimon V. O. Paleozoic-Mesozoic Porphyry Cu(Mo) and Mo(Cu) Deposits within the Southern Margin of the Siberian Craton: Geochemistry, Geochronology, and Petrogenesis (a Review) // Minerals. – 2016. – № 6 (6). – P. 1–25.
5. Berzina A. N., Stein H. J., Zimmerman A., Sotnikov V. I. Re-Os ages of molybdenite from porphyry and greisen Mo-W deposits of southern Siberia (Russia) preserve metallogenic record // Mineral Exploration and Sustainable Development / eds. D. Eliopoulos [et al.]. – Rotterdam : Millpress, 2003. – P. 231–234.
6. Pollard P. J., Pelenkova E., Mathur R. Paragenesis and Re-Os molybdenite age of the Cambrian Ak-Sug porphyry Cu-Au-Mo deposit, Tyva Republic, Russian Federation // Economic Geology. – 2017. – № 112. – P. 1021–1028.
7. Yang Z. M., Hou Z. Q., White N. C., Chang Z. S., Li Z. Q., Song Y. C. Geology of the postcollisional porphyry copper-molybdenum deposit Qulong, Tibet // Ore Geology Reviews. – 2009. – № 36 (1–3). – P. 133–159.

Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИЕ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНОГО АЛТАЯ

Приведена систематика рудных формаций Рудного Алтая, построенная на соответствии рудных и геологических формаций (субформаций), особенностях минерального состава руд и изменении соотношений главных их компонентов, а также ряда других геолого-минералогических признаков. На рифтогенном этапе (D_1–D_3fr) формируется колчеданно-полиметаллическое оруденение (с золотом и серебром). Рифтогенный этап завершился внедрением позднедевонских гранитоидов (D_2–D_3) габбро-диорит-плагиогранит-гранитовой формации, с которой связаны месторождения золото-сульфидно-кварцевой рудной формации. Последняя подразделяется на две субформации: золото-медно-цинково-свинцово-кварцевую (Секисовское месторождение) и золото-серебро-свинцово-кварцевую (Черепановское месторождение). В островодужный этап (D_3fm–C_1s) проявлены мелкие месторождения и рудопроявления золото-кварцево-сульфидной формации, которые ассоциируют с двумя геологическими: фаменской андезидацитовой (Заводинская группа) и нижнекаменноугольной андезибазальтовой (Мамонтовская группа). В коллизионный этап (C_2–C_3) сформированы месторождения и проявления золото-малосульфидно-кварцевой рудной формации в связи со среднекаменноугольной габбро-гранодиорит-гранитной (Аврорinское, Поливаевское, Предгорненское и др.). В этот же раннеколлизионный этап авторами работы выделен потенциальный тип рассеянной рудной минерализации, относящейся к золото-сульфидной формации в связи с лимнической молассовой формацией.

Ключевые слова: Рудный Алтай, рудовмещающая формация, минеральный состав руд, золото-сульфидный показатель, формы нахождения золота и серебра.

В основу оценки золотоносности руд месторождений Рудного Алтая положен золото-сульфидный их показатель, представляющий собой отношение суммы содержаний свинца, цинка и меди к содержаниям золота ($\times 10^{-4}$). Собственно золотые, золото-серебряные и золото-серебросодержащие месторождения разделяются на основе их золото-серебряного отношения, а также промышленной значимости благородных металлов. Для собственно золоторудных формаций важнейшее значение имеет жильная составляющая оруденения и ее соотношение с сульфидной,

в связи с чем для оценки этого параметра применен сульфидно-кварцевый (жильный) коэффициент руд (кварц-карбонат + барит).

На этой основе и связи рудных формаций с определенными геологическими формациями, характерными для различных этапов формирования структур Рудного Алтая, выделяются четыре рудные формации и один потенциальный на золото тип минерализации.

1. Золотосодержащая медно-свинцово-цинково-колчеданная формация, имеющая в настоящее время основное промышленное значение. Колчеданно-полиметаллические месторождения РАП по комплексу характеристик относятся к колчеданным месторождениям в вулканогенных ассоциациях (VMS) и ассоциируют с двумя рудоносными формациями: нижней (эмс–эйфель–ранний живет) – последовательно дифференцированной базальтсодержащей андезит-дацит риолитовой известково-кремнисто-терригенной и верхней (поздний живет–ранний фран) – контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной, сформированными на рифтогенном этапе, и обладают рядом характерных черт: принадлежностью вулканитов к калий-натриевой серии, существенным преобладанием кислых пород над основными, антидромным характером вулканизма и присутствием значительного количества осадочных и вулканогенно-осадочных пород – карбонатно-кремнисто-терригенных, углеродисто-глинисто-кремнисто-терригенных, кремнистых туффитов и рифогенных известняков.

Средние соотношения Pb : Zn : Cu в рудах месторождений 1 : 3 : 1 при широкой вариации этих соотношений. Главные минералы – пирит, галенит, сфалерит и халькопирит. Основные элементы-примеси представлены Ag, Au, Cd, Se, Te.

На рудноалтайских месторождениях ярко выражена взаимозависимость состава руд с составом и петрохимическими особенностями рудовмещающих толщ. С рудоносными формациями ассоциируют соответствующие рудные субформации.

В свою очередь, в пределах субформаций выделяются минеральные типы месторождений, состав которых определяется рудоносными фациями или ассоциациями фаций.

Золотосодержащая медно-свинцово-цинковая колчеданная рудная субформация. (Галенит)-сфалерит-халькопирит-пиритовый, халькопирит-галенит-пирит-сфалеритовый и халькопирит-пирит-галенит-сфалеритовый минеральные типы месторождений соответствуют геологической контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации, в которой отмечаются примерно равные соотношения кислых и основных вулканитов, а также осадочной и вулканогенной составляющих. Для месторождений рассматриваемой рудной субформации характерна незначительная роль свинца при близких значениях цинка и меди и высокой сернистости руд. Соотношения металлов Pb : Zn : Cu = 1 : (2,5–5) : 0,7 : 3; а коэффициент колчеданности – $К_{кол}$ S : (Pb + Zn + Cu) более 1,5.

Золото-сульфидный показатель составляет < 50 : 1, а золото-серебряное отношение < 1 : 200. Сереброносность субформации находится примерно на одном уровне с остальными формационными типами колчеданного оруденения.

Золотосодержащая свинцово-цинковая колчедансодержащая рудная субформация. Галенит-сфалеритовый и галенит-сфалерит-баритовый минеральные типы месторождений соответствуют геологической последовательно дифференцированной базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации, в составе которой кислые вулканиты преобладают над основными, а осадочная составляющая над вулканогенной. Для месторождений характерно наличие примерно равных долей свинца и меди в рудах (при некотором преобладании свинца), также присутствие повышенного содержания цинка. Соотношение Pb : Zn : Cu составляет (1–1,5) : (2–0,2) : 0,4. Коэффициент колчеданности ($К_{кол}$) меньше 0,5.

Субформация является наиболее золотоносной. В ее составе золото и серебро являются наряду со свинцом, цинком, иногда барием, основной промышленной ценностью месторождений. Дальнейшее повышение содержания золота в этом типе приводит к уменьшению золото-сульфидного показателя до (0,8–5) : 1. Золото-серебряное отношение также несколько уменьшается и составляет 1 : (15–70), при очень широком колебании содержаний серебра от 25 до 100 г/т для различных месторождений. Наиболее обогащены благородными металлами барит-полиметаллические руды, где содержания их достигают Au – 10,3 и Ag – 50 г/т.

2. Золото-сульфидно-кварцевая рудная формация тесно ассоциирует с позднедевонской

габбро-диорит-плагиогранит-гранитной геологической формацией, сформированной на завершающей стадии рифтогенного этапа. Формация является рудообразующей, и, возможно, для некоторых месторождений рудогенерирующей. По изменению минерального состава руд, условий локализации оруденения и состава материнских гранитоидов мы подразделяем ее на две субформации: золото-медно-цинково-кварцевую и золото-серебро-свинцово-цинково-кварцевую.

Месторождения золото-медно-цинково-свинцово-кварцевой субформации располагаются в пределах гранитных массивов натриевого профиля в ядерной части алейского поднятия, в пределах магматических кольцевых структур, образованных продуктами различных фаз внедрения массивов. Для оруденения характерно преобладание меди над свинцом в сульфидной составляющей, кварца над сульфидами и низкое золото-серебряное отношение – 1 : (2–4). Золото-сульфидный показатель составляет (0,1–0,2) : 1. Характерным является примерно равная роль дисперсной формы золота и свободной, соединения золота и серебра в виде теллуридов, отсутствие самородного серебра. Эталонным для данной формации является Секисовское месторождение, характеристика которого приводится ниже.

Месторождения золото-серебро-свинцово-кварцевой субформации приурочены к обрамлению массивов средне-позднедевонских гранитодов, располагаясь непосредственно в приконтактовом ореоле их изменений.

В составе руд свинец обычно преобладает над медью, а жильная составляющая над сульфидной. Оруденение этого типа существенно серебряное: золото-серебряное отношение составляет обычно 1 : (50–150), при несколько более низких содержаниях золота, чем в первом типе. Золото-сульфидный показатель равняется (0,2–0,3) : 1. Золото и серебро отмечаются в дисперсной и самородной формах, а серебро, кроме того, в виде сульфоарсенидов, сульфоантимонидов и сульфидов. Теллуриды золота и серебра отсутствуют. В геохимическом плане для первого типа характерно резко повышенная концентрация висмута (вплоть до образования его самостоятельных минералов), а для второго – мышьяка. Эталонным для данной формации является Черепановское месторождение.

3. Золото-кварцево-сульфидная формация образуется в связи с раннекаменноугольной андезибазальтовой геологической формацией, сформированной в островодужный этап развития структур Рудного Алтая. В настоящее время месторождения данного типа известны в Зыряновском рудном районе (Мамонтовская группа). По-видимому, по составу вулканитов рудоносной формации им могут соответствовать отложения фаменского возраста в Прииртышской вулкано-тектонической депрессии, в которой известны несколько рудопроявлений и точек минерализации с повышенной золотоносностью сульфидной минерализации, а также месторождения Заводинской группы в раннекаменноугольных фациях андезидацитов. Рудовмещающими для оруденения являются породы покровной гипабиссальной или субвулканической фаций, в наиболее прогнутых частях вулканогенных структур второго порядка на склонах осложняющих их вулканических куполов. Оруденение представляет собой минерализованные зоны или серии субпараллельных жил и характеризуется повышенной ролью сульфидной составляющей, в которой ведущая роль принадлежит свинцу и меди. Золото-сульфидный показатель равен 0,4 : 0,6 : 1, а золото-серебряное отношение 1 : 5. Таким образом, главная роль принадлежит золоту, а серебро обычно достигает промышленных концентраций. Золото и серебро установлено в самородной и дисперсной формах.

4. Золото-малосульфидно-кварцевая рудная формация связана со средне-каменноугольной габбро-гранодиорит-гранитной формацией (змеиногорский комплекс) коллизионного этапа. Проявления данной формации, расположенные в Прииртышье, приурочены к висячему боку Иртышского глубинного разлома. Здесь они вытягиваются в протяженную на 50 км зону от Белоусовского месторождения на юго-востоке до ст. Аврора на северо-западе и далее протягиваются до Каменушинского массива. Рудопроявления располагаются в этой зоне в полосе шириной 5 км. К ним относятся: Авроринское, Рулихинское, Полеваевское, Таловское, Золотарь, Сметанино, Писаревское, Предгорненское. Представлены они серией субпараллельных кварцевых жил, с примесью анкерита, кальцита, реже турмалина с вкрапленностью сульфидов (пирита, халькопирита, сфалерита). Золото присутствует в свободной форме в кварце и в виде мельчайших включений в сульфидах.

Они, располагаясь непосредственно в приконтактовой части массивов, приурочены к зонам роговиков или скарноидов во вмещающих вулканогенно-осадочных и, возможно, в некоторых случаях карбонатно-терригенных отложениях, которые, по-видимому, являлись рудоносными и служили источником образования золоторудных проявлений.

Сульфидная составляющая в рудах незначительная, соотношения ее с жильной 1 : (20–30). Среди сульфидов наиболее важная роль принадлежит пириту, халькопириту и сфалериту. Медь преобладает над цинком и редко превышает свинец. Золото-сульфидный показатель (0,1–0,2) : 1. Золото-серебряное отношение 1 : (10–20), т. е. руды являются золото-серебряными. Золото и серебро наблюдаю как в дисперсной (в сульфидах и кварце), так и в самородной формах, с преобладающим значением самородной. Кроме того, отмечаются сульфиды и сульфоантимониды серебра. Значение данной формации в Рудноалтайской структурно-формационной зоне пока до конца не вполне ясно, так как для большинства точек минерализации в ореоле гранитоидов змеиногорского комплекса как формационная принадлежность (ввиду сложности отнесения тех или иных массивов к магматической формации), так и ее перспектива до конца не выяснены. Оценка же ряда объектов в пределах «золоторудной линии» (Предгорненское, Авроринское) дали практически отрицательные результаты для промышленного освоения из-за незначительных запасов и низких средних содержаний металлов.

5. Золото-сульфидный потенциальный тип выделяется условно, на основании установленной нами сульфидной рассеянной минерализации с резко повышенной по отношению к фоновым содержаниям золотоносностью, в отложениях лимнической угленосной молассовой формации средне-верхне-каменноугольного возраста (малоульбинская, белокаменная свиты). По своему составу (без учета нижележащего подстилающего разреза) свиты могут быть параллелизованы с отложениями золотоносной буконьской свиты Калбы. Для выделения самостоятельной золото-сульфидной формации в черносланцевых толщах требуется детальная оценка возможности выявления промышленных рудных залежей.

Купенко В. И., Проскурня Ю. А.
ГОУ ВПО «ДОННТУ», г. Донецк

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ДОНБАССА

Проанализирована минерально-сырьевая база рудных полезных ископаемых Донбасса. Установлено, что вдоль Главной антиклинали Донбасса находятся многочисленные месторождения и рудопроявления золотосульфидной, золотомышьяковой, сурьмяно-ртутной, полиметаллической и других формаций. Доказана генетическая связь ртутного (Никитовка) и золотополиметаллического с серебром оруденения Нагольного Кряжа, что важно для трактовки металлогении региона и прогнозирования рудных месторождений.

Ключевые слова: Никитовское рудное поле, ртуть, Главная антиклиналь, модель, Нагольный Кряж, Ольховатско-Волынцевская антиклиналь, золото-полиметаллические рудопроявления.

Рудная минерализация Донбасса приурочена главным образом к таким структурным элементам, как Главная антиклиналь с ее северо-западным продолжением, зоне сочленения Донбасса с Приазовским и Воронежским кристаллическим массивами, Бахмутской котловине, Южно-Донбасскому и другим участкам.

Донецкая ртутная металлогеническая провинция включает наиболее крупные месторождения ртути и сурьмы, в том числе и открытое в 1879 г. Никитовское рудное поле [3], которое является одним из крупнейших месторождений в мире. Рудное поле вытянуто вдоль оси Горловской (Главной) антиклинали более чем на 10 км. В пределах Донецкой области оно объединяет месторождения: Никитовское, Полукупол Новый, Новозаводское, Секущий надвиг, Мичуринское, Чернокурганское. Ртутное оруденение приурочено к толще башкирского яруса среднего карбона (свиты C_2^2 и C_2^3). Свиты сложены глинистыми алевролитами, аргиллитами, песчаниками, известняками, пластами угля. Важным рудоконтролирующим элементом структуры рудного поля являются брахиантиклинали («купола»), которые осложняют свод Горлов-

ской антиклинали. Практически каждый купол представлен самостоятельным месторождением ртути.

В пятидесятые годы прошлого века Украинское геологическое управление, возобновив прерванные Великой Отечественной войной поисково-разведочные работы на месторождении и за его пределами, пришло к выводу о бесперспективности имеющихся и выявленных ртутных объектов, как и Главной антиклинали в целом.

Прогнозирование новых перспективных участков потребовало детальных геолого-структурных исследований рудного поля. С 1970 г. группа сотрудников кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Донецкого политехнического института систематически проводила крупномасштабное (1 : 1 000, 1 : 500) инструментальное геологическое картирование работающих карьеров вслед за продвижением забоев на всех горизонтах. Картирование сопровождалось фотодокументацией уступов, изучением трещинной тектоники с реконструкцией полей деформаций и расшифровкой генезиса последовательно формирующихся тектонических структур рудного поля.

Параллельно исследовали закономерности рудораспределения в тектонических структурах, детально изучали минералого-геохимические, изотопно-геохимические, термобарогеохимические и другие особенности руд. Был установлен ряд неизвестных ранее на рудном поле минералов, парагенетически ассоциирующих с сульфидом ртути: эелигманит, халькостибит, цинкенит, плагнонит, ртутьсодержащие сфалерит и метациннабарит, бурнонит, швацит, блеклые руды, джимсонит, семсейит [1]. Обоснована объемная минералогическая зональность и стадийность процесса формирования промышленного оруденения. Установлен ряд параметров гидротермального процесса, его стадийность и полигенный характер компонентов рудообразующих растворов [2].

В результате была создана четырехмерная геолого-генетическая модель рудного поля, отражающая протяженное в геологическом времени генетически обусловленное параллельное развитие структуры рудного поля и гидротермального процесса (рис. 1). Доказана генетическая связь ртутного (Никитовка) и золотополиметаллического с серебром оруденения Нагольного кряжа, что важно для трактовки металлогении региона и прогнозирования рудных месторождений.

С учетом вышеприведенных результатов в 1982 г. В. А. Шумлянским с соавторами было выполнено повторное опробование керна скважин, пробуренных ранее при поисках на ртуть. В пределах Ольховатско-Волынцевской антиклинали, расположенной между Никитовским рудным полем и Нагольчанским рудным узлом, была выявлена минерализация, которая принадлежит преимущественно к сурьмяной и золотосурьмяной, в меньшей мере – золотомышьяковой рудной формации. Ольховатско-Волынцевская антиклиналь второго порядка (протяженностью 62 км) является частью Главной антиклинали Донбасса [5].

Дальнейшая оценка бурением на Михайловском участке комплексных геохимических аномалий ртути, мышьяка и лития, известных на поверхности, привела к выявлению зон вкрапленных золотоносных мышьяковистых дисульфидов железа – пирита и марказита, содержащих также арсенопирит, киноварь, сфалерит, мышьяковые и сурьмяные сульфосоли. В прожилках кварца и анкерита дисульфиды железа встречаются редко, здесь отмечается вкрапленность буланжерита, сфалерита, иногда киновари.

На участке проявления минерализации разрез толщи мощностью около 500 м принадлежит к верхней части амвросиевской свиты (C_2^0). Преобладают углистые алевролиты и аргиллиты, среди которых выделяется несколько пачек песчаников мощностью от первых метров до 30 м. Пирит и марказит приурочены преимущественно к песчаникам и образуют вкрапленность, желвакообразные и линзовидные скопления, прослои мощностью в первые сантиметры. В прожилках кварца и анкерита дисульфиды железа встречаются редко, здесь отмечается вкрапленность буланжерита, сфалерита, иногда киновари.

На территории Восточного Донбасса выявлены Керчикское, Барило-Крепинское, Галутинское, Чернореченское и другие рудопроявления золота. Рудовмещающими породами являются отложения среднекаменноугольного возраста [4]. Наиболее изученным в геологическом отношении является Керчикское рудопроявление золота, где проведены поисковые работы, подсчитаны прогнозные ресурсы золота в количестве, соответствующем крупному золоторудному месторождению, положительно оценены обогатимость руд и возможность их рентабельной добычи.

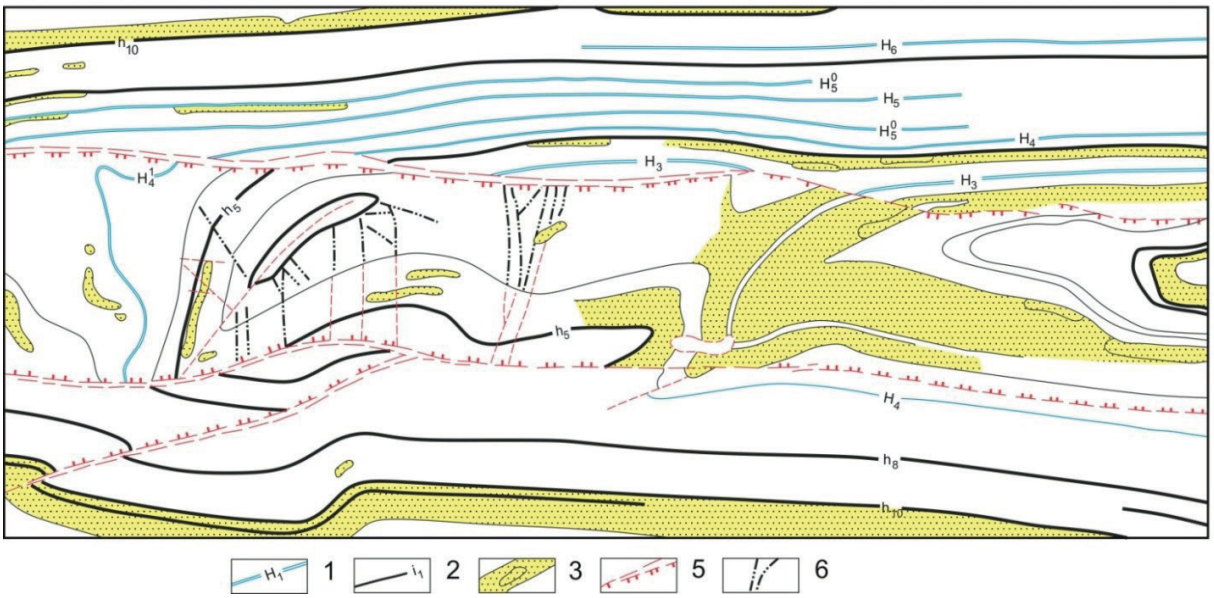


Рис. 1. Фрагмент 2D сечения 4D модели Никитовского рудного поля:
1 – известняки, 2 – пласты угля, 3 – песчаники, 5 – разрывные нарушения, 6 – рудные жилы

Руды Керчикского проявления обнаруживают признаки полигенно-полихронных образований, в составе которых вычленяются сульфидно-прожилково-вкрапленный тип в песчанико-сланцевых углеродистых толщах, относящийся к гидротермальному (гидротермально-осадочному) генетическому классу, и наложенный на него в структурах тектоно-магматической активизации эпитермальный золотосеребряный тип.

За 100 лет эксплуатации месторождений Никитовского рудного поля с 1885 по 1985 г. добыто более 32 млн т руды, из которой получено 33 698 т металлической ртути (рис. 2). Разведочные и эксплуатационные работы на Никитовском рудном поле приостановлены в 1995 г. в связи с исчерпанием запасов относительно богатых руд и падением спроса на ртуть. В настоящее время запасы ртути промышленных категорий на рудном поле составляют 25 тыс. т.

В современных геополитических условиях вовлечение в эксплуатацию ртутных и связанных с ними золотополиметаллических с серебром месторождений, расположенных вдоль Главной антиклинали Донбасса вплоть до Ростовской области, представляется весьма актуальным.



Рис. 2. Продукция Никитовского ртутного комбината – Hg 99,99%

Список литературы:
1. Купенко В. И. Минералого-геохимическая характеристика ртутных месторождений Донбасса и стадийность рудообразования // Ртутные месторождения Донбасса. Сборник научных Трудов. Академия наук Украинской ССР (АН УССР), Институт геохимии и физики минералов. – Киев : Наукова думка, 1982. – С. 146–154.
2. Купенко В. И. Новые данные по минералогии ртути Донбасса // Доклады АН СССР. – 1980. – Т. 251, № 5. – С. 1243–1245.
3. Купенко В. И., Проскурня Ю. А. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса Донбасса в современных условиях // Инновационные перспективы Донбасса. Материалы 8-й Международной научно-практической конференции. – Донецк : ДОННТУ, 2022. – Т. 6. – С. 54–59.
4. Парада С. Г. Перспективные геолого-промышленные типы рудопроявлений золота в Ростовской области // Вестник Южного научного центра. – 2014 – Т. 10, № 4 – С. 53–60.
5. Шумлянский В. А., Заря В. Ф. О рудных формациях Ольховатско-Волынцевской антиклинали Донбасса // Доклады АН УССР. Серия Б. – 1982. – № II. – С. 26–29.

Лазарев Р. А.[1], **Серпуховитина Т. Ю.**[1], **Серпуховитин В. В.**[2]
[1] СОФ МГРИ; [2] ОГАПОУ «Губкинский горно-политехнический колледж»

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПРИКОНТУРНЫЙ МАССИВ КАРЬЕРА (НА ПРИМЕРЕ НАТАЛКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АО «ПОЛЮС МАГАДАН»)

С начала эксплуатации карьера Наталкинский устойчивость бортов вызывает обеспокоенность. Одним из основных инженерно-геологических факторов, влияющих на устойчивость бортов и уступов карьеров, является структурно-тектоническое строение массива горных пород, а также подземные горные выработки (ПГВ). При ведении взрывных работ в результате нарушения законтурного массива происходит разупрочнение горных пород вследствие изменения трещиноватости, появления остаточных деформаций, снижения прочностных характеристик по контактам структурных блоков. Основным ограничением, налагаемым на ведение буровзрывных работ (БВР) в приконтурной зоне карьера, является необходимость предохранения бортов карьера и инженерных сооружений на бортах от сейсмического воздействия массовых взрывов. В качестве одного из вариантов снижения влияния взрывных работ можно рассмотреть уменьшение прибортового массива (взрывая на свободную часть) и уменьшение диаметра скважин, что позволит уменьшить объем взрывчатых веществ (ВВ) в приконтурной зоне, тем самым уменьшить влияние взрывных работ на прибортовой массив.

Ключевые слова: месторождение Наталка, буровзрывные работы, устойчивость бортов и уступов карьеров, массив горных пород, приконтурная зона карьера, прибортовой массив.

Золоторудное месторождение Наталка расположено в Тенькинском районе Магаданской области, в бассейне р. Омчак (рис. 1). Гидрогеологические условия отработки месторождения Наталка открытым способом сложные, что обусловлено наличием на месторождении мощной толщи многолетнемерзлых пород, ниже которой залегает локальная водоносная зона трещиноватости, содержащая напорные воды [1]. Подземные воды оказывают существенное влияние на устойчивость откосов бортов карьера, изменяя за счет остаточных напоров в прибортовом массиве его напряженное состояние [2]. Месторождение располагается в висячем восточном крыле крупной тектонической структуры регионального значения – Главного разлома, имеющего северо-северо-западное простирание и падение на восток-северо-восток под углами 60–70°. Тектоническая структура месторождения определяется наличием зон разрывных нарушений, в целом совпадающих с ориентировкой Главного разлома. В соответствии со структурно-тектоническими особенностями строения площадь месторождения принято делить на три участка: Северо-западный – профили –90 – (–15), Центральный – профили –10 – (+50) и Юго-Восточный – профили +55 – (+170).



Рис. 1. Обзорная карта Магаданской области

Уменьшение массы заряда достигается путём применения зарядов малого диаметра с образованием буферной зоны* (таблица, рис. 2).

Изменение массы заряда при различных диаметрах

Параметры БВР	Ед. изм.	Фортис	
Диаметр долота	мм	146	134
Коэф. разбура	коэфф.	1,050	1,050
Диаметр заряда	мм	153	141
Плотность ЭВВ в скважине	кг/м3	1 150	1 150
Вместимость скважины с учётом коэф. разбура	кг/п.м.	21,2	17,9
Высота уступа	м	7,5	7,5
Перебур	м	0,5	0,5
Глубина скважин	м	8	8
Расстояние между скважинами	м	4,3	4,3
Расстояние между рядами	м	3,7	3,7
Удельный расход ВВ	кг/м3	0,68	0,58
Масса заряда	кг	82	69
Высота заряда	м	3,8	3,9
Высота забойки	м	4,2	4,1
Базовый выход ВГМ с п.м. скважины	м3/п.м.	15,0	14,9
Спаренные/смещённые скважины на блоке	%	1	1
Технологические потери скважин на блоке	%	5	5
Итого доп бурение на скважину	п.м.	0,5	0,5
Выход ВГМ с п.м.	м3/п.м.	14,2	14,1

Анализ физико-механических характеристик массива горных пород карьера Наталкинский показал, что его разработка возможна только с применением БВР [4]. Физико-механические характеристики массива горных пород явились исходными данными при выборе методов производства и основных параметров БВР. Степень сохранности приконтурного массива может быть

* Применяется 134d, где сеть бурения 4,3 м × 3,7 м, удельный расход ВВ – 0,58 кг/м^3, с сохранением равномерной колонки заряда и забойки, при этом высота заряда оптимальна с точки зрения проработки верхней части массива блока.

повышена за счет снижения интенсивности сеймовзрывного воздействия скважинных зарядов на окружающий породный массив [3]. Снижение сейсмического действия взрыва достигается главным образом за счет уменьшения динамических нагрузок в направлении откосных сооружений бортов карьера, что становится возможным при [1]:

- уменьшении массы заряда,
- оптимизации параметров короткозамедленного взрывания,
- оптимизации схем коммутации.

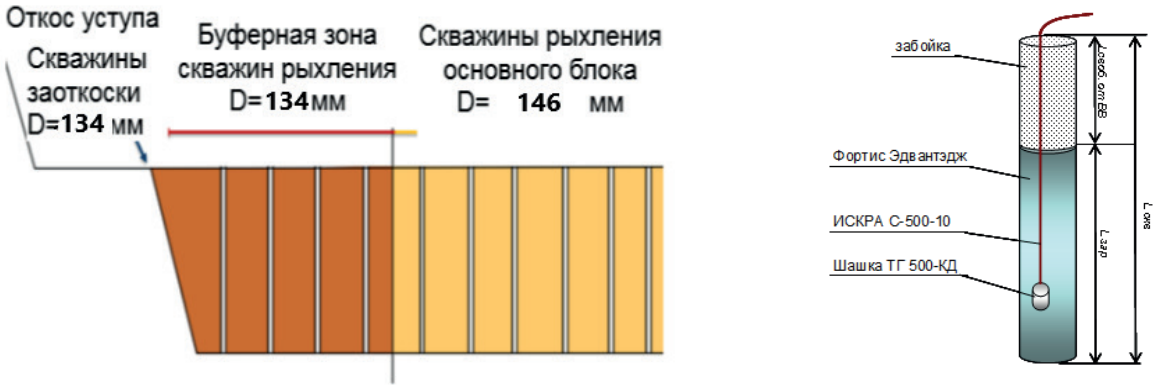


Рис. 2. Параметры, влияющие на размер буферной зоны, и конструкция скважин сплошного заряда

Схема взрывной цепи проектируется на основе фактического расположения скважин и спроектирована таким образом, чтобы обеспечить равномерную послойную отбойку и направить смещение вдоль борта, а также исключить перпендикулярное смещение от борта. Применяемые замедления на блоке 712,5–32 составляют 25 мс. Схема взрывной цепи и направление смещения на примере блока 712,5–32 приведена на рис. 3.

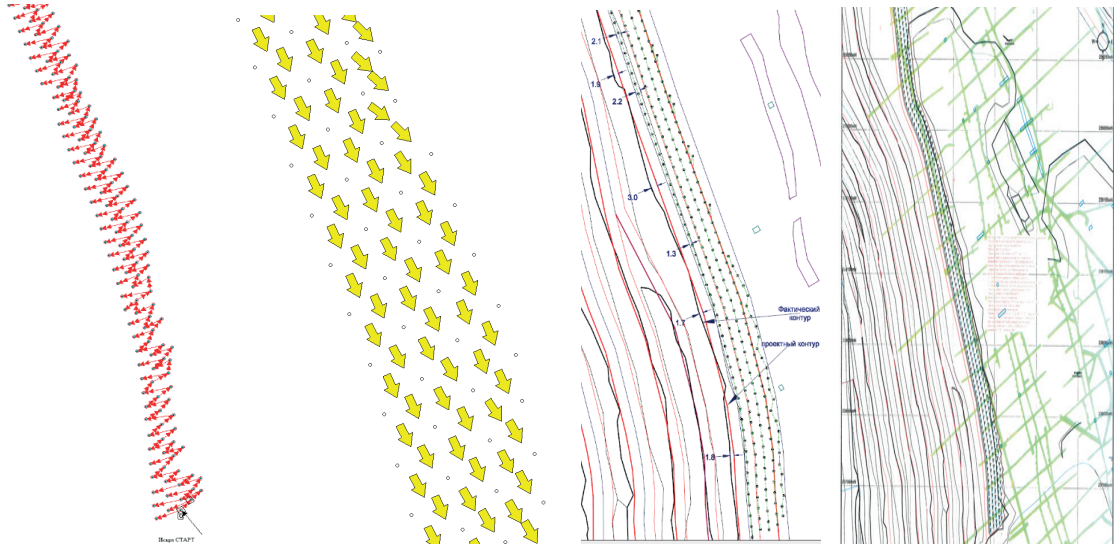


Рис. 3. Схема взрывной цепи и направление смещения на примере блока 712,5–32.

Список литературы:

1. Отчёт о научно-исследовательской работе «Научно-методическое сопровождение работ по прогнозу и предотвращению горных ударов при ведении горных работ на шахте им. Губкина» (заключительный). – Белгород, 2018. – С. 63.
2. Серпуховитина Т. Ю. Воздействие горных предприятий на гидроресурсы региона // Актуальные вопросы геологии: материалы Международной научно-практической конференции. Старооскольский филиал ФГБОУ ВО МГРИ. – Белгород : КОНСТАНТА, 2019. – 644 с.

3. Серпуховитина Т. Ю., Лазарев Р. А., Цыцорин И. А. Экологический мониторинг как фактор формирования комфортной среды // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № S 1. – С. 216–222.
4. Серпуховитина Т. Ю., Лазарев Р. А., Цыцорин И. А. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород как фундамент локального прогноза удароопасности (на примере Коробковского месторождения железистых кварцитов) // Безопасность и геоэкология в горном деле: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – №5 (специальный выпуск 14). – С. 11–18.

Лапковский А. А., Горских П. П., Ромашко В. В.
ООО «Норникель Технические Сервисы», г. Санкт-Петербург

РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА ЛЕБЯЖНИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (НОРИЛЬСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

В рамках поисковых работ на медно-никелевые руды в пределах Лебяжнинской площади проведены опережающие геофизические работы методами МТЗ, АМТЗ, ВП-СГ, глубинной электротомографией ЭТ-ВП. Результаты поискового бурения на перспективных участках показали хорошую сходимость с прогнозом на основании комплексных геофизических данных.

Ключевые слова: Пясинско-Вологочанский интрузив, PGE-Cu-Ni сульфидные руды, Норильский рудный район.

С целью поисков сульфидных медно-никелевых руд в восточной части Пясинско-Вологочанского расслоенного рудоносного интрузива на продолжении ранее оцененного по категории C_2 Вологочанского месторождения в 2015–2020 гг. на Лебяжнинской площади проведены следующие виды работ: гравиметрическая и магнитная съемки масштаба 1 : 25 000, электроразведочные работы методами МТЗ, АМТЗ, ВП-СГ, глубинная электротомография ЭТ-ВП, поисковое бурение (47 скважин глубиной от 169 до 600 м, общим объемом 16 963,5 пог. м [1]).

Предшествующими работами Пясинско-Вологочанский рудоносный интрузив был прослежен к западу от Лебяжнинской площади по склонению борта Вологочанской мульды на расстояние 18 км на глубинах от 650 до 1 700 м, выявлены залежи вкрапленных сульфидных руд с промышленными содержаниями, которые были квалифицированы как забалансовые [2, 3].

Для обоснования постановки поисковых работ на Лебяжнинской площади использовался комплекс поисковых признаков, разработанный ООО «Норильскгеология» для прогнозирования рудных тел по категории P_1, согласно которому в пределах рудоносной интрузии должен быть выделен участок, соответствующий фронтальной фации осевой зоны интрузива, который может стать потенциально промышленным месторождением [4].

Для выделения перспективных участков на изучаемой площади наиболее эффективно сопоставление результатов площадных работ методом ВП-СГ и аномалий магнитного и гравитационного потенциальных полей. Аномалии магнитного поля, наблюдаемые на участке работ, имеют, как правило, вытянутую форму, и ширина их в среднем составляет 250–500 м. Каротаж магнитной восприимчивости (КМВ) показывает, что объекты, образующие аномалии, связаны с интрузивами норильского и далдыканского комплексов. Сульфидные медно-никелевые руды, локализующиеся в основании рудоносного интрузива, также обладают повышенными магнитными свойствами за счет присутствия пирротина.

Положительные локальные аномалии гравитационного поля свидетельствуют о небольшой глубине залегания и увеличении суммарной мощности интрузивных пород в разрезе.

Области повышенного кажущегося сопротивления имеют прямую корреляцию с выходами Южно-Пясинской, Вологочанской и Южно-Вологочанской ветвей Пясинско-Вологочанского интрузива под четвертичные отложения.

Аномалии кажущейся поляризуемости в первую очередь связаны с зонами сульфидной минерализации. Данные бурения показывают, что высокие значения вызванной поляризации могут быть связаны и с зонами пиритизации в осадочных отложениях.

В результате работ уточнены особенности геологического строения и морфологии Пясинско-Вологочанского интрузива и зоны распространения вкрапленного медно-никелевого оруденения. Установлены параметры рудных тел, вещественный состав руд и содержание в них полезных и попутных компонентов.

Список литературы:

1. Лапковский А. А., Радько В. А., Сидоренко И. П. Поиски месторождений сульфидных медно-никелевых руд на Лебяжнинской площади. Отчет о результатах работ за 2014–2020 гг. – ООО «Норильскгеология», 2020.
2. Лосев В. М., Щеткина Г. И., Щукин В. В. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Амбарная–Вологочан (отчет Амбарнинской ГСП о съемке масштаба 1 : 50 000 листа R-45-92-В, Г за 1968–1970 гг.). – Норильск : НКГРЭ, 1970.
3. Матвеев И. А., Пинаев В. С., Легезина О. П. Оценка сульфидных медно-никелевых руд на Средне-Вологочанской площади. – Талнах : ПО «Норильскгеология», 2006.
4. Радько В. А. Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 226 с.

Лаптева А. М., Дорожкина Л. А., Мустафа Т. С., Пузанова М. Ю.
ФГБУ «ВИМС», г. Москва

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИРОВЫХ РЕСУРСОВ И ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ КАК ФАКТОР РИСКА РАЗВИТИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Рассмотрено состояние мировых ресурсов алюминия (бокситов), меди, никеля, кобальта, олова и вольфрама с точки зрения возможностей обеспечения потенциального производства и потребления на период до 2040 г.

Ключевые слова: цветные металлы, бокситы, вольфрам, кобальт, медь, никель, олово, минерально-сырьевая база, запасы, ресурсы, прогноз производства, прогноз потребления, обеспеченность.

Глобальные тенденции развития мировой промышленности в сторону низкоуглеродных технологий обострили внимания к сырьевым базам цветных металлов, придавая почти экзистенциальное значение вопросу: «А смогут ли эти сырьевые базы обеспечить перспективные потребности мировой экономики в сырье?» Так, общеизвестны прогнозы, по которым широкомасштабное внедрение электротранспорта и технологий возобновляемой энергетики приведет к столь резкому росту спроса на медь, никель и кобальт, что его обеспечение будет проблематичным даже при условии ввода в эксплуатацию всех реализуемых проектов освоения новых сырьевых объектов. Но результат ли это недостаточности сырьевой базы или, все-таки, недостаточности инвестиций в горнодобывающий сектор? Это принципиально разные аспекты «сырьевой проблемы».

Если говорить именно о сырьевых базах цветных металлов, то одним из важных факторов риска развития глобальной мировой экономики являются особенности географического распределения их ресурсов (и запасов) в сочетании с текущим и перспективным пространственным распределением центров их производства и потребления.

Исходя из принципа распространенности (в его основе лежат особенности геологических условий образования) цветные металлы можно разделить на две группы:

- широко распространенные, к которым может быть отнесено большинство основных промышленных металлов (так называемые base metals), включая алюминий и медь;
- обладающие высоким уровнем концентрации производства, к которым прежде всего относятся олово и вольфрам.

Алюминий. Основным видом алюминиевого сырья являются бокситы, обеспечивающие около 98 % мирового производства глинозема. Ресурсы бокситов в количестве 74 млрд т выявлены в 47 странах мира, запасы разведаны в 28 странах и составляют 10,6 млрд т. Крупнейшими ре-

сурсами обладают Гвинея (31 %), Австралия (13 %), Вьетнам (8 %), Индонезия (7 %), Китай (7 %), Бразилия (7 %) и Индия (5 %). Значительными ресурсами (>1 млрд т) также обладают Россия, Лаос, Мали, Ямайка, Камерун, Кот-д'Ивуар, ДР Конго.

Производство бокситов ведется в 34 странах мира. Основными производителями являются Австралия, Гвинея, Бразилия, Индия, Индонезия, Ямайка и Китай – их совокупный вклад в мировую добычу превышает 90 %.

По некоторым прогнозам, в период до 2030 г. темпы роста потребления алюминия могут составить 3 % в год. При аналогичных темпах роста производства бокситов к 2030 г. их выпуск может составить 530 млн т, а к 2040 г. – 730 млн т. Совокупное производство за 2022–2030 гг. оценивается в 4,5 млрд т, а за 2022–2040 гг. –в 10,5 млрд т.

Сопоставление этих цифр с текущими запасами и ресурсами указывает на отсутствие угрозы недостаточности сырьевой базы как таковой. А широкое распространение ресурсов позволяет ожидать, что дефицит сырья, который может возникнуть в каком-то из центров добычи, может быть компенсирован.

Медь. Ресурсы меди, оцененные в 98 странах мира, составляют почти 3 млрд т, запасы, разведанные в 59 странах – 890 млн т. Крупнейшими ресурсами обладает Чили (26 %), значительные ресурсы выявлены в Перу, США и Аргентине (около 8 % мировых ресурсов в каждой), Австралии и ДР Конго (около 5 % в каждой), России и Китае (около 4 % в каждой).

Рудничная медь производится более чем в 50 странах мира. Крупнейшими производителями являются Чили (26 %), Перу (11 %), Китай (9 %), ДР Конго (8 %) и США (6 %). Россия обеспечивает около 4 %.

Прогнозы в отношении будущего потребления меди многочисленны и разнообразны, тем не менее ожидаемые темпы роста потребления меди варьируют в сравнительно узких пределах – от 1,8 до 4 % в год [1]. Если исходить из наиболее оптимистичного из них и распространить его на желаемые темпы роста производства рудничной меди, то в 2030 г. оно может достичь 30,2 млн т, а к 2040 г. – 44,7 млн т. Тогда совокупное рудничное производство меди за 2022–2030 гг. составит 233 млн т, а за 2022–2040 гг. – 610 млн т.

Таким образом, при сопоставление этих цифр с текущими ресурсами (и даже запасами) наблюдается аналогичная с алюминием ситуация – минерально-сырьевая база достаточна и существуют возможности создания замещающих центров производства.

Никель. Основными источниками никеля являются месторождения двух типов: сульфидные медно-никелевые и латеритные (силикатные) в корах выветривания. Руды первых перерабатываются в высокосортный никель, пригодный для использования в литий-ионных батареях (на его долю приходится 37 % мирового производства металла), руды вторых – в низкосортный (63 %). Возможности получения из латеритных руд никеля, пригодного для использования в батареях, на сегодняшний день ограничены, однако уже в ближайшей перспективе ситуация может измениться.

Ресурсы никеля оценены в 45 странах и достигают почти 252 млн т, запасы разведаны в 29 странах и оцениваются в 122,4 млн т. В структуре ресурсов преобладают латеритные руды. Крупнейшими ресурсами обладает Индонезия – ее доля в мировых ресурсах более 40 % (латериты). Существенными ресурсами располагают Австралия (9 %, сульфидные руды и латериты), Филиппины (6 %, латериты), Россия (6 %, преимущественно сульфидные руды), Новая Каледония (6 %, латериты), Канада (5 %, сульфидные руды), Бразилия (4 %, сульфидные руды и латериты), Куба (3 %, латериты), ЮАР (3 %, сульфидные руды).

Производство никелевого сырья никеля ведется в 26 странах мира, лидирующее положение среди них занимает Индонезия (37 % мирового производства, латеритные руды). Крупными продуцентами также являются Филиппины (14 %, латеритные руды), Россия (7,5 %, сульфидные руды), Новая Каледония (7 %, латеритные руды), Австралия (5,6 %, сульфидные и латеритные руды) и Канада (5 %, сульфидные руды).

Как и в случае с медью, прогнозы в отношении потребления никеля многочисленны, при этом ожидаемые темпы роста его потребления варьируют от 2,6 до 5 % в год [1]. Если исходить из наиболее оптимистичного из них и распространить его на темпы роста производства никелевых руд и концентратов, то в 2030 г. оно может достичь 4,2 млн т в пересчете на металл, а к 2040 г. –

6,8 млн т. Тогда совокупное горное производство никеля за 2022–2030 гг. составит 31,3 млн т, а за 2022–2040 гг. – 86,6 млн т.

Формальное сопоставление этих цифр с текущими запасами и ресурсами указывает на отсутствие угрозы недостаточности сырьевой базы. Однако в случае с никелем не все однозначно, поскольку главным источником роста его потребления является батарейный сектор, нуждающийся в высокосортном никеле. А сегодня большая часть ресурсов и основное производство сырьевой продукции приходится на латеритные руды. Таким образом, говорить о возможностях удовлетворения потенциального спроса на никель можно либо при условии широкого внедрения технологий, обеспечивающих получение «батарейного» металла из латеритных руд, либо за счет принципиального расширения добычи сульфидных руд.

Кобальт. Основными геолого-промышленными типами месторождений кобальта являются кобальтсодержащие медистые песчаники, сульфидный медно-никелевый и латеритный никелевый в корах выветривания. В подавляющем большинстве случаев кобальт добывается попутно.

Ресурсы кобальта выявлены в 39 странах мира и составляют 31,7 млн т, запасы разведаны в 20 странах в количестве 7,3 млн т. Крупнейшими ресурсами располагает ДР Конго (42 %, в кобальтсодержащих медистых песчаниках), значительны ресурсы Индонезии (13 %, в латеритных рудах), Австралии (9 %, в сульфидных и латеритных рудах), России (6 %, преимущественно в сульфидных рудах), Канады (4 %, в сульфидных рудах), Кубы и Филиппин (по 3 %, в латеритных рудах).

Кобальт добывается в 15 странах, крупнейшим производителем является ДР Конго (74 %). Существенные количества (3–5 %) получают в России, Австралии, на Филиппинах.

Темпы роста потребления кобальта могут составить 8,8 % в год [1]. При аналогичных темпах роста производства в 2030 г. оно может достичь 347 тыс. т, а к 2040 г. – 806 тыс. т. Тогда совокупное горное производство кобальта за 2022–2030 гг. составит 2,3 млн т, а за 2022–2040 гг. – 8 млн т.

Несмотря на отсутствие угрозы недостаточности сырьевой базы, доминирующим промышленным центром производства кобальта сегодня является ДР Конго, что создает высокие риски нарушения поставок. При этом значительный потенциал латеритных руд как источника кобальта ограничен технологическим фактором.

Олово. Ресурсы олова локализованы в 33 странах и составляют 16,9 млн т, запасы подсчитаны в недрах 18 стран и оцениваются в 5 млн т. Крупнейшими ресурсами олова располагают Китай (26 %), Россия (15 %), Индонезия (11 %), Мьямна (6 %) и Австралия (5,5 %).

Производство олова в концентратах в значимых количествах осуществляется в 22 странах мира, более половины этого количества обеспечили Китай и Индонезия. Крупными продуцентами являются Мьямна (12 %), Перу (7,5 %), Бразилия (6 %), Боливия (5 %), ДР Конго (5 %). В России, располагающей одной из крупнейших сырьевых баз олова в мире, производится менее 1 % металла.

Перспективы потребления олова оцениваются неоднозначно. Наиболее оптимистичным является прогноз, представленный *Mordor Intelligence*: согласно ему среднегодовые темпы роста составят 2,5 %. При аналогичном наращивании производства олова в концентратах в 2030 г. оно может достичь 410 тыс. т, а в 2040 г. – 525 тыс. т. Тогда совокупное горное производство олова за 2022–2030 гг. составит 3,4 млн т, а за 2022–2040 гг. – 8,1 млн т.

Для олова также отсутствует перспектива дефицита сырьевой базы. Однако при сохранении текущих пропорций географического распределения производства ресурсы Китая и Индонезии будут в значительной степени исчерпаны. Перспективы замещающего наращивания добычи в других странах будут определяться наличием соответствующих инвестиций.

Вольфрам. Ресурсы вольфрама локализованы в недрах 29 стран и составляют 23,4 млн т WO_3, запасы разведаны в недрах девяти стран и оцениваются в 3,3 млн т WO_3. Крупными ресурсами вольфрама располагают Китай (48 %), Казахстан (18 %), Россия (8 %), Канада (6 %), Австралия (4 %).

Производство вольфрама в концентратах осуществляется в 20 странах. Крупнейшими производителем вольфрама в концентратах является Китай (78 % мирового производства), существенным производством обладает Вьетнам (12,5 %). Вольфрамовые концентраты также производятся в России, Боливии, Руанде, Австрии, Испании, Португалии, Северной Корее, Бразилии и ряде других стран.

По имеющимся прогнозам, потребление вольфрама будет расти высокими темпами, которые могут составить 4 % в год. При аналогичных темпах роста производства вольфрамовых концентратов в 2030 г. оно может достичь в пересчете на WO_3 155 тыс. т, а к 2040 г. – 230 тыс. т. Тогда совокупное горное производство вольфрама за 2022–2030 гг. составит 1,2 млн т WO_3, а за 2022–2040 гг. – 3,1 млн т WO_3.

Формальное сопоставление этих цифр с актуальными ресурсами указывает на отсутствие угрозы недостаточности сырьевой базы. Даже при условии сохранения доли Китая в мировом производстве на текущем уровне (порядка 80 %) его сырьевая база останется крупнейшей в мире. Однако, как и в случае с кобальтом (и ДР Конго), столь высокая концентрация и сырьевой базы, и производства создает высокие риски нарушения поставок. В связи с этим необходимо инвестировать в создание новых добывающих производств.

Обобщая все вышесказанное, можно утверждать, что в период до 2040 г. мировая промышленность не будет испытывать недостаточности ресурсов цветных металлов (алюминия, меди, никеля, кобальта, олова и вольфрама). Тем более что геологоразведочные работы, проводимые во многих регионах мира, обеспечивают их прирост. В то же время возможны риски возникновения сырьевого дефицита, вызванные технологическими ограничениями использования тех или иных видов сырья или экстремально высокой концентрацией текущего производства.

Список литературы:

1. Лаптева А. М., Мустафа Т. С., Смольникова А. В., Чернова А. Д. Оценка перспектив рационального освоения ресурсов железомарганцевых конкреций дна Мирового океана в контексте эволюции мировых рынков меди, никеля, кобальта и марганца // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 6–25. – DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10001.

Лебедева М. И.
ФГБУ «ВИМС», г. Москва

О ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Единство и требуемая точность измерений при проведении лабораторных исследований минерального сырья являются одной из приоритетных задач и определяются уровнем методического и метрологического обеспечения геологической отрасли в целом. В докладе обозначены перспективные направления работ ФГБУ «ВИМС» в данной области деятельности.

Ключевые слова: обеспечение единства измерений, достоверность, стандартные образцы.

Лабораторно-аналитические исследования – необходимая составная часть геологоразведочных работ (ГРР); их роль в решении различных геологических задач трудно переоценить. В геологической отрасли РФ действует и постоянно совершенствуется отраслевая Система управления качеством аналитических работ (УКАР), аналог зарубежной системы QA/QC, которая охватывает все этапы лабораторных исследований от отбора проб до контроля качества выполнения анализа, включая требования к методикам анализа и стандартным образцам состава.

В настоящее время российская отраслевая Система УКАР функционирует на следующих базовых основах:

• руководящих документах (РД), регламентирующих требования к нормам погрешности при аналитических измерениях, разработке стандартных образцов, аттестации методик измерений, проведению всех видов контроля качества результатов анализа, обращению с объектами аналитических работ;

• аттестованных методиках выполнения измерений (МВИ) и стандартных образцах (СО), допущенных (рекомендованных) при проведении лабораторных исследований при ГРР на ТПИ;

• подтверждении технической компетентности лабораторий посредством сертификации в отраслевой системе добровольной сертификации лабораторий в сфере недропользования

«УКАРГЕО» (зарегистрирована в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии, регистрационный номер свидетельства № РОСС RU.B888.04ФГТ0 от 23.12.2011 г.).

Ключевым элементом системы контроля качества, а также самым распространенным и доступным для лабораторий отрасли средством метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений являются стандартные образцы состава. В настоящее время ФГБУ «ВИМС» проводит работы по созданию национального банка матричных стандартных образцов на основе материалов перспективных месторождений Российской Федерации, аттестованных на широкий спектр показателей.

В целях осуществления единой научно-технической политики и оказания методической помощи созданы и ведутся отраслевые реестры МВИ [4], СО, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторных исследованиях при ГРР на ТПИ [3] и лабораторий, выполняющих исследования вещественного состава минерального сырья. Номенклатура СО включает 1053 единицы, отраслевой перечень систематически актуализируется по результатам разработки новых СО. В Отраслевой реестр включены также 1128 МВИ и 14 РД. Силами аккредитованной метрологической службы ФГБУ «ВИМС» осуществляется актуализация имеющихся методик, а также разработка и аттестация новых МВИ с учетом текущих потребностей отрасли.

Одной из эффективных форм проверки достоверности и сопоставимости результатов анализа является проверка квалификации лабораторий посредством участия в межлабораторных сравнительных испытаниях (МСИ) [1]. Ежегодно ФГБУ «ВИМС» проводит более 10 программ проверок квалификации (МСИ) для различных видов ТПИ. В МСИ принимают участие от восьми до 50 лабораторий в зависимости от сложности программы, в том числе зарубежные лаборатории.

Ввиду актуальности и востребованности работ по различным направлениям стандартизации, метрологии и сертификации, а также высокой заинтересованности со стороны государств – участников СНГ начаты работы по созданию международного научно-методического совета по лабораторно-аналитическому обеспечению ГРР на ТПИ в составе представителей государств – участников СНГ [2]. Основными задачами совета являются:

- подготовка предложений о взаимном признании перечня руководящих документов по управлению качеством лабораторных исследований при ГРР на ТПИ, действующих в странах СНГ;
- создание межгосударственной системы документации, регламентирующей единый подход к обеспечению и контролю качества и достоверности лабораторных работ, формирование Единого перечня методик измерений, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторных исследованиях минерального сырья на территории СНГ;
- организация совместной разработки новых методик выполнения измерений;
- разработка регламента и реализация на регулярной основе проверок квалификации лабораторий стран СНГ посредством межлабораторных сравнительных испытаний (МСИ) по типовым объектам исследований с целью оценки сопоставимости и достоверности результатов исследований на межгосударственном уровне;
- создание единой базы средств метрологического контроля аналитических исследований – стандартных образцов, отвечающих требованиям организации ГРР на ТПИ на всем пространстве СНГ, и обеспечение возможности кооперации между лабораториями стран Содружества для ее эффективного использования и обновления. Разработка и реализация межгосударственной программы изготовления новых матричных стандартных образцов, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторных исследованиях при ГРР на ТПИ. Разработка регламента, обеспечивающего возможность трансграничного доступа к единой базе СО стран СНГ;
- разработка программы по проведению стажировок, семинаров, международных конференций для обмена опытом и оказания методической помощи лабораториям стран СНГ по различным направлениям стандартизации, метрологии и сертификации в области лабораторно-аналитических исследований при ГРР на ТПИ.

Список литературы:

1. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» : межгосударственный стандарт : дата введения 2019-09-01. – М. : Стандартинформ, 2021.

2. Протокол XXIV сессии Межправительственного совета по разведке и охране недр (20–22 октября 2021 г., Ташкент).
3. Отраслевой реестр стандартных образцов, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРР на ТПИ. – URL: http://www.vims-geo.ru (дата обращения 16.03.2023).
4. Отраслевой реестр методик анализа, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРР на ТПИ. – URL: http://www.vims-geo.ru (дата обращения 16.03.2023).

Лебедева М. И., Белоусова А. А.
ФГБУ «ВИМС», г. Москва

ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НСАМ № 392-Х/РС («ЗОЛОТИНКА») С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ГРР НА ТПИ

Проведены экспериментальные работы по оценке возможности применения методики НСАМ № 392-Х/РС «Определение золота в горных породах, рудах рентгеноспектральным методом после концентрирования твердым органическим экстрагентом» при выполнении работ при ГРР на ТПИ за счет федерального бюджета и включения данной методики в технические задания на работы по объектам государственного заказа.

Ключевые слова: методика анализа, золото, экспрессный метод, точность.

Методика НСАМ № 392-Х/РС по метрологическим характеристикам соответствует III категории точности [3] и заявлена как экспрессный низкозатратный метод определения золота в минеральном сырье. Проведены экспериментальные работы по оценке возможности применения методики НСАМ № 392-Х/РС «Определение золота в горных породах, рудах рентгеноспектральным методом после концентрирования твердым органическим экстрагентом» [1] при выполнении работ при ГРР на ТПИ за счет средств федерального бюджета и включения данной методики в технические задания на работы по объектам государственного заказа.

В рамках экспериментальных работ проведен анализ 468 шифрованных проб различного матричного состава. Пробы распределены по классам в зависимости от ориентировочного содержания золота. К каждой партии проб были подшифрованы стандартные образцы состава, отражающие минеральный состав и содержание золота в контрольных пробах. Экспериментальные работы проведены на базе четырех аккредитованных лабораторий [2], применяющих данную методику.

После получения результатов была проведена их статистическая обработка. Оценена прецизионность результатов, проведен контроль точности результатов анализа с использованием стандартных образцов.

По результатам работ установлено, что методика НСАМ № 392-Х/РС может быть использована в качестве альтернативной при проведении предварительных (отбраковочных) испытаний при ГРР на золото, проводимых при формировании выборок проб для последующего анализа их методами, предусматривающими пробирное концентрирование.

Список литературы:

1. Методика НСАМ № 392-Х/РС «Определение золота в горных породах, рудах рентгеноспектральным методом после концентрирования твердым органическим экстрагентом».
2. Отраслевой реестр аккредитованных лабораторий. – URL: http://www.vims-geo.ru (дата обращения 16.03.2023).
3. Отраслевой реестр методик анализа, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРР на ТПИ. – URL: http://www.vims-geo.ru (дата обращения 16.03.2023).

Лешуков С. И.
АО «АГД Даймондс», г. Архангельск

ПРОБЛЕМЫ ОТКРЫТИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА СЕВЕРЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В ПРЕДЕЛАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время полноценные геологоразведочные (ГРР) на алмазы выполняются на 8 лицензионных участках. Работы по государственным контрактам не проводятся. Предлагается включение комплекса прогнозно-минерагенических работ (ПМР) на алмазы за счет бюджета РФ, предваряющего стадию поисков. По-прежнему сохраняет актуальность вопрос о возможности проявления мезозойского кимберлитового магматизма, существует проблема расширения географии поисковых работ.

Ключевые слова: лицензионные участки недр, методики поисков алмазов, магнитные и электрические аномалии, перспективные площади, ПМР, Устьянская перспективная площадь.

На сегодняшний день на территории Архангельской области имеются 30 действующих лицензий (алмазы): 2 – добычные (месторождения им. М. В. Ломоносова и им. В. Гриба) и 28 – поисковых разных юридических лиц. Реальные поисковые работы проводятся только на 8 лицензионных площадях (6 – АО «АГД Даймондс» (831 км^2) и 2 – АО «Севералмаз»).

Предлагаемые ранее перспективные площади с финансированием за счет бюджета РФ:

1 – Койдинская (594,2 км^2), 2 – Мяндозерская (1504 км^2), 3 – Солзенская (1250 км^2), 4 – Рочевская (1821,3 км^2). Вид предлагаемых работ – поисковые работы на алмазы со вскрытием объекта с ресурсами по P_2. Срок государственного контракта – 3 года.

Проведенные в 2020–2022 гг. поисковые работы на Ручьевской площади (1725 км^2) вскрыли некоторые проблемы:

- на столь крупных территориях (более 1 тыс. км^2) в предельно сжатые сроки и с весьма скромным финансированием (Ручьевская площадь – 152,5 млн руб., без НДС на 3 года) полноценные поиски с выявлением алмазоносного объекта провести невозможно;
- необходимо проведение прогнозно-минерагенических работ, нацеленных на получение прямых признаков алмазоносности с выделением локальных перспективных участков для поисков;
- введение ПМР для выполнения их за счет бюджета РФ. Применительно к алмазам – выполнять на крупных структурах типа поднятий, выступах древнего основания, прогнозируемых рудных районах и полях, положительных данных предшественников. Итог – выделение прогнозируемого рудного поля, оценка ресурсов P_3, в его пределах участки для постановки поисков на алмазы.

На территории Архангельской области за пределами Зимнебережного района имеется ряд перспективных территорий для проведения ПМР на алмазы за счет бюджета РФ. В качестве примеров – Койдинская и Устьянская площади.

Койдинская площадь. Структурно-тектонические критерии. Мурманский блок, Кулойский выступ. Борт авлакогена. Кольско-Беломорский блок относительно стабильной литосферы. Глубина залегания фундамента 0,7–1,5 км, эрозионной поверхности V_2 – 100–200 м, P_2 – 40–60 м.

Магматические критерии. В 50–60 км к ЮЗ расположен Зимнебережный алмазоносный район с известными телами щелочно-ультраосновного состава.

Геофизические критерии. В пределах ЮВ части площади, по данным МТП, предполагается наличие мантийного поднятия. Положительная региональная площадная аномалия имеет сложное строение, обусловленное морфологией и наличием нескольких максимумов, распадаясь на две аномальные зоны различных направлений. В региональном магнитном поле территория расположена в области трех магнитных максимумов.

Минералогические критерии. Площадь работ минералогически не охарактеризована. Предложена для поисковых работ на алмазы за счет бюджета РФ в 2022 г. Отклонена по причине отсутствия прямых признаков алмазоносности и не готовности для поисковых работ.

Устьянская перспективная площадь. Морфоструктурный и тектонические критерии. Устьянская структура расположена в краевой, восточной части архейского кратона (Шенкурского),

в зоне влияния двух авлакогенов Онежского (СЗ простирания) и Среднерусского (СВ простирания), на участке ступенеобразного выполаживания крутого погребенного склона Балтийского щита. Морфоструктура центрального типа выделена рядом исследователей (В. В. Соловьев, А. С. Горшков, Ю. К. Голубев, В. А. Варламов, А. А. Фельдман) в виде купольного поднятия в верхней части осадочного чехла [1]. Глубина залегания кристаллического фундамента 1,5–2,5 км, поверхности Мохо 33–35 км.

Геофизический критерий. В геофизическом плане структура характеризуется совмещением в своей центральной, наиболее приподнятой части крупной изометричной положительной магнитной аномалии низкой интенсивности (в окружении линейных и локальных высокоинтенсивных аномалий разного знака) и крупной положительной гравитационной аномалии. Это может указывать на существование под структурой мантийного диапира (или магматического очага мантийного заложения).

*Минералогический критери*й. Аллювиальные отложения района содержат сотни тысяч зерен ИМК. ИМК четко разделяются на 2 группы и связаны с разными типами щелочно-ультраосновного магматизма [2].

Большая часть низкохромистых пиропов и хромшпинелидов хорошо окатана, связана с промежуточным коллектором – песчаниками P_2nu. Эти пиропы и хромшпинелиды указывают на присутствие в районе внутрипермских слабоалмазоносных кимберлитов.

Особую поисковую значимость имеют неокатанные ИМК ближнего сноса, указывающие на возможность присутствия в районе кимберлитов. При этом наибольший интерес представляют неокатанные зёрна пиропа, содержание которых в аллювии района в 3–5 раз выше, чем в алмазоносном районе Зимнего Берега. Пиропы ближнего сноса резко отличаются от пиропов пермского коллектора характером поверхности, отсутствием признаков механического износа, более крупными размерами (класс крупности -1+0,5 и -2+1 мм).

Характеризуются высокой хромистостью (Cr_2O_3 до 14 %) и высокой долей алмазной ассоциации группы G10 (около 10 % в ореолах), что типично для алмазоносных кимберлитов. Характерны для безильменитовых кимберлитов – это месторождение им. Ломоносова, Снэп Лейк в Канаде, кимберлиты Накынского поля в Якутии. Концентрируются, прежде всего, в западной и северо-западной, наиболее приподнятой части Устьянской морфоструктуры, к этой же зоне приурочено и большинство зёрен кимберлитовых хромдиопсидов.

Наряду с благоприятным сочетанием поисковых предпосылок первостепенное значение для подтверждения возможного развития в районе проявлений алмазоносного кимберлитового магматизма имеет непосредственный его поисковый признак – присутствие кристаллов алмаза. На площади работ обнаружено 13 кристаллов алмазов, 9 из которых на площади менее 100 км^2.

Самый крупный кристалл алмаза ювелирного качества (класс -4+2 мм, размер 3,8 × 3,4 × × 3,0 мм, вес 52 мг, ¼ карата) обнаружен в шлиховой пробе из моренных суглинков при опробовании копуша.

Все выявленные кристаллы алмазов были всесторонне изучены с сопоставлением их свойств с известным аналогами месторождений мира.

По данным ИК-спектроскопии, кристаллы алмаза характеризуются резко различными концентрациями азота в А-форме (46–1300 at.ppm), при резко пониженной степени агрегированности азота (%NB = 8,4–17,8 – 3 кристалла спектрального типа IaAB), присутствием кристаллов, у которых азота в форме «В» нет вообще (%NB = 0–4 кристалла типа IaA), а также присутствием даже в такой небольшой выборке «безазотного» кристалла типа IIa.

Общей особенностью кристаллов участка наряду с резко пониженной степенью агрегированности азота являются также очень низкие концентрации плейтелетс (Р-центр = 0–3,8 см$^{-1}$) и водорода (0–1,07 см$^{-1}$). Кроме того, все кристаллы не флюоресцируют в лучах ультрафиолетовой лампы УФ ДВ/КВ Eickhorst MULTISPEC, ни в длинноволновом (366 nm), ни в коротковолновом (254 nm) режимах освещения.

Общие характеристики кристаллов:

- обнаружены в пробах минимального объёма (0,02–2 м^3). 9 кристаллов алмаза общим весом 74,5 мг, средним весом 8,3 мг, с максимальным размером 3,8 мм, максимальным весом 52 мг;
- кристаллы крупного размера (класс крупности -4+0,5 мм);

• очень разнообразны по морфологии: плоскогранные октаэдры, додекаэдроиды, октаэдроид, тетрагексаэдроид, поликристаллический сросток;

• значительную долю (1/4) составляют крупные кристаллы октаэдрической формы;

• кристаллы ювелирные, высокого качества – прозрачные, бесцветные, без следов механического износа и признаков древности.

Район максимальной встречаемости находок кристаллов алмазов – СЗ Устьянской структуры, совпадает с ореолом изоконцентраций ИМК ближнего сноса. Там же располагаются не заверенные бурением аномалии 1-й очереди по магнитности и электрическим свойствам.

Основные выводы по проблематике открытия новых алмазоносных объектов на севере ВЕП в пределах Архангельской области сводятся к следующим.

1. Отсутствие новых, относительно недорогих технологий поисковых работ на алмазы.

2. Необходимость привлечения ведущих специализированных институтов в разработке и опытно-методических работах на известных алмазоносных объектах по инновационным методам поисков на алмазы за счет бюджета РФ.

3. Необходимость контроля со стороны государственных органов за ходом ГРР по поисковым лицензиям согласно заявленным объемам и календарным планам работ.

4. Введение прогнозно-минерагенических работ за счет бюджета РФ на крупных перспективных объектах, которые должны предварять стадию поисков, особенно на недостаточно изученных территориях.

5. По результатам ПМР, с выделением перспективных для выявления алмазоносных тел локальных участков (групп кустов, полей), проведение поисков в пределах этих таксонов не только за счет государства, но и с активным вовлечением частных юниорных компаний.

6. Обратить внимание на проблему пермско-триасового магматизма в пределах ВЕП, что, вероятно, приведет к открытию нового алмазоносного района(ов). Пример – Устьянская перспективная площадь.

7. Переоценить ресурсы алмазов Архангельской области, которые в настоящее время по данным ЦНИГРИ составляют 700 млн карат, что не отражает реальный алмазоносный потенциал перспективных участков.

Список литературы:

1. Рыжкова В. М., Соловьев В. В. Карта морфоструктур центрального типа территории СССР. – Л. : Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1982.
2. Саблуков С. М. Материалы презентаций по Устьянской перспективной площади. 2011–2020.

Лихоман О. А.
СГУ, г. Саратов

РОЛЬ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ОБРАЗОВАНИИ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА (ОРЕНБУРГСКИЙ УРАЛ)

Колчеданные месторождения, бесспорно, являются коренными источниками золота и играют значительную роль в образовании россыпей, содержащих богатые запасы золота. На территории Оренбургского Урала колчеданные месторождения и проявления, в значительной мере обогащенные золотом, распространены широко. Вокруг них прослеживаются устойчивые шлиховые ореолы золота с кондиционным его содержанием в шлиховых пробах.

Ключевые слова: золото, рудный карст, железные шляпы, коренные источники, структуры.

Основные запасы золота, равные или несколько превышающее запасы других типов месторождений вместе взятых, сосредоточены в собственно колчеданных, серно-медно-цинковых месторождениях и их железных шляпах [1, 7]. В большинстве случаев золото (вместе с серебром) может извлекаться из колчеданных месторождений попутно без дополнительных затрат в количествах больших, чем дают многие собственно золоторудные месторождения. Рудоконтролирующими структурами этих метасоматических сульфидных месторождений являются зоны

повышенной трещиноватости, проницаемости, узлы пересечения разного порядка дизъюнктивных нарушений, контакты пород различной компетентности. Для большинства месторождений этого типа отмечаются две особенности: приуроченность их к вулканогенным отложениям существенно андезито-базальтового состава; широкое развитие предрудноизмененных пород, особенно вторичных кварцитов, зон серитизации и пропилитизации. Наблюдается определенная связь многих колчеданных месторождений с интрузивным магматизмом, и установлен их позднегерцинский возраст. Вокруг колчеданных месторождений и проявлений прослеживаются устойчивые шлиховые ореолы золота с кондиционным его содержанием в пробах. Золото в колчеданных россыпях мелкое (0,004–0,3 мм), в зоне гипергенной проработки оно укрупняется до 1,5–2 мм и до самородков весом в несколько килограммов (М. Н. Альбов, 1960; В. М. Красников, Р. С. Сейфулин, 1967; Н. А. Росляков, 1986; Г. В. Нестеренко, В. А. Воротников, М. Н. Николаев, 1986; В. А. Тищенко, 1986). Среднее содержание золота в рудах колчеданных месторождений 0,5–1,5 г/т, в колчеданных полиметаллических рудах увеличивается до 10–20 г/т, реже до 100–200 г/т (Яман-Касы).

Колчеданные месторождения на Южном Урале сосредоточены в западной и восточной частях Магнитогорской зоны, в меньшей мере в ее обрамлении. Месторождения локализуются в рудоносных вулканических поясах: Кракинско-Медногорский (Блявинский), Тубинско-Гайский (Таналыкский), Южно-Ирендыкский, Джусинско-Домбаровский, Бакоузяк-Сибайский, Учалинско-Александровский, Карабакский, Ащебутакский. По составу и геологическому положению колчеданные месторождения принадлежат к типам: уральскому – медно-цинковому; домбаровскому – медному; баймакскому – золото-полиметаллическому; ивановскому – кобальт-медному. Колчеданные месторождения залегают в базальтовом, базальт-риолитовом, базальт-андезит-риолитовом вулканогенных комплексах натриевого профиля на трех стратиграфических уровнях: 1 – ордовикско-силурийском, 2 – раннедевонско-эйфельском, 3 – среднедевонском.

На территории Орского Зауралья ореолы рассеяния золота, связанные с многочисленными колчеданными, медно-колчеданными и колчеданно-полиметаллическими рудопроявлениями и месторождениями, располагаются в виде трех полос различной ширины и направления. Самая протяженная из них, в западной своей части шириной 10–20 км, прослеживается в меридиональном направлении. На севере она начинается от среднего течения р. Б. Караганка, далее к югу проходит через р. М. Караганка, верховье и среднее течение р. Якши-Акжар, по р. Кумус-Тюбе, через среднее течение р. Джуса, по рр. Караганды-Сай и Акжарке, среднему течению р. Камсак, верхнему течению р. Домбаровка к верховью р. Кугутык. Золото крючковатое и шишковидное наблюдается в ассоциации с киноварью, пиритом, баритом. В тектоническом отношении полоса ореолов рассеяния совпадает с Ащебутакским и Теренсайским антиклинориями, сложенными вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями нижнего и среднего девона, верхнедевонскими и нижнекаменноугольными терригенными и терригенно-карбонатными. В пределах Ащебутакского и Теренсайского антиклинориев в связи со слабыми неотектоническими движениями золото не образует протяженных ореолов рассеяния и лишь незначительная его часть выносится в реки. Чаще всего оно оседает в непосредственной близости или на небольшом удалении от первоисточников, над ними или вокруг них формируются элювиальные и делювиальные россыпи. Практическое значение эти россыпи имеют на участках проявления железных шляп и закрытого рудного карста. Характерными признаками железных шляп являются обильные развалы лимонитов. Рудный закрытый карст в большинстве случаев прослеживается в рельефе по понижениям, сопровождающимся солонцами и грязевыми вулканчиками. Перспективными в отношении обнаружения золотоносных россыпей, связанных с разрушением сульфидных проявлений и месторождений колчеданного типа в пределах Ащебутакского и Теренсайского антиклинориев, являются: бассейн среднего течения р. М. Караганка, верхнее течение р. Якши-Акжар, левобережье р. Караганды-Сай, бассейны оврагов Караус, Джегутла, Качкарское, верховье рр. Тюлькубай и Акжарка, среднее течение р. Камсак.

Вторая, более широкая полоса ореолов рассеяния золота в северной части Орского Зауралья, протягивается с северо-востока на юго-запад, охватывая верхнее течение р. Суундук, ее притоки Рымниковский, Безымянку, Солончатку, Байтук, Каинды, нижнее течение рр. Урус-Кискен, Джар-Бутак, Джуса, Крыкла, верхнее течение р. Кара-Бутак и др. Золото в шлихах

пластинчатое, чешуйчатое, лепешкообразное, чечевицеобразное, крючковидное, шишковидное, дендритовидное, древовидное. Анализ данных по картировочному бурению, геоморфологической съемке и шлиховому опробованию бассейна верхнего течения р. Суундук позволяет считать район распространения отложений древней олигоцен-миоценовой долины перспективным на обнаружение кондиционных россыпей золота [2–6]. Участок левобережья верхнего течения р. Байтук, связанный с железными шляпами и закрытым рудным карстом, наиболее интересен и перспективен на обнаружение элювиальных россыпей золота. Полоса развития лимонитов с сульфидной минерализацией сопровождается ореолами рассеяния золото-киноварь-пирит-баритовой ассоциации.

Третья полоса ореолов рассеяния золота шириной 30–40 км прослеживается от верховий р. Урус-Кискен и правых притоков верхнего течения р. Джарлы через рр. Джарбутак, Джангыз-Агач, Бостыбай, Кайракты к верхнему течению рр. Кумак, Киембай и среднему течению р. Ушкота. Большинство ореолов рассеяния золота этой полосы тяготеет к зонам региональных разломов, контактам интрузивных тел с вмещающими породами и к жильным образованиям. В пределах Аниховской грабен-синклинали (бассейн рр. Джагыз-Агач, Бостыбай и верховье р. Кайракты) и Сары-Обнинской синклинали (верховье р. Сасык-Сай) золото в шлихах наблюдается совместно с киноварью, пиритом, халькопиритом, шеелитом. Ореолы рассеяния тяготеют к зонам ожелезнения и окварцевания среднедевонских эффузивов и нижнекаменноугольных вулканогенно-осадочных пород. В ореоле рассеяния золота, протяженностью до 10 км в районе верхнего течения р. Киембай вблизи Еленовского медно-молибденового месторождения, золото наблюдается совместно с халькопиритом и турмалином.

Источником золота на территории Орского Урала, как и в пределах Орского Зауралья, являются колчеданные рудопроявления и месторождения. Ореолы рассеяния такого золота встречены по рр. Сакмаре, Таналыку, Туратке, в районе их слияния, в нижнем течении р. Макан, по мелким рекам вокруг Гайского и Блявинского колчеданных месторождений, в бассейне верхнего течения рр. Киндерли и Чебакла и в нижнем течении р. Киргильды-Сай. Золотоносность современного аллювия этих рек известна с начала 20 столетия. По р. Таналык, аллювий которой отличается значительными запасами золота и платины, добыча россыпного золота велась с 1908 по 1924 гг. (Н. К. Высоцкий, 1925). Неокатанные и угловато-окатанные зерна золота размером 0,5–2 мм указывают на незначительный транспортный путь его от коренных источников. Протяженные и выдержанные ореолы рассеяния (5–6 км) позволяют сделать вывод, что в бассейне р. Чебаклы в современных условиях происходит формирование аллювиально-делювиальных и аллювиальных россыпей золота.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что колчеданные месторождения и проявления на территории Оренбургского Урала, бесспорно, играют значительную роль в образовании россыпей, содержащих значительные запасы золота. Существование указанной взаимосвязи резко повышает потенциальные возможности Оренбургского Урала на россыпное золото. Для определения перспективности колчеданных зон Оренбургского Урала, как источников золота, необходима постановка детальных ревизионных и оценочных работ, предшествующим поискам.

Список литературы:

1. Бородаевский Н. И., Левита Г. М. Типовые условные обозначения и методика составления среднемасштабных карт прогноза на золоторудных месторождениях эвгеосинклинальных золоторудных провинций (на примере Урала). – М. : ЦНИГРИ, 1975. – 61 с.
2. Лихоман О. А. Актуальные проблемы геологии Внешней зоны Южного Урала // Материалы 13 Уральского литологического совещания. От анализа вещества к бассейновому анализу. – Екатеринбург : ИГГ УРО РАН, 2020. – С.128–130.
3. Лихоман О. А. Актуальные проблемы металлогении ртути Южного Урала // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 453, № 2. – С.176–179.
4. Лихоман О. А. Золотоносность Саринского россыпного района (Южный Урал) // Россыпи и месторождения кор выветривания XXI века: задачи, проблемы, решения. Материалы XVI Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания – Воронеж, 2021. – С. 54–56.

5. Лихоман О. А. Шлиховое опробование как эффективный метод поисков и прогнозирования россыпных и коренных месторождений // X Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 131–133.
6. Тищенко В. А. Геологические условия формирования и распределения россыпей в мезозойских и кайнозойских отложениях Оренбургского Урала: специальность 04.00.01 : дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Тищенко Виталий Андреевич. – Ленинград, 1987. – 247 с.
7. Флеров И. Б. О россыпеобразующей способности золоторудных формаций и их роли в питании россыпей / Условия формирования, методика изучения и поиски россыпных месторождений золота. Труды ЦНИГРИ. Вып. 158. – М. : ЦНИГРИ, 1981. – С. 3–12.

Лось В. Л.
АМР РК, г. Алматы

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО, МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКРЫТЫХ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассматривается задача повышения продуктивности прогнозирования скрытых рудных объектов. Намечены перспективные направления развития знаний, информационной основы и технологий прогнозирования.

Ключевые слова: прогноз, рудные месторождения, знания, информация, технологии прогноза, математические и компьютерные модели, нейросети.

Задача прогнозирования скрытых рудных объектов для восполнения и расширения минерально-сырьевой базы остро стоит в Казахстане и во многих других странах. При этом необходимо ориентироваться, т. е. использовать соответствующие знания, информацию и технологии, на выявление рудных объектов с низким статусом открываемости. Развитие операций прогнозной оценки недр предполагает:

• повышение уровня ***знаний*** об условиях формирования и закономерностях размещения рудных объектов в геологической среде;

• наличие ***информации*** о недрах (физических и виртуальных характеристиках геологической среды и геологических систем), позволяющей в принципе решать задачу прогноза тех или иных типов полезных ископаемых;

• существование и владение ***технологиями***, преобразующими знания и информацию в прогнозную оценку недр.

1. Знания являются результатами познавательной деятельности. Они представлены аксиомами, моделями, гипотезами, различными закономерностями, представлениями и, возможно, даже просто стереотипами. Знания развиваются и уточняются за счёт новой информации (данных), новых методов обработки и интерпретации накопленной информации, взаимодействия с другими научными направлениями.

В качестве аксиомы можно принять, что физической основой формирования рудных объектов в геологической среде являются перемещение, ассоциация, дифференциация химических элементов (в частности, металлов с низкими кларками). Фиксация проявления этих процессов различными методами создает предпосылки прогноза и поисков рудных объектов с низким статусом открываемости. Перераспределение элементов в геологической среде характеризуется когерентным, самосогласованным поведением. Системы с таким поведением составляющих их элементов описываются на основе принципов синергетики и приводят к возникновению разномасштабных стационарных состояний, формированию широкого спектра диссипативных структур и низкоэнтропийных объектов [3].

Базовой моделью рудообразования, объединяющей многие металлогенические гипотезы и представления (знания), может служить модель формирования рудных объектов в процессе

перераспределения элементов в геологической среде «на месте» [4]. Такое перераспределение приводит к полярному структурированию полей концентрации рудных и других элементов с образованием областей выноса и накопления элементов, при котором рудные месторождения располагаются в областях накопления (или их ближайшей периферии).

Перспективным направлением повышения уровня знаний об условиях формирования и размещения рудных полезных ископаемых с их включением в систему прогнозирования скрытых рудных объектов является имитационное моделирование рудообразования. Оно включает построение и исследование математических, алгоритмических, компьютерных моделей процессов и систем рудообразования. Уже первые опыты такого моделирования (на простых моделях) показали, что они позволяют получить новую информацию о закономерностях рудообразования [4].

Как пример рассмотрим моделирование структурирования полей концентрации элементов при случайном множестве процессов массопереноса вещества [2]. Принятые базисные предпосылки позволили построить модели этого процесса. Математическая и компьютерная модели (программа Cells_2010) представляет замкнутую геохимическую систему, на каждую точку которой действует случайная внешняя сила. Предположим, что следствием действия таких сил является возникновение массопереноса вещества (из отдельных точек системы в различных направлениях) со случайными скоростями V_x и V_y, распределёнными равномерно как по модулю, так и по направлениям. Пусть часть вещества системы находится как в подвижном состоянии (в растворе), так и в твёрдой фазе (может выпадать из раствора в неподвижное состояние). Не нарушая общности дальнейших рассуждений, примем, что обмен между этими фазами вещества осуществляется согласно закону обратимых реакций первого порядка. По результатам имитационного моделирования можно сделать следующие выводы (рисунки 1 и 2):

- случайный процесс массопереноса элементов в геологической среде приводит к структурированию полей концентрации и появлению в них структур повышенных и пониженных концентраций;
- возникшая структура поля концентраций неподвижной фазы (q) сохраняет устойчивость, которая усиливается по мере развития процесса перераспределения вещества во времени;
- максимальные значения концентраций неподвижной фазы в положительных аномалиях со временем растут, а минимальные значения в отрицательных аномалиях уменьшаются;
- положительные и отрицательные аномалии концентраций неподвижной фазы часто ассоциируют в пространстве;
- в структуре распределения концентраций неподвижной фазы имеются черты сходства со структурой статистического распределения металлов в геологической среде (зоны выноса и накопления металлов, наличие резко положительных аномальных концентраций в очень небольшом количестве точек).

Заметим, что построение и исследование более сложных моделей рудообразования потребует использования суперкомпьютеров.

2. Информация, на основе которой решается задача оценки недр на рудные полезные ископаемые, представляет собой набор характеристик геологической среды, измеряемых (оцениваемых) с помощью различных методов. Начальный выбор характеристик опирается на знания об условиях формировании и закономерностях размещения рудных объектов в геологической среде. Из рассмотренной выше базовой модели рудообразования вытекает достаточно очевидное следствие: наиболее простыми, фундаментальными и информационно важными характеристиками геологической среды при прогнозе рудных объектов являются концентрации химических элементов. Картирование полей концентрации элементов и особенно полей концентрации подвижных форм элементов создает наиболее естественную информационную основу прогнозирования (не исключая использование данных о составе и структуре породных комплексов, геофизических полях и аномалиях, тектонических нарушениях и др.). Сами рудные месторождения представляют собой участки геохимического поля с резко повышенными содержаниями рудных элементов. Отсюда ясно, что все геологические процессы связаны с процессами формирования рудных объектов через соответствующие поля концентраций (геохимические поля).

Развитие информационного обеспечения оценки недр на рудные полезные ископаемые заключается не только и, возможно, не столько в расширении круга характеристик геологической

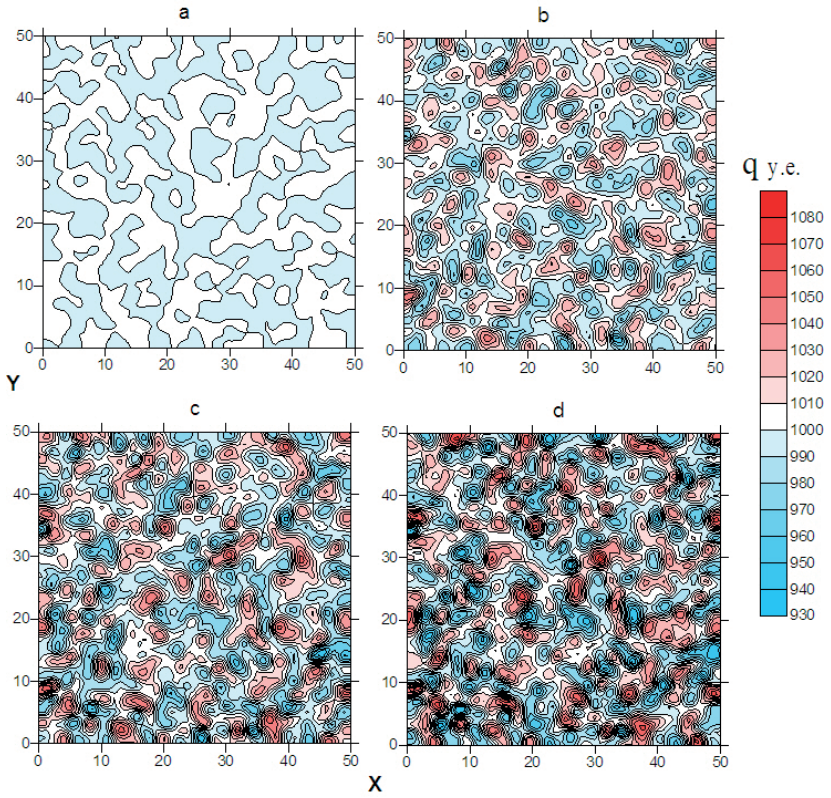


Рис. 1. Структура полей концентрации неподвижной фазы (q) после 10 (a), 100 (в), 200 (c) и 400 (d) условных единиц времени процесса перераспределения вещества (при t = 0, концентрация q во всех точках 1000 у.е.)

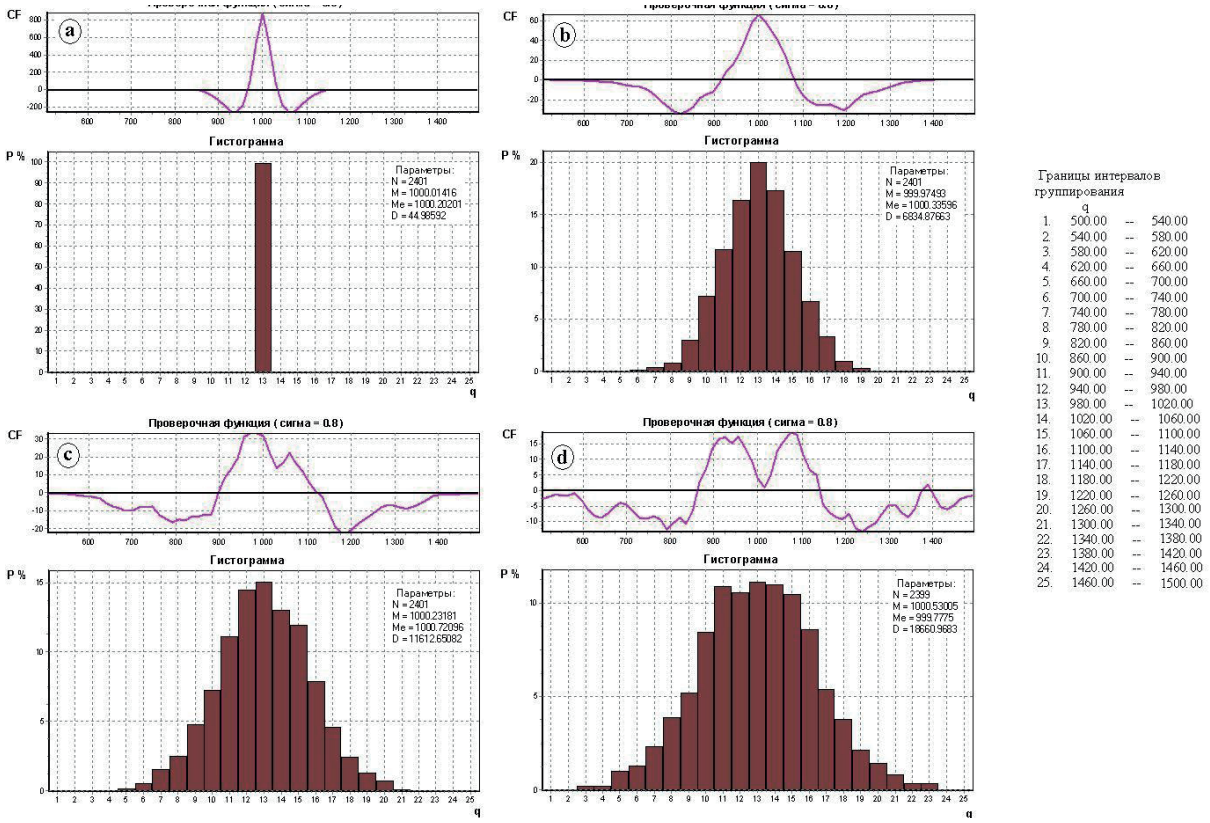


Рис. 2. Гистограммы распределения значений q после 10 (a), 100 (в), 200 (c) и 400 (d) условных единиц времени процесса перераспределения вещества

среды. Важным представляется построение и использование иерархической системы цифровых моделей геологического пространства (GSM), когда все характеристики с помощью процедур аппроксимации, экстраполяции, решения обратных задач и, возможно, томографии преобразуются в математические поля в соответствующих координатах. Эти модели должны строиться в координатах XY (стартовый вариант), XYZ, XYT, XYZT, где X, Y, Z – геометрические координаты пространства, T – координата времени. GSM включают и объединяют математические поля следующих групп характеристик геологической среды:

- физические характеристики (характеристики 1-го рода);
- виртуальные (производные) характеристики (характеристики 2-го рода).

Физические характеристики могут быть непосредственно измерены или оценены (содержания элементов, типы горных пород, гравитационные и электромагнитные поля). Некоторого пояснения требуют виртуальные характеристики. Они не могут быть измерены непосредственно и строятся на основе связи с какими-то физическими характеристиками, некими знаниями или субъективными представлениями и целями их конструирования. Например, виртуальными характеристиками являются соотношения содержаний элементов, геохимические ассоциации, породные формации, плотность тектонических нарушений, результаты любого районирования, поля плотности оруденения и т. д.

Перспективные направления развития информационного обеспечения прогнозирования рудных полезных ископаемых:

1. Выделение, описание и моделирование диффузных систем или систем с «плохо организованной структурой».

2. Решение томографических задач (особенно для полей скалярных характеристик).

3. Развитие методов построения и целевая оптимизации моделей целевых и прогнозирующих характеристик геологического пространства (оптимизация на основе фундаментального принципа «корреляция кодирует информацию»).

3. Технологии (методы, способы) прогнозирования преобразуют знания и информацию в целевые характеристики прогнозирования. В настоящее время методы прогнозных оценок недр в основном опираются на субъективные экспертные суждения (что не всегда плохо), на простые линейные аналогии (не всегда адекватные реалиям), на суммирование рудоконтролирующих факторов. По нашему мнению, необходимо срочно, пока эта ниша не потеряна (как произошло с системами подсчёта запасов) приступить к разработке технологической системы цифрового прогнозирования, ориентированной на выявление скрытых рудных объектов.

Обратим внимание на некоторые операции, разработка которых крайне желательна и даже необходима для современных технологий цифрового прогнозирования. Характеристики геологической среды, с которыми мы имеем дело при прогнозировании, являются пространственными переменными, поэтому перспективным направлением в прогнозировании рудных полезных ископаемых является методика анализа взаимосвязи характеристик геологической среды с учетом их пространственной природы на основе следующего (или других) функционала:

$$COR = \{[S(Yb) \cdot \cap S(Xb)] / [S(Yb) \cdot S \cdot (Xb)]\} * [i(Yb) + i(Xb)],$$

где S(Yb), S (Xb) – длины, площади или объемы, в которых характеристики Y и X больше Yb и Xb; i(Yb), i(Xb) – Шенноновская информативность $i = -\ln P$, P – вероятность Y и X больше Yb и Xb.

Использование методов выявления и описания пространственных переменных потенциально может обеспечить получение значительно большего объёма целевой информации при прогнозировании рудных полезных ископаемых из исходной информации, представленной моделями прогнозирующих характеристик геологической среды.

Учитывая всё больший объем получаемой для прогнозирования рудных полезных ископаемых информации, который увеличится на порядок и более с введением в эту операцию моделей геохимических полей, методов описания диффузных систем и томографии, уже сейчас необходимо приступить к разработке и использованию ***технологий искусственного интеллекта***. Алгоритмическая основа специализированного искусственного интеллекта в области геологии (геохимии) может быть основана на распознавании образов и, главное, ***нейросетях***. Необходимость использования технологии искусственного интеллекта при цифровом прогнозировании рудных объектов связана с тем, что в больших диффузных системах геологической среды содер-

жится большое число «рудных» подсистем разных иерархических уровней, полное выделение которых традиционными методами затруднительно. Искусственный интеллект будет помогать специалистам при принятии решений о перспективности «рудных» подсистем.

В качестве примера покажем применение разработанной нейросетевой программы для прогноза плотности медного оруденения (виртуальная характеристика DCu) в Жезказганском рудном регионе (ЖРР) [1]. Информационной основой прогнозирования служили модели полей содержания подвижных форм (метод МПФ) 21 элемента, покрывающих всю территорию (отчёт «Геохимическое картирование закрытых площадей (Жезказганский рудный район, площадь работ – 137,0 тыс. км^2)». В рассматриваемом примере 42 входных параметра (модели распределения содержаний подвижных форм элементов 2-х степеней генерализации), 1 выходной параметр (плотность медного оруденения DCu), число точек (в них заданы параметры) – 5517. Поставленная задача – сформировать и обучить искусственную нейронную сеть для определения значений целевой функции DCu. Для обучения была определена случайная выборка из 550 ячеек. Архитектура разработанной нейросети – многослойный персептрон. Обучение с учителем выполнялось с помощью обратного распространения ошибки.

Визуальные результаты вычисления плотности медного оруденения DCu (в у.е.) показаны на рисунке 3. По результатам вычислений можно сделать следующие выводы:

- искусственные нейронные сети обладают хорошими аппроксимационными возможностями и позволяют с высокой точностью обучаться на тренировочных выборках;
- использование нейронных сетей имеет высокий потенциал для решения задачи прогнозирования месторождений и может значительно уменьшить затраты на получение информации без существенной потери точности прогнозирования;
- нейронные сети могут стать основой разработки элементов искусственного интеллекта для всей цепочки операций прогнозирования (базой формирования инструментальной цифровой платформы прогнозирования полезных ископаемых).

Системное и непрерывное развитие научно-методологического и технологического обеспечения геологоразведочных работ на основе принципов междисциплинарности, математизации и цифровизации, продвижение в намеченных и других направлениях с высокой вероятностью приведёт к резкому повышению эффективности прогнозно-поисковых работ, ориентированных на выявление скрытых рудных объектов.

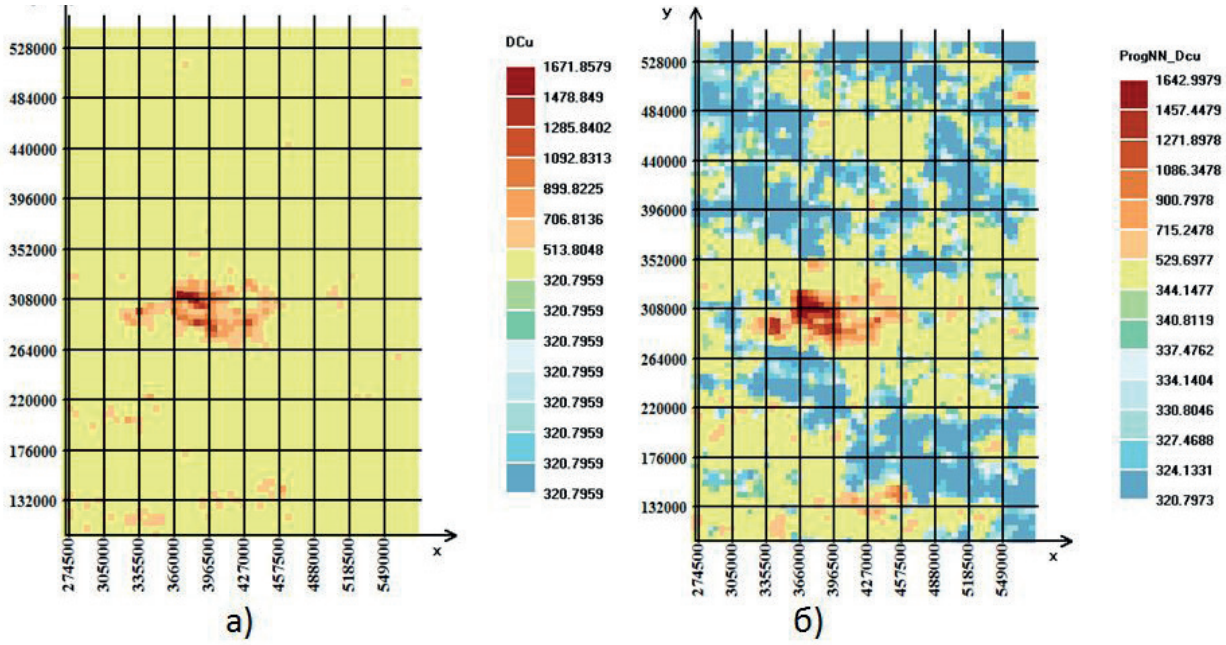


Рис. 3. Наблюдаемая плотность медного оруденения на территории Жезказганского рудного региона:

а – наблюдаемая плотность оруденения DCu; б – предсказанные значения плотности медного оруденения нейронной сетью

Список литературы:
1. Ахметов Д. Ш., Лось В. Л. Решение задачи прогнозирования оруденения с использованием искусственных нейронных сетей // Геология и охрана недр. – 2023. – № 1(83). (в печати).
2. Лось В. Л., Мурзадилов Т. Д. Структурирование полей концентрации элементов: предпосылки, имитационная модель, результаты // Геология и охрана недр. – 2011. – № 1(38). – С. 47–53.
3. Лось В. Л., Нарсеев В. А., Старостин В. И. Проблемы оценки недр на рудные полезные ископаемые // Геология и охрана недр. – 2015. – № 1(54). – С. 67–78.
4. Прогноз, поиски и моделирование рудных объектов // Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. – Алматы, 2008. – 466 с.

Мавлянов П. Н.[1], **Бакиев С. А.**[2]
[1] Кафедра геологии, Национальный университет Узбекистана;
[2] ГП «Институт ГИДРОИНГЕО»

К РЕЗУЛЬТАТАМ КАЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД СЕНОМАНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

В статье представлены результаты качественной характеристики термоминеральных вод сеноманских отложений. Результаты исследования показали, что бассейны воды гидрокарбонатно-хоридно-кальциево-магниевого типа сменяются гидрокарбонатно-натриевыми через переходную зону гидрокарбонатно-хлоридно-натриевых вод, формировавшихся в процессе смешения вод сеноманских отложений с водами, распространенными в отложениях палеогена, сенон-турона и нижнего мела.

Минеральные воды по содержанию кремнекислоты относятся к кремнистым минеральным питьевым лечебно-столовым водам.

Ключевые слова: Сеноманские отложения, минеральные воды, кремнистая вода, качественная характеристика, Приташкентский артезианский бассейн.

Изучение качественной характеристики термоминеральных вод является приоритетным направлением геологической науки, так как минеральные воды, содержащие полезные кремниевые минералы, давно привлекают внимание не только гидрогеологов, но и медиков.

Целью наших исследований являлась оценка качественной характеристики минеральных кремнесодержащих подземных вод сеноманских отложений.

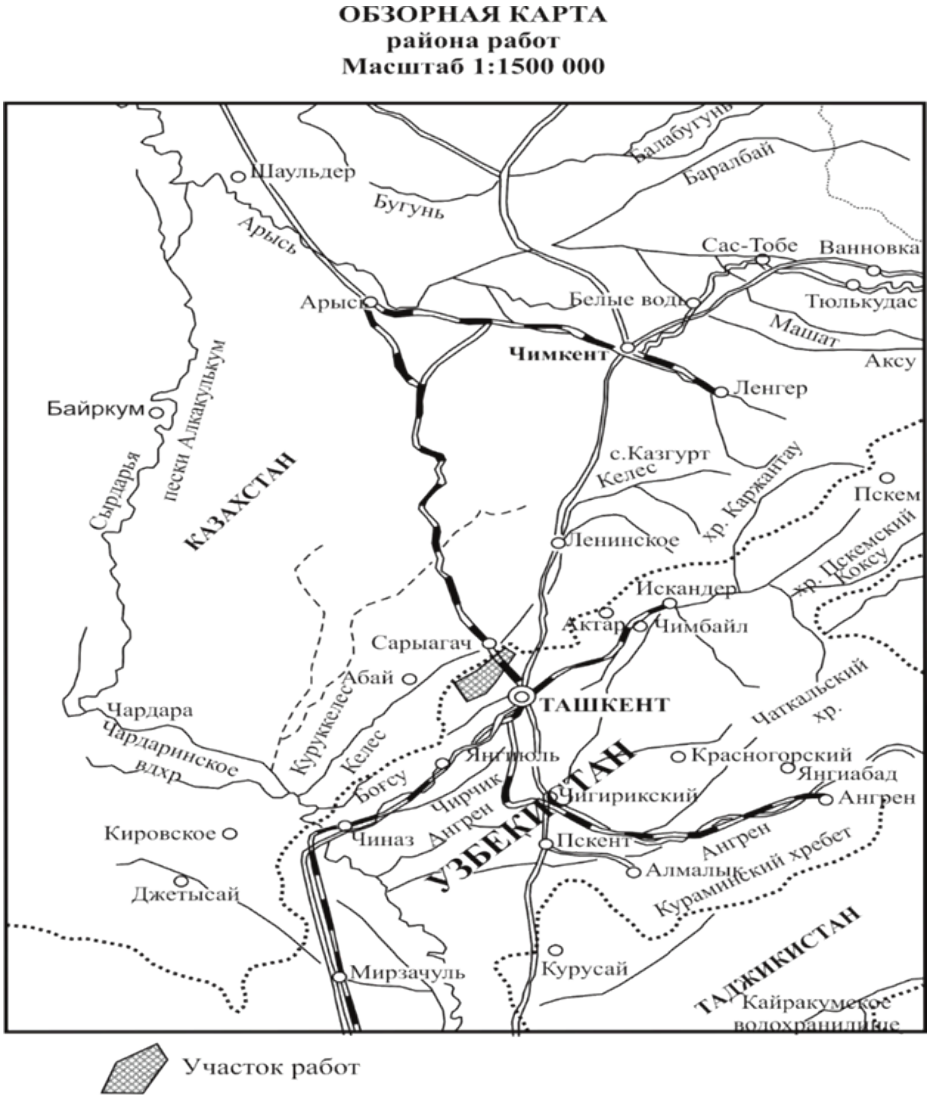
В течение последних трех лет совместно Приташкентской ГГЭ ГГП «Узбекгидрогеология» проводились режимные наблюдения по 23 скважинам, вскрывшим термоминеральные воды водоносного комплекса сеноманских отложений. В процессе режимных наблюдений отбирались пробы воды на макро- и микрокомпонентный состав термоминеральных вод. По результатам анализов воды составлена гидрохимическая карта Приташкентского артезианского бассейна масштаба 1 : 500 000 (рисунок), которая характеризует изменение качества термоминеральных вод по площади гидрогеологических блоков. Гидрогеохимические условия водоносного комплекса сеноманских отложений Приташкентского артезианского бассейна разнообразны и осложнены наложением или влиянием на них целого ряда факторов. Основными из них, оказавшими существенное влияние на формирование химического состава термоминеральных вод водоносного комплекса сеноманских отложений, можно считать геотектонические, интенсивность которых неоднократно менялась в различные этапы истории геологического развития рассматриваемого региона, сейсмические и техногенные (снижение напоров на 120–170 м).

Для большинства артезианских бассейнов наиболее общей гидрохимической закономерностью считается увеличение с глубиной минерализации подземных вод, сопровождающееся изменением их состава. Однако в данном случае эти закономерности нарушаются, и ниже зоны развития более минерализованных вод (в отложениях неогена и палеогена) обнаружены маломинерализованные (в отложениях сеномана) термоминеральные воды преимущественно

гидрокарбонатно-натриевого, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого (так называемые глубинные щелочные воды) и хлоридно-натриевого типа. Наряду с низкой минерализацией и высоким содержанием гидрокарбоната натрия эти первые два типа воды характеризуются своеобразным уровнем содержания фтора. Минерализация хлоридно-натриевого типа – от 1 до 3 г/л.

Присутствие этих вод в нижних зонах осадочного чехла Приташкентского артезианского бассейна и взаимодействие их с водами других горизонтов и комплексов обуславливают образование в разрезе водоносного комплекса сеноманских отложений бассейна инверсионной гидрохимической зональности.

Концентрация фтора в пределах данной зоны изменяется от 0,65 до 1,0 мг/л. Исключение имеют скважины 3 и 1тк, где содержание фтора составляет, соответственно, 1,2 и 1,4 мг/л.



Обзорная карта района работ

Зона хлоридно-натриевых вод расположена в Чирчикско-Голодностепской синклинальной зоне. Северной границей предположительно можно принять Чирчикский юго-восточный разлом.

Вся площадь зоны перекрыта мощной толщей мезокайнозойских отложений, что привело к уплотнению песчано-гравийной толщи сеномана.

Качественная характеристика рассматриваемой зоны дана на основе химического состава воды, полученной из скважины 1т Тузель (таблица).

Содержания тяжелых металлов в минеральных водах скважин 1 (5) и 2 (6) участка «Ташминводы» (2020 г.)

Заказ номер	Проба	№ скв	Содержание элементов, в мг/л												
			Hg	Al	As	Be	Mo	Mn	Pb	Ni	Se	Cu	Zn	Cd	Sr
148	9	1(5)	0,00002	0,028	0,004	0,00003	0,0027	0,0072	0,00032	0,00032	0,0011	0,0002	0,0002	0,00003	0,1
160	15	1(5)	0,000011	0,046	0,0054	0,00002	0,0029	0,0019	0,0004	0,0003	0,001	0,0003	0,0003	0,00007	0,1
148	10	2(6)	0,00006	0,027	0,012	0,00002	0,0056	0,0037	0,0004	0,0002	0,0007	0,0002	0,0002	0,00007	0,1
160	16	2(6)	0,00005	0,03	0,012	0,00002	0,0057	0,0015	0,0003	0,0002	0,0016	0,0002	0,0002	0,0004	0,1

Выводы:

1. Отмеченные особенности распределения фтора в значительной степени обусловлены изменениями основного солевого состава термоминеральных вод, так как высокие концентрации фтора приурочены к водам и гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого и гидрокарбонатно-хлоридно-кальциево-магниевого типов. Содержание фтора имеет тенденцию к росту с увеличением минерализации подземных вод и концентрации хлор-иона. Исключение имеет зона, где при относительно низкой минерализации и концентрации хлор-иона, наблюдается высокое содержание фтора (1,1 мг/л).

2. В целом в бассейне воды гидрокарбонатно-хоридно-кальциево-магниевого типа сменяются гидрокарбонатно-натриевыми через переходную зону гидрокарбонатно-хлоридно-натриевых вод, формировавшихся в процессе смешения вод сеноманских отложений с водами, распространенными в отложениях палеогена, сенон-турона и нижнего мела.

3. За период эксплуатации (50 лет) качество термоминеральных вод не претерпело существенных изменений. Исключение имеет зона гидрокарбонатно-сульфатно-натриевых вод, где произошло изменение качества воды под влиянием эксплуатации.

4. В целях бальнеологического лечения, питья минеральных вод и на розлив могут использоваться две скважины – 1 (5) и 2 (6).

5. Минеральная вода из скважин №1 (5) и 2 (6) по содержанию кремнекислоты относится к кремнистым минеральным питьевым лечебно-столовым водам.

Список литературы:

1. Абдуллаев Г. С., Хайитов Н. Ш., Шарафутдинова Л. П., Джалилов Г. Г. Особенности строения нижнепермских отложений, вскрытых на площади Сатбай скважиной 1 (Южный Устюрт) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2017. – Т. 12, № 4.– С. 1–15.
2. Абрамович С. Г., Куликов А. Г., Долбилкин А. Б. Бальнеотерапия хлоридными натриевыми минеральными водами при артериальной гипертонии // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2015 – Т. 14, № 1. – С. 47-52.
3. Ахмедов А. Г. Особенности формирования минеральных вод сеноманского водоносного комплекса Приташкентского артезианского бассейна // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-минерал. наук. – Ташкент : ГИДРОИНГЕО. – 1987.
4. Бакиев С. А. О некоторых изменениях химического состава Ташкентских минеральных вод в процессе их длительной эксплуатации // Научные труды ГИДРОИНГЕО, САИГИМС, Ташкент. – 1984. – С. 60–64.
5. Бакиев С. А., Ибрагимов А. С. Условия формирования кремнистых минеральных вод Приташкентского района // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. – Ташкент, 2014. – С. 376–378.
6. Барышников Г. Я., Елисеев В. А. Термальные лечебные воды кремнистого состава Алтае-Саянской горной страны // Наука о земле. – С. 41-47.
7. Бедер Б. А., Мавлянов Г. А. О путях широкого использования термальных подземных вод Приташкентского артезианского бассейна // Узбекский геологический журнал. – 1958. – № 5. – С. 61–68.

Малых О. Н.

ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОВ И НОВЫЕ ФАКТЫ В ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ ЮЖНОЙ АФРИКИ

При обработке кластерным анализом данных по примесям азота в алмазах крупных промышленных россыпей и кимберлитов Южной Африки был обнаружен вероятный источник россыпей устья р. Олифантс – трубки центральной части кратона Калахари (Орапа, Венеция, Джваненг).

Ключевые слова: алмазы, россыпи, кимберлитовые трубки, Южная Африка.

Концентрация азота (изоморфная примесь) в алмазах зависит от условий образования и является его типоморфной характеристикой. Соотношение общего содержания азота в кристалле (N_{tot}) и относительного содержание азота в В-форме (%NB) служит индикатором температурного режима его формирования.

Для исследований использовались данные инфракрасной спектроскопии алмазов из самых крупных промышленных коренных трубок и россыпей Южной Африки (ЮА) [6].

С помощью кластерного анализа (метод *к*-средних) на диаграмме N_{tot}/NB данные по алмазам трубки (россыпи) делились на кластеры, в каждом кластере рассчитывался центр. Качество кластеризации оценивалось по евклидовым расстояниям между кластерами, межгрупповой и внутригрупповой дисперсии, значению *F*-статистики и уровню значимости *p*. Подробнее методика описана в статье [1].

Оптимальное количество кластеров для каждого объекта определялось по качественным характеристикам кластеризации и полученным графикам. В результате были рассчитаны оптимальные центры кластеров для всех объектов исследования.

Для упрощения поиска связи между россыпями и трубками полученные центры кластеров были сгруппированы по степени географической близости на три–четыре группы. В каждой группе были вынесены центры кластеров на диаграмму N_{tot}/NB, причем кластеры по каждому объекту были разделены по удельному весу (доле в выборке по каждому объекту). Кластеры с максимальной долей в выборке были отнесены к 1-му классу, средней – ко 2-му и т. д. Далее поочередно каждая группа россыпей сравнивалась на диаграмме N_{tot}/NB с определенной группой промышленных трубок. Как наиболее представительные, в основном анализировались кластеры 1-го класса. Случаи, когда кластеры 1-го класса россыпи и трубки располагались рядом (или довольно близко), фиксировались и анализировались. Данные по кластерам с наибольшей площадью перекрытия были собраны в сводную таблицу. Россыпи и их вероятные источники из табл. 1 были вынесены на географическую карту (рис. 1).

Сводная таблица россыпей Южной Африки и их вероятных источников (по данным кластерного анализа примесей азота алмазов)

Район	Россыпи	Источники
Континентальные	Ноитгедахт	Венеция, Орапа
Устье р. Бюффельс	МК 5А	Кимберли
	Хондеклип (прибр.)	Премьер, Кимберли
Прибрежные, устье р. Олифантс	МК 12А, Де Пюнт	Орапа, Премьер
	МК 12А, Гелвал	Кимберли
	Граув Дюнен	
Морские, устье р. Олифантс	МК 11А	Орапа, Венеция, Джваненг, р. Райет
	МК 13А	Орапа, Венеция, Кимберли
	МК 12А	Орапа, Венеция, Летсенг
	МК 12А (глуб.)	Орапа, Венеция, Джваненг, р. Райет, Финч

Морские россыпи устья р. Олифантс оказались связаны со всеми «дальними» трубками, а также трубками верховий р. Оранжевой и трубкой Финч. Снос в морские россыпи устья р. Бюффельс уже шел с трубок Премьер и куста трубок Кимберли. Данные построения позволяют сделать предположение о направлении сноса из «дальних» трубок скорее всего в меловое время, когда восточный сегмент этой части континента был наиболее приподнят и шел интенсивный эрозионный снос материала из этих трубок палеорекой Кару.

Была сделана пробная проверка данных этих выводов по методике Г. К. Хачатрян [2], где сравнивали данные по частотам распределения NB алмазов морских россыпей района р. Олифантс (МК12А,13А) и трубками Орапа, Финч, Летсенг, Коффифонтейн, Джванег и Венеция (рис. 2).

На рис. 2 видно совпадение максимальных концентраций NB в алмазах из россыпи 12А и трубок Орапа, Финч, Летсенг, Коффифонтейн на уровне интервалов 0–50 и 100–150 ppm и из россыпи

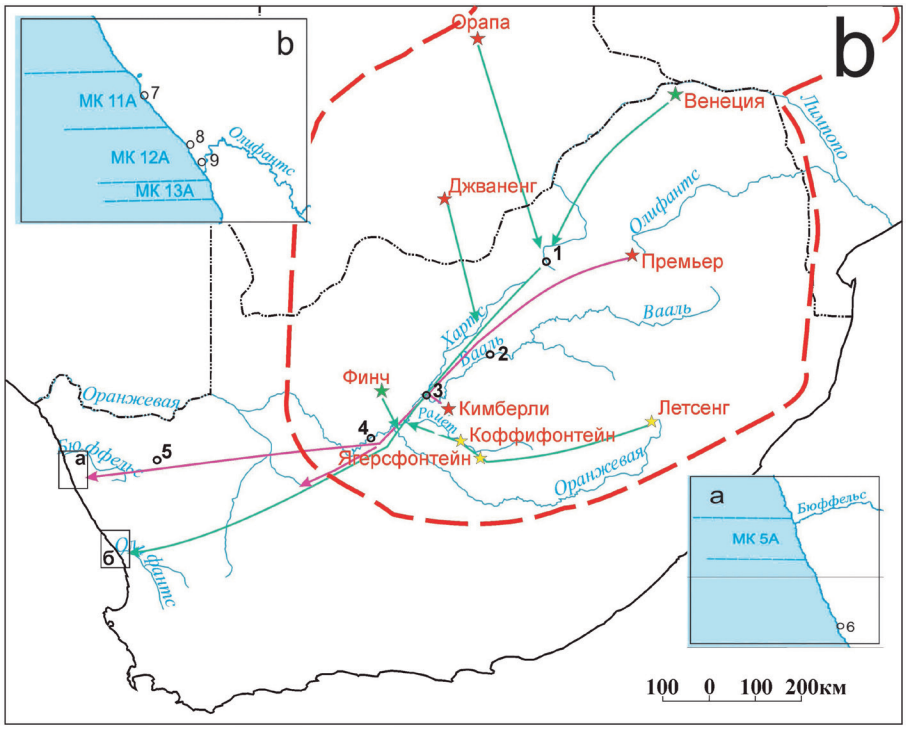


Рис. 1. Обзорная карта опробованных промышленных алмазоносных кимберлитовых трубок и россыпей ЮА с данными по структурным примесям азота в алмазах с направлениями рассеивания алмазов от основных коренных источников ЮА в мелу (постмеловое время), по [3, 4, 7]: 1 – россыпи: 1 – Ноитгедахт, 2 – Христиания, 3 – Сидней-на-Ваале, 4 – ср. течение р. Оранжевой, 5 – Бослуиспан, 6 – Хондеклипбаай, 7 – Граув Дюнен, 8 – Гелвал Карру, 9 – Де Пюнт; МК 5А – морские концессии по добыче алмазов, их названия и границы; 2 – площади прибрежных россыпей: а – устье р. Бюффельс, б – устье р. Олифантс; 3 – самые крупные алмазоносные трубки Южной Африки (и их названия) с суммарными запасами, млн кар: а – более 300, б – 100–300; в – менее 100; 4 – палеонаправления сноса алмазов: а – предположительно меловые, b – постмеловые; 5 – граница кратона Калахари

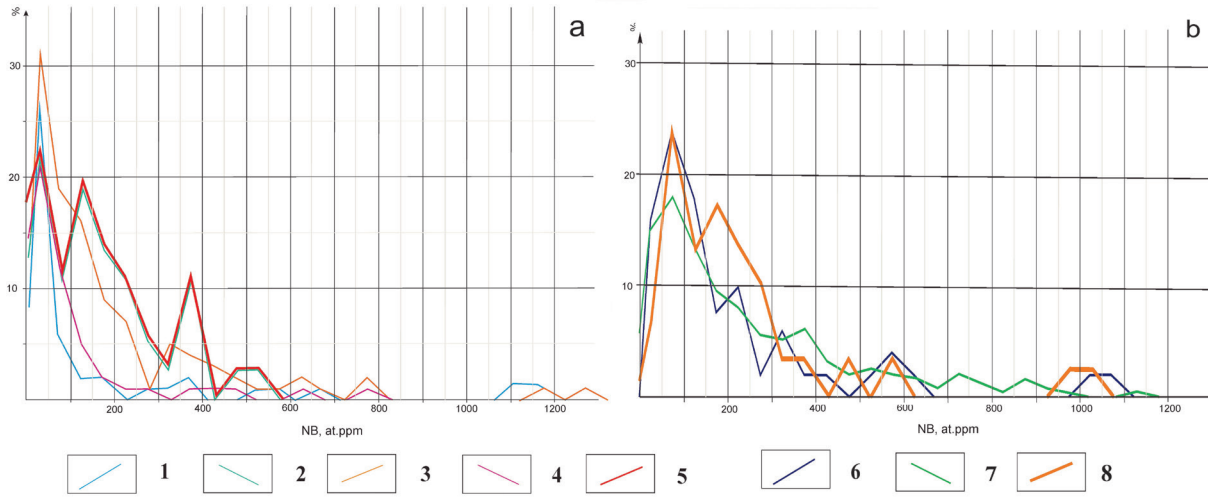


Рис. 2. Распределение азота в B-формах (NB, ppm) в алмазах:
a – из трубок: 1 – Финч, 2 – Летсенг, 3 – Орапа, 4 – Коффифонтейн, 5 – из россыпи морской концессии 12А; b – из трубок: 6 – Джваненг, 7 – Венеция, 8 – из россыпи морской концессии 13А

13А и трубок Джванег, Венеция на уровне интервала 50–100 ppm, что подтверждает сделанные предположения.

Еще одним доказательством связи трубки Орапа и россыпи МК12А служит форма кристаллов алмазов. Наиболее часто встречающейся кристаллической формой алмазов ЮА является додэкаэдр (реже – октаэдр). Редкие кубические алмазы янтарного цвета встречены в районе россыпи МК 12А (Граув Дюнен) [6]. А среди коренных алмазов кристаллы кубической формы, преимущественно желтого цвета, часто встречаются только среди алмазов трубки Орапа [5].

Автор не претендует на окончательность сделанных выводов. Необходимо сравнить алмазы трубок Орапа, Джваненг, Венеция с алмазами прибрежных россыпей р. Олифантс по другим параметрам ($\sigma^{13}C$, N и др.). Но на данном этапе исследований данных по этим параметрам в опубликованной литературе не удалось найти.

Список литературы:

1. Малых О. Н., A. Van der Westhuizen Кластерный анализ структурных примесей азота в алмазах Южной Африки: связь россыпей с коренными источниками // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 334. – С. 7–17.
2. Хачатрян Г. К. Азот и водород в алмазах мира как индикаторы их генезиса и критерии прогноза и поисков коренных алмазных месторождений : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. докт. геол.-минерал. наук / Галина Карленовна Хачатрян. – М. : ЦНИГРИ, 2016. – 254 с.
3. De Wit M. C. J. Post-Gondwana drainage and the development of diamond placers in western South Africa // Economic Geology. – 1999. – № 94 (5). – P. 721–740.
4. Du Toit A. L. The geology of South Africa. – London : Oliver & Boyd, 1954. – 611 p.
5. Field M., Stiefenhofer J., Robey J., Kurszlaukis S. Kimberlite-hosted diamond deposits of southern Africa: A review // Ore Geology Reviews. – 2008. – № 34. – P. 33–75.
6. Van der Westhuizen A. Provenance of alluvial diamonds in South Africa: a morphological and mineral chemistry study of diamonds and related heavy minerals from the Vaal-Orange system and the Weast Coast. Diss. Doct. of Philosophy. – University of Stellenbosch, 2012. – 394 p.
7. Visser J. N. J., van Niekerk B. N., van der Merwe S. W. Sediment transport of the Late Proterozoic glacial Dwyka Group in the southwestern Karoo Basin // South African Journal of Geology. – 1997. – № 100. – P. 223–236.

Малютина А. В.[1, 2]**, Дорошкевич А. Г.**[1]**, Жукова И. А.**[2]**, Прокопьев И. Р.**[1, 2]

[1] НГУ, г. Новосибирск; [2] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ЗОНАЛЬНОСТЬ КАРБОНАТИТОВОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ FE-REE-NB МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУКТУКОН (ЧАДОБЕЦКОЕ ПОДНЯТИЕ, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

Исследования проведены за счет средств гранта РНФ 19-77-10004 (the project extension card https://rscf.ru/en/project/22-77-41005/). Геология района изучена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (0330-2016-0002).

Месторождение Чуктукон принадлежит к рудноформационному типу латеритных редкоземельных кор выветривания по карбонатитам. Для таких кор выветривания свойственно специфическое зональное строение (сверху вниз): 1) латеритный горизонт; 2) рыхлые охристые продукты выветривания; 3) горизонт вторичного фосфатного обогащения (зона цементаций); 4) дезинтегрированные карбонатиты. Такая зональность обусловлена спецификой перераспределения основных и рудных компонентов карбонатитов в условиях латеритной фации выветривания. В работе представлены результаты минералого-петрографических исследований пород коры выветривания Чуктуконского месторождения. Акцент делался на изучении

состава «сквозных» минералов (апатит, пирохлор, монацит), присутствующих во всех зонах профиля выветривания. Фторапатит по мере увеличения степени выветривания коренных карбонатитов постепенно сменяется на гидроксил-фторапатит и карбонат-гидроксилфторапатит. Пирохлор-Ca-Na-F при тех же процессах замещается Ba-Sr разновидностью (с примесью Ce и Pb). Монацит-Ce меняет свой состав с цериевого на лантановый (со значительными примесями Nd). При этом в верхнем, латеритном горизонте, часть монацита окисляется с образованием церианита.

Ключевые слова: месторождение Чуктукон, FE-REE-NB, коры выветривания по карбонатитам.

Чуктуконское Nb-REE месторождение приурочено к латеритным корам выветривания по карбонатитам, которые входят в состав чадобецкого щелочно-ультраосновного комплекса (юго-западная окраина Сибирской платформы). Карбонатиты данного комплекса несут РЗЭ-Nb специализацию, а зона гипергенеза по ним представляет собой самостоятельный минерагенический объект, которому соответствует исключительно продуктивная рудная формация.

В составе чадобецкого магматического комплекса выделяют три фазы внедрения. Первая фаза представлена породами щелочно-ультраосновного состава (пироксениты, ультраосновные лампрофиры), слагающими многочисленные дайки и штокообразные тела. Вторая фаза представлена карбонатитами, которые образуют штокообразные массивы, тела неправильной формы, а также штокверки, дайки и жилы, секущие породы первой фазы. Третья фаза образована ультраосновными лампрофирами (дамтьернитами), слагающими трубки взрыва и немногочисленные дайки [1, 3, 4, 8].

Кора выветривания мел-палеогенового возраста развита по всему комплексу пород, участвующих в геологическом строении Чуктуконского месторождения – осадочным, щелочно-ультраосновным породам и по редкометалльным карбонатитам. Мощность коры варьирует от 70–100 до 350–400 м, в среднем 250 м (отчет по объекту, 2016ф). В полном её профиле сверху вниз выделяются:

- латеритный горизонт с прослоями плотных бурых железняков;
- мощная толща рыхлых охристых продуктов выветривания;
- горизонт вторичного фосфатного обогащения или зона цементации;
- неравномерно окварцованные и ожелезненные дезинтегрированные карбонатиты, перекрывающие коренной субстрат.

Верхняя зона – латеритная – характеризуется красновато-коричневым цветом и состоит в основном из каолинита, гидроксидов железа, марганца, алюминия, гематита, анатаза, церианита и монацита-(La, La-Ce). В верхней части латеритной зоны отмечается пласт плотного гетитового железняка (канга), а в ее основании – горизонт, обогащенный железистыми конкрециями, который обычно эродирован и разрушен до дресвы.

Далее идет минерализованная продуктивная зона с ниобиевым и фосфатным оруденением. Продуктивная толща сложена охристыми продуктами ярко-желтого, темно-бурого или черного цвета, состоящими из гетита, гематита, романешита-голландита, с существенными количествами монацита-(La-Ce), флоренсита, барита, горсейксита, церианита, каолинита, стронцио-, барио- и цериопирохлоров, примесью карбонат-фторапатита, кварца, сидерита, гиббсита, акцессорными цирконом и рутилом. Минералы железа и марганца. Большинство других минералов охр находится в тонкодисперсном состоянии и имеет преобладающие размеры 0,044 мм [2].

Ниже зона охр постепенно переходит в горизонт вторичного фосфатного обогащения или зону «цементации», где рыхлые продукты выветривания частично или полностью сцементированы карбонат-фторапатитом и кварцем вплоть до образования существенно фосфатных или силикокластических пород. Помимо этих минералов породы содержат гетит, голландит-романешит, барит, гидроксиды марганца, пирохлор переходного состава (от Sr-Ba-Ce к Na-Ca-F разностям).

Зону цементации подстилает дезинтегрированный и неравномерно ожелезнённый карбонатит, сложенный кальцитом, калиевым полевым шпатом, фторапатитом, гетитом и акцессорными пирохлором-(Na-Ca-F), монацитом-(Ce), рутилом и хромшпинелью.

Было выявлено, что химический состав сквозных минералов (апатит, монацит, пирохлор) меняется в зависимости от нахождения в той или иной зоне профиля выветривания. При ис-

следовании фторапатита применялся метод спектроскопии комбинационного рассеяния, чтобы определить присутствие CO_3^{2-} и его кристаллографическое положение и, следовательно, отличить карбонат-фторапатит от фторапатита. Согласно полученным данным, по мере увеличения степени выветривания коренных карбонатитов форапатит постепенно сменяется гидроксил-фторапатитом и карбонат-гидроксилфторапатитом. При этом пики карбонат-иона не всегда соответствуют одной кристаллографической позиции. Пики наблюдаются как на 1081 cm^{-1} (замещение идет по схеме CO_3^{2-} <–> F), так и на 1076 cm^{-1} (замещение идет по схеме CO_3^{2-} <–> $P_2O_5^{3}$ [13, 14]).

Состав пирохлора также варьирует в зависимости от степени выветривания коренного субстрата. В подстилающих слабоизмененных карбонатитах пирохлор представлен преимущественно Ca-Na разновидностью, без следов растворения и иногда с едва заметной ростовой зональностью. В более измененных породах пирохлор представлен переходными разностями от Ca-Na к Ba-Sr. Такие пирохлоры часто имеют зональную микроструктуру, где Ca-Na ядерная часть обрастает Ba-Sr каймой. Пирохлоры этого типа весьма распространены и встречаются как в охрах, так и в горизонте вторичного фосфатного обогащения и в дезинтегрированных карбонатитах. Наиболее измененные Ba-Sr-Pb-пирохлоры встречаются практически на всех изученных интервалах, но количественно преобладают в верхней (латеритной) части коры выветривания.

Соотношения редкоземельных элементов в монаците также изменяются в зависимости от степени выветривания коренного субстрата: в измененных, а при движении к дневной поверхности сменяется La-Ce и преимущественно La разновидностью. При этом в верхнем (латеритном) горизонте часть монацита, вероятнее всего, окисляется с образованием собственной минеральной фазы в виде церианита.

Подобные вариации химизма минералов карбонатитов во многом объясняются составом коренного субстрата и условиями его выветривания. При латеритизации редкометалльные карбонатиты поддаются значительным преобразованиям: основная часть карбонатного вещества выщелачивается, а продукты выветривания многократно обогащаются немобильными компонентами первичных карбонатитов (Fe, Mn, Si, Nb, Ta, Ti, Zr, Ce, Y и др.). Как правило, реакции выщелачивания протекают при низких температурах (< 150 °C) под воздействием грунтовых вод с относительно низким pH, низкими концентрациями Na, Ca и F и значительными количествами Mg, AI, K, Fe, Sr, Ba и REE, которые поступают в растворы в результате растворения и выщелачивания силикатных и карбонатных минералов. В условиях латеритизации, например, пирохлоры особенно склонны к вторичным ионообменным структурным преобразованиям (в частности, ионо-обменное декатинирование [12]), поскольку в процессе интенсивного выщелачивания первичных карбонатов, апатита и других минералов карбонатитов в поверхностные растворы зоны гипергенеза поступают значительные количества P, Sr, Ba и РЗЭ. Повышение активности этих элементов в растворах приводит не только к образованию в латеритных корах целого ряда вторичных стронциевых, бариевых и редкоземельных минералов, но и к широкому развитию ионо-обменных процессов в кристаллической структуре пирохлора с выносом кальция и натрия и заменой их стронцием, барием и редкими землями. В некоторых карбонатитах, особенно тех, которые подвергаются воздействию больших объемов грунтовых вод в тропическом климате, большие количества измененного пирохлора (вторичного пирохлора) сосредоточены в латеритных горизонтах [9, 10, 16]. Это, в свою очередь, демонстрирует то, что скорость ионно-обменных реакций намного превышает скорость растворения пирохлора в этих условиях.

Переотложение апатита в виде карбонат-фторапатита и гидроксил-карбонат-фторапатита происходит на щелочном барьере в зоне застойных вод, где растворы находятся в равновесии с породами субстрата и приобретают нейтральную или слабощелочную реакцию. Например, в работе [11], посвященной фосфатным рудам Ковдора, авторы описывают данные процессы выветривания как «стадию франколитизации» (франколит – устаревшее название карбонат-апатита), при этом обращая внимание на то, что все минералы, связанные с франколитом (цеолиты, крандаллит, антигорит, вермикулит, монтмориллонит, галлуазит, колломорфный кварц, гидроксиды железа и марганца и др.) могут образовываться как в условиях низких температур, так и на стадии выветривания. В то же время многие зарубежные авторы также придерживаются мнения о гипергенной природе фосфатных руд, связанных с корами выветривания по карбонатитам. Так, в работах [5, 6] говорится об отсутствии фракционирования РЗЭ в более поздних генерациях

карбонатсодержащих фторапатитов в Сокли, Ковдоре и Гленовере. Это, в свою очередь, контрастирует с экстремальным фракционированием РЗЭ, наблюдаемым в гидротермальных апатитах из Тундулу, Канганкунде и Сонгве (Малави, Южная Африка), которые обогащены тяжелыми РЗЭ по сравнению с более ранними овоидальными магматическими апатитами из тех же комплексов. Это, по мнению авторов, является косвенным подтверждением того, что карбонат-фторапатитовые охристые породы Сокли, Ковдора и Гленовера образовались в эпоху палеовыветривания и не имеют гидротермального происхождения. В свою очередь, в работе [7] приведены доказательства в пользу существенного вклада гипергенных процессов при изменении коренных карбонатитов Матонго. Авторы приводят изотопные исследования сопутствующего карбонатфторапатиту сидерита, в котором изотопия углерода согласуется с вкладом органического CO^2, заимствованного, скорее всего, из метеорных/подземных вод.

При переотложении монацита и церианита также важную роль играют условия выветривания. В верхних горизонтах профиля выветривания отмечаются аномальные содержания Ce. Это обусловлено переходом Ce^{3+} в Ce^{4+} в сильно окислительных и щелочных условиях и, как следствие, различным геохимическим поведением Ce^{4+} по сравнению с другими РЗЭ. При выветривании карбонатитов в условиях тропического климата кислые растворы, образующиеся при распаде органического вещества почвенного горизонта, переносят РЗЭ в виде водных комплексов вниз по профилю выветривания. Этот процесс разделяет профиль на верхнюю зону истощения РЗЭ и более глубинную зону накопления РЗЭ, где РЗЭ осаждаются из-за повышения pH, вызванного изменением минералогического состава или присутствием грунтовых вод [15]. Однако в большинстве случаев Ce^{4+} менее растворим, чем другие ионы $РЗЭ^{3+}$, в результате чего Ce^{4+} преимущественно накапливается в верхней зоне истощения РЗЭ в виде твердой фазы, такой как церианит (CeO_2), или адсорбируется на оксидах марганца, железа или глинистых минералах. При этом кристаллизующийся монацит имеет высокие La/Ce отношения ввиду разубоживания по церию, который, окисляясь, не входит в структуру монацита, а отлагается в виде собственной минеральной фазы.

Таким образом, детальное изучение химизма таких минералов-индикаторов карбонатитов как церианит, монацит, пирохлор и апатит позволило соотнести каждый из этих минералов (и их минеральных видов) к определённой зоне профиля выветривания, где для каждой зоны характерны свои физико-химические обстановки минералообразования.

Список литературы:

1. Кириченко В. Т., Зуев В. К., Перфилова О. Ю., Сосновская О. В., Смокотина И. В., Маркович Л. А., Бородин В. П., Миронюк Е. П. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист O-47. Братск. Объяснительная записка. – Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 470 с.
2. Лапин А. В., Толстов А. В., Плошко В. В., Чемизова Л. Н., Сорокина Т. И. Минерагения кор выветривания карбонатитов. – М. : ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2011. – 308 с.
3. Махнева Н. А., Махнева Г. Г., Белякова Е. В. [и др.]. Отчет по объекту «Поисковые и оценочные работы на Чуктуконском рудном поле» (Красноярский край). Государственный контракт от 09.09.2014 № 198. – 2016. – Кн. 1. – 210 с.
4. Скляров Р. Я. Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Ангаро-Ленская. Лист O-47-IV. Объяснительная записка. – М., 1971. – 96 с.
5. Broom-Fendley S., Styles M. T., Appleton J. D., Gunn A. G., Wall F. Evidence for dissolution-reprecipitation of apatite and preferential LREE mobility in carbonatite-derived late-stage hydrothermal processes // American Mineralogist. – 2016. – V. 101(3). – P. 596–611.
6. Broom-Fendley S., Brady A.E., Wall F., Gunn A.G., Dawes W. (2017) REE minerals at the Songwe Hill carbonatite, Malawi: HREE-enrichment in late-stage apatite // Ore Geology Reviews. – 2017. – P. 23–41.
7. Decrée S., Boulvais P., Tack L., André L., Baele J.M. Fluorapatite in carbonatite-related phosphate deposits: the case of the Matongo carbonatite (Burundi) // Mineralium Deposita. – 2016. – V. 51. – P. 453–466.

8. Doroshkevich A. G., Sklyarov E. V., Starikova A. E., Vasiliev V. I., Ripp G. S., Izbrodin I. A., Posokhov V. F. Stable isotope (C, O, H) characteristics and genesis of the Tazheran brucite marbles and skarns, Olkhon region, Russia // Mineralogy and Petrology. – 2017. – V. 111(3). – P. 399–416.
9. Harris P. M. Pandaite from the Mrima niobium deposit (Kenya) // Mineralogical Magazine. – 1965. – V. 35. – P. 277–290.
10. Jager E., Niggli E., van der Veen A.H. A hydrated bariumstrontium pyrochlore in a biotite rock from Panda Hill, Tanganyika // Mineralogical Magazine. – 1959. – V. 32. – P. 10–25.
11. Krasnova N. I. Kovdor apatite-francolite deposit as an example of explosive and phreatomagmatic endogenous activity in the ultramafic-alkaline and carbonatite complex (Kola Peninsula, Russia) // Vladykin NV (ed) Plumes and problems of deep sources of alkaline magmatism. Russian Academy of Sciences. – Moscow, 2003.
12. Lumpkin G., Ewing R. Geochemical alteration of pyrochlore group minerals: Pyrochlore subgroup. // American Mineralogist. – 1995. – V. 80. – P. 732–743.
13. Penel G., Leroy G., Rey C., Sombret B., Huvenne J.P., Bres E. Infrared and Raman microspectrometry study of fluor-fluor-hydroxy and hydroxy-apatite powders // Journal of Materials Science. – 1997. – V. 8. – P. 271–276.
14. Penel G., Leroy G., Rey C., Bress E. MicroRaman spectral study of the PO4 and CO3 vibrational modes in synthetic and biological apatites // Calcif Tissue Int. – 1998. – V. 63. – P. 475–481.
15. Sanematsu K., Watanabe Y. Characteristics and genesis of ion adsorption-type rare earth element deposits // Rev Econ Geol – 2016. – V. 18. – P. 55–79.
16. Van Wambeke L. Pandaite, baddeleyite and associated minerals from the Bingoniobium deposit, Kivu, Democratic Republic of Congo // Mineralium Deposita. – 1971. – V. 6. – P. 153–155.

Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Керимли У. И., Исмаилова А. М., Мамедова А. Г., Азайева Х. Р., Гусейнов А. И., Шамиев Р. А.
БГУ, г. Баку

ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ И НОВЫХ ТИПОВ ОРУДЕНЕНИЯ МЕХМАНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (КАРАБАХСКОЕ ПОДНЯТИЕ, АЗЕРБАЙДЖАН)

Рассматривается комплекс поисково-прогнозных критериев выявления перспективных участков и новых типов оруденения Мехманинского рудного поля. Определены поисково-прогнозные критерии для различных типов оруденения и выявлены региональные и локальные критерии. Разработаны структурные, магматические и литолого-фациальные факторы.

Ключевые слова: поисково-прогнозные критерии, региональные и локальные поисковые критерии, факторы, контролирующие локализацию руд, перспективные участки.

Основой прогнозирования и оценки месторождения полезных ископаемых служит система геологических критериев и признаков, по которым определяются наиболее вероятные области локализации оруденения, его размеры и качество. При мелкомасштабном прогнозировании наиболее велика роль рудно-формационного анализа. Он позволяет выявить главные факторы, на основе которых принципиально решается вопрос о рудоносности той или иной территории. В целом оценка прогнозных ресурсов тем достовернее, чем больше благоприятных факторов оруденения положено в ее основу [1, 2].

Условия локализации медно-полиметаллических, медно-порфировых и колчеданно-полиметаллических оруденений внутри ареалов развития «продуктивных» интрузивных и вулканогенных формаций изучены еще весьма неполно. Установлена приуроченность многих медно-молибденовых и порфировых медно-штокверковых, медно-полиметаллических залежей к сводовым частям антиклинальных складок и участкам их вздымания, к полям развития вулканогенных пород, залегающих внутри мощных туфогенно-порфировых толщ, т. е. к участкам максимальных прогибаний или по границе последних с гранодиоритами, кварц-диоритами. В некоторых случаях указывается на приуроченность медно-порфировых, колчеданно-полиметаллических и медно-полиметаллических рудных тел к контактам эффузивно-пирокластических пород с кварцевыми диоритами, габбродиоритами, габброноритами. Значение дизъюнктивной тектоники для локализации медного оруденения принимается большинством исследователей, которые считают штокверковые медно-молибденовые, порфировые, медные и медно-полиметаллические образования эпигенетическими по отношению к вмещающим их толщам [1, 2, 4].

Общую структуру прогнозирования оруденения можно представить в виде последовательной цепи элементов: объект прогноза → систематика рудных объектов → создание поисковых моделей объектов прогнозирования → выяснение прогнозно-поисковых критериев → разработка прогнозных методов исследования. Эффективность прогнозирования, т. е. нормальное функционирование названной цепи, зависит от состояния каждого звена [3].

Прогнозирование оруденения проводится на всех стадиях геологоразведочных работ. В зависимости от стадийности работ изменяется и иерархический ранг объектов прогнозирования: при региональном и среднемасштабном прогнозировании это рудные районы, узлы; при крупномасштабном – рудные поля, месторождения, при локальном – участки месторождений, фланги, отдельные рудные тела, рудные столбы и обогащенные участки рудных тел [4, 5]. Для каждого иерархического ранга объектов прогнозирования необходимо создание самостоятельных моделей, опирающихся на учет вполне определенных факторов, которые в последующем смогут выступать в роли прогнозно-поисковых критериев. Разработка каждой поисковой модели различного иерархического ряда, а значит, и прогнозно-поисковых критериев должна осуществляться соответствующим вполне определенным комплексом методов. Генетическое, вещественное разнообразие оруденения различных металлов с учетом ранговости их объектов обусловливает многочисленность поисковых геолого-генетических моделей [2].

При региональном и среднемасштабном прогнозировании необходима формационная классификация рудных объектов и выделение помимо многоэлементных рудных формаций типов,

рядов, серий, классов формаций оруденения геохимически близких элементов. Для создания их поисковых моделей необходимо выделение геологических рудоносных, рудовмещающих и рудогенерирующих формаций. С этой целью проводится выяснение факторов контроля оруденения: структурно-формационных, тектонических, литологических, метаморфических, магматических, метасоматических, минералогических, геохимических, геофизических [4, 5, 6].

При крупномасштабном прогнозировании (рудные поля, месторождения) помимо учета формационной принадлежности оруденения необходимо выделение генетических типов и генетических групп оруденения. В связи с этим генетические модели оруденения учитывают вмещающую среду, рудогенерирующую среду, глубинность формирования, структуры рудных полей, зональность распределения вещества. Для этих полей проводится выяснение механизма и условий формирования оруденения с учетом гипотетических источников рудного вещества, механизма его мобилизации и переноса, физико-химических параметров рудообразующих флюидов, условий и среды рудоотложения [6, 7]. И здесь привлекается совершенно другой поисково-прогнозных способ: 1) изучение минералого-геохимической зональности и зональности рудоносных метасоматитов, локальные метасоматические изменения; 2) морфологии и ассоциации минералов, термобарогеохимических параметров; 3) зональности геохимических показателей руд и эндогенных ореолов; структурных форм и этапы локализации рудного вещества; рудогенерирующих особенностей магматических пород; литолого-стратиграфических факторов контроля эндогенного оруденения и т. д. [4, 7].

Локальное прогнозирование (участков месторождений, рудных тел, обогащенных участков рудных тел) использует преимущественно вещественные классификации с учетом формационной и генетической принадлежности оруденения. Выделяются минеральные типы месторождений, типы руд, минеральные ассоциации [7]. При создании поисковых моделей проводится выделение рудоносных пород и структур, учитываются попутные полезные компоненты и их минеральные ассоциации, морфология рудных тел, соотношение с метасоматически измененными породами. Для этого необходимо выяснение закономерностей размещения вещества, включающее изучение общего минерального состава, всех полезных компонентов, последовательности выделения минералов, сонахождения минеральных ассоциаций, участков их концентрации, свойств руд, типоморфных особенностей минералов.

Таким образом, в зависимости от стадийности геологоразведочных работ изменяются объекты прогнозирования. Для каждого ранга объектов прогнозирования необходимо создание самостоятельных моделей, опирающихся на учет вполне определенных факторов. Разработка поисковых моделей различных рангов прогнозирования имеет свой набор исследовательских методов. При региональном и среднемасштабном прогнозировании доминирующими являются формационно-геологические и геолого-структурные, при крупномасштабном – геолого-генетические, при локальном – структурные и вещественные. Процесс прогнозирования весьма дифференцирован как для различных типов оруденения, так и для разноранговых объектов прогнозирования [2, 4, 7].

Геофизические аномалии выделены по комплексу поисковых методов: ЕП (естественного поля), КП (комбинированного профилирования), СГ (срединного градиента), ВП (вызванной поляризации), МЗТ (методу заряженного тела), МПП (метода переходных процессов), магниторазведки, гравиразведки и металлометрии.

При прогнозных построениях нами были обобщены материалы по прямым и косвенным признакам медно-порфирового, золотополиметаллического, медно-полиметаллического и колчеданно-полиметаллического оруденения. С этой целью были использованы данные по геофизическим и геохимическим (первичным, вторичным и шлиховым) аномалиям, выявленным геолого-геофизическими организациями. На прогнозно-металлогенических картах нашли отражение лишь перспективные аномалии рудного облика, установленные при последующей интерпретации и разбраковке аномалий.

Из вышеизложенных материалов в пределах Мехманинского рудного поля можно намечать следующие главнейшие принципы прогнозирования на комплексное оруденение исследуемого района:

1) Переоценка металлогенического профиля контактовой полосы Мехманинского гранитоидного интрузива с данными о закономерностях размещения основных промышленных типов

комплексного оруденения с выделением эндо- и экзоконтактовых обстановок их локализации, что является основой для разработки методов регионального прогнозирования;

2) Важная роль блоковых структур в локализации медного и комплексного оруденения и мобильность, формирующая эти блоки разломов в период, непосредственно предшествовавший оруденению. Особенное значение эти структуры имеют в связи с возможной податливостью отдельных горизонтов, слагающих мобильные блоки;

3) Выявление рудоконтролирующих зон (проявление магматизма, гидротермальный процесс, наличие рудопроявлений различных металлов и т. д.), определяющих в пересечении со структурами других направлений позицию промышленных рудных полей и перспективных рудопроявлений;

4) Установление роли закономерностей развития складчатой и дизъюнктивной тектоники региона и выделение рудоконтролирующей роли северо-западных структур. Наличие систем разрывных нарушений – сбросов и взбросов северо-западного, северо-северо-восточного и северо-восточного направлений, являющихся благоприятными для локализации оруденения;

5) Медно-полиметаллическое, медно-колчеданное и медно-порфировое оруденение расположено в пределах горст-поднятий, выполненных мощными толщами вулканитов, включая их пирокласты основного, среднего и кислого составов, сопровождаемые субвулканическими телами;

6) Приуроченность оруденения к толще кварцевых плагиопорфиров, андезитовых и диабазовых порфиритов и их пирокластолитов байоса;

7) Контроль оруденения глубинными разломами, крупными продольными надвигами и зонами разломов, являющихся рудоподводящими и рудоконтролирующими каналами;

8) Генетическая связь оруденения с гранодиоритами юрского возраста и приуроченность оруденения к зонам развития дайковых полос [3, 4, 6, 8].

Список литературы:

1. Авдонин В. В., Лыгина Т. И., Мельников М. Е., Ручкин Г. В., Шатагин Н. Н. Поиск и разведка месторождений полезных ископаемых. – М., 2007. – 540 с.
2. Коробейников А. Ф. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 253 с.
3. Кочнев А. П., Юренков Е. Г. Основы типизации прогнозно-поисковых моделей // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской Академии Естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск. – 2014. – № 1 (44). – С.74–80.
4. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1983. – 256 с.
5. Мансуров М. И. Поисково-прогнозные критерии выявления перспективных участков и новых типов оруденения Муровдагского горст-поднятия // Вестник Бакинского Университета, серия естественных наук. – 2013. – № 4. – С. 104–115.
6. Мансуров М. И. Перспективы поисков и прогноза месторождений цветных и благородных металлов Мехманинского рудного поля (Малый Кавказ, Азербайджан) // Сборник тезисов докладов «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 143–145.
7. Павлова И. Г. Медно-порфировые месторождения (Закономерности размещения и критерии прогнозирования). – М. : Недра, 1978. – 275 с.
8. Рамазанов В. Г., Мориц Р., Каландаров Б. Г., Мансуров М. И., Мурсалов С. С. Месторождения благородных металлов Кедабекского рудного района, перспективы их поисков // Вестник Бакинского Университета, серия естественных наук. – 2012. – № 3. – С. 117–133.

Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Кулиев И. Ф., Мамедова Т. А.
БГУ, г. Баку

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ И ВЫСОТНЫХ СНИМКОВ В ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ И ИХ ГЕОЛОГО-ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА (НА ПРИМЕРЕ МЕХМАНИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, МАЛЫЙ КАВКАЗ)

Полученные в ходе исследования данные показывают, что информативность дистанционных методов зависит от целого ряда факторов, среди которых важнейшими являются тип и возраст тектонических элементов, их внутреннее строение, геоморфология рельефа изучаемой площади и т. д.

Ключевые слова: Мехмана, кольцевые и линейные структуры, геолого-геофизическая, геолого-прогнозная.

Использование космических снимков при прогнозе и поисках эндогенных руд опирается на общеизвестные геологические принципы: а) разноранговые рудоносные площади обладают геологическими границами, которые контролируются структурными формами различного типа и масштаба. Они либо определяют положение рудоносных площадей в земной коре, либо выступают в роли концентраторов оруденения; б) глубинные магматические расплавы и минерализованные растворы при движении к поверхности используют «ослабленные» зоны в земной коре, возникающие вследствие воздействия эндогенных сил; в) минеральные скопления различных типов связаны с определенными по составу и генезису породами (осадочными, интрузивными, вулканогенными, метаморфическими) и сопровождаются разнообразными комплексами изменений вмещающих толщ [3].

Использование АФС и КС для прогнозной оценки рудоносности территорий является сложной задачей. Как правило, в пределах некоторых площадей отмечается значительное количество точек с эндогенной рудной минерализацией, а также таких геологических объектов, как интрузивные тела, вулканические аппараты и т. д. Задача оценки осложняется еще и тем, что локализация рудных скоплений определяется совокупностью целого ряда факторов (литологических, магматических, структурных и т. д.), различающихся по характеру и степени детальности отображения в ландшафте земной поверхности. Усреднение спектральных характеристик объектов земной поверхности, характерных для космических изображений, делает практически невозможным картирование с помощью КС литологических и петрографических разновидностей пород. Что же касается структурного фактора в размещении месторождений полезных ископаемых, то обзорность, высокая детальность КС, а также возможность извлечения при дешифрировании значительного объема информации о линеаментах и кольцевых структурах открывает больше возможностей выявления непосредственно при анализе результатов космических съемок площадей, перспективных на поиски месторождений полезных ископаемых, что является непременной предпосылкой для их успешного прогнозирования [1–3].

Сравнение крупномасштабных КС и схем дешифрирования АФС с геологическими картами и тектоническими схемами прежних лет показало удовлетворительное совпадение отдешифрированных линеаментов и единичных прерывистых линий северо-западного, северо-восточного и близмеридионального направлений, а также полей фототона (фотоаномалии) с реальными геологическими элементами. Последние представлены положительными или отрицательными формами рельефа вдоль кольцевых структур, зон разломов, зон дробления и трещиноватости, тектоническими уступами, куполовидными и гребневидными выступами субвулканических пород, дайками и др. [1].

Закартированные линейные структуры распределены на площади Мехмано-Гызылбулахского рудного поля в общем более равномерно. Северо-западное направление представлено главным образом мощными зонами гидротермально-измененных и раздробленных пород, прослеживаемых по всему рудному полю и за его пределами.

В Лок-Агдамской островной дуге кольцевые структуры такого типа также отмечаются в Муровдагском и Мехманинском рудных районах. В последнем на пересечении Гянджа-Аг-

дамской линеаментной зоны (Баба-заде, Масимов, 1990 г.) с Агдамским антиклинорием вырисовывается относительно крупная незамкнутая макрокольцевая структура, контролирующая размещение Мехманинского гранитоидного интрузива и Касапет-Гюльятагской группы мелких интрузивов.

Мехманинское рудное поле размещено в пределах упомянутой кольцевой структуры и заключает в себе Гызылбулахское медно-золоторудное, Мехманинское и Эльбекдашское медно-полиметаллические, Гюльятагское, Джаньятагское и Демирлинское медно-порфировые месторождения и проявления, контролируемые Гянджа-Агдамским линеаментом. Пространственное их расположение всецело связано с Мехманинской кольцевой структурой.

В западно-юго-восточной части Мехманинского рудного поля на средне- и крупномасштабных АФС ясно дешифрируемые протяженные линеаменты совпадают с крупными зонами разломов северо-восточного направления и зонами дробления. Менее протяженные линеаменты совпадают с дайками, зонами трещиноватости, кварц-карбонатными жилами, а дугообразные линии – со структурными линиями.

В пределах Мехмана-Гызылбулахского рудного поля рудоконтролирующие разломы северо-западного направления протягиваются почти через все рудное поле полосой темного фототона за счет густой растительности. По Демирлинскому разлому эти полосы соответствуют сглаженному ложбинообразному рельефу, особенно на выходах протяженного тела Мехманинского гранитоидного интрузива. Большая часть территории Мехмана-Гызылбулахского рудного поля с более темным фототоном и мелким узором фотоизображения соответствует более расчлененному и скальному рельефу, где развиты вулканиты батского возраста [1, 4].

Широко известное Мехмана-Гызылбулахское рудное поле выбрано для методических работ в связи с его детальной геологической изученностью и насыщенностью рудопроявления и месторождениями различного типа. Здесь в результате дешифрирования крупномасштабных КС и разномасштабных АФС удалось выявить многочисленные линейные, дугообразные и кольцевые структуры, определяющие основной структурный план рудного узла. При этом была составлена аэрофотогеологическая карта и схема дешифрирования линейных и кольцевых структур рудного района, которая несколько по-новому отражает геолого-тектоническое строение района. По характерным дешифровочным признакам в пределах исследуемой территории наряду с известными складчатыми на материалах КС и АФС выделяются большие и малые кольцевые структуры [1].

Самой крупной из них является Хачынчайская структура с продольным диаметром около 15 км, она имеет овалистую (эллипсовидную) форму северо-западного простирания. Эта структура приурочена к центральной части приподнятого блока, который с юго-запада ограничивается Мехманинским, с северо-востока – Калайчыларским разломами взбросового типа северо-западного простирания, а с северо-запада – Правотертерским поперечными разломами.

Хачынчайская кольцевая структура с юго-запада соприкасается с Мехманинским разломом, а с северо-востока срезается более молодым Демирлинским взбросом. Внутренняя, более приподнятая часть структуры сложена гранодиоритами и кварцевыми диоритами Мехманинского интрузива, а внешняя – вулканогенно-осадочными отложениями батского яруса. В северо-западной части внешней зоны Хачынчайской структуры туфогенно-пирокласто-осадочная толща бата пронизана разноориентированными разрывными нарушениями, зонами трещиноватости и прорвана разнофациальными (гранодиориты, кварцевые диориты, габбродиориты, диабазовые порфириты и т. д.) и различной морфологии (мелкие штоки, дайки и пластовые интрузии) интрузивными телами, вызвавшими интенсивное гидротермальное изменение вмещающих пород, с которыми генетически связаны рудопроявления и месторождения, известные в этом районе [4].

Отметим, что в восточной части Мехманинского рудного поля все рудопроявления и зоны минерализации приурочены к узлам пересечения разноориентированных разрывных нарушений и почти дугообразно расположены в краевых зонах западно-северо-западного борта Хачинчайской кольцевой структуры, в экзоконтактовой части гранитоидной интрузии верхнеюрского возраста.

Итак, полученные данные при интерпретации материалов дешифрирования в комплексе с результатами геолого-геофизических исследований прежних лет дают основания сказать, что

все зоны минерализации в восточной части Мехманинского рудного поля по характеру гидротермального изменения и раздробленности, а также приуроченности к узлам пересечения разноориентированных разрывных нарушений, расположенных в экзоконтактовой зоне интрузии, идентичны и одинаково перспективны. В этом районе по данным комплексных геохимических и геофизических исследований получены положительные аномалии, перспективные на медно-колчеданные руды.

На аэрофотоматериалах кольцевые структуры обычно геоморфологически выражены более четко, они подчеркиваются дугообразными долинами рек и ручьев, дугообразными водоразделами, и часто дешифрируются несколько концентратов. Однако следует отметить, что они выделяются не только благодаря концентрическому распределению отрицательных и положительных эрозионных форм рельефа. Например, Дромбонская кольцевая структура отмечается чашеобразной формой и более однородным светло-серым фототоном. Гызылбулахская кольцевая структура отмечается (особенно в юго-восточной части) поясовым расположением концентрических элементов. В этой части внешние границы Гызылбулахской структуры контролируются дуговыми разломами, более опущенная центральная и северо-восточная части этой структуры покрыты мощным чехлом четвертичных отложений, на которых развиты леса и кустарники, создающие на аэрофотоснимках темный фон. Там же развиты небольшие отрывочные оползни, движущиеся в сторону русла р. Тертер [1, 4].

Большинство кольцевых структур выявлены впервые и некоторые из них играют существенную роль в размещении интрузивных тел и рудных полезных ископаемых. Определенное число кольцевых структур в общих чертах вписывается в контуры крупных блоков, но не всегда подчиняется их размерам. Часто кольцевые структуры кроме ландшафтно-геоморфологических особенностей на местности выделяются благодаря интенсивной трещиноватости пород в их периферийной части. На космических снимках четко установлены разломы, секущие кольцевые структуры: одни без смещения, другие со смещением в вертикальном и горизонтальном направлениях, что указывает на их возрастное взаимоотношение.

В пределах Гызылбулахского рудного поля кольцевые структуры кальдерообразного типа сложены вулканическими образованиями слабодифференцированной базальт-андезит-дацитовой формации батского возраста. В их контурах выделяется несколько вулканических аппаратов различных размеров, сложенных жерловыми брекчиями, а также субвулканических куполов риолитов, андезитодацитов, дацитов и др. [1]. Гызылбулахская кольцевая структура состоит из двух колец сильнотрещиноватых пород: внутреннего и внешнего. Обе структуры четко наблюдаются на космо- и аэрофотоснимках. Дромбонская и Гызылбулахская кольцевые структуры расположены на юго-западной части Мехманинской кольцевой структуры, природа образования которой тесно связана с Мехманинским гранитоидным интрузивом. Они имеют концентрические формы, размеры которых в диаметре колеблются от 3 до 5 км. Вмещающими породами являются отложения верхнего байоса (риолиты) и бата (вулканогенно-туфогенные отложения). Дромбонская структура характеризуется прогибанием, а Гызылбулахская – поднятием. Обе структуры, особенно Дромбонская, характеризуются наличием во вмещающих породах большого количества субвулканических интрузий и даек кислого и основного составов.

Отметим, что в пределах Мехмана-Гызылбулахского рудного поля по поясам распределены разные типы минерализации, это определяется в значительной мере концентрической структурной зональностью сводового порядка. Эта общая закономерность усложняется блочным строением, которое порой нарушает концентрическую зональность в размещении оруденения. Влияние блоков заключается в различной интенсивности развития в них оруденения разного типа. Так, собственно Мехманинский опущенный блок отличается развитием полиметаллической минерализации, Демирлинский приподнятый блок (эндоконтактовая зона) – золотосульфидной, а Дромбонский, самый приподнятый блок – медно-золоторудной [1, 3, 4].

Установлено, что Гызылбулахское месторождение медно-золото-колчеданных руд приурочено к стыку Дромбонской и Гызылбулахской кольцевых структур, тем самым устанавливается структурный фактор рудолокализации, что может быть заложено в основу поисков аналогичных руд по параметру кольцевых структур как поисковый критерий. Наиболее перспективным в этом отношении является северное обрамление Дромбонской кольцевой структуры.

Предлагаемые критерии и признаки для поисков цветного и благороднометалльного оруденения имеют свои отличительные черты и вытекают из его геотектонической позиции и минералого-геохимических особенностей. В качестве благоприятных критериев выделения и оценки рудных районов Лок-Агдамской островодужной зоны рассматриваются полнота и характер развития средне-верхнеюрской вулкано-плутонической ассоциации: вулканических и плутонических рудоносных формаций, палеовулканических структур (вулканокупола, экструзивные постройки, локальные впадины) и т. д. Положение этих элементов палеовулканических поднятий предопределяет направление поисков рудных полей и способствует выявлению положения стратиграфических уровней локализации золото-колчеданного, медно-порфирового, медно-полиметаллического, серно-колчеданного оруденения [1].

Список литературы:

1. Баба-заде В. М., Мамедов М. Н., Ахмедов Д. М. [и др.]. О перспективах выявления новых рудных месторождений и проявлений в пределах Карабахского поднятия (по данным дистанционных исследований) // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2011. – № 4. – С. 138–152.
2. Полетаев А. И. Линеаментный анализ – современный эффективный метод поиска структур, перспективных для образования месторождений полезных ископаемых // Геологическая изученность и использование недр. Информационный сборник. – Геоинформмарк, 1999. – Вып. 1. – С. 26–34.
3. Серекуров Ю. Н., Калмыков В. Д. Космическое зондирование при решении прогнозных и поисковых работ в Забайкалье // Недра Востока. – 1993. – № 2. – С. 34–39.
4. Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Мамедова Т. А., Исмаилова А. М., Мамедова А. Г., Кулиев И. Ф., Шамиев Р. А., Гусейнов А. И. Гидротермально-метасоматические изменения пород, выявленные на основе данных дистанционного зондирования, как эффективные поисковые признаки (Малый Кавказ, Азербайджан) // Сборник тезисов докладов «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 140–142.
5. Mamoy I. Mansurov, Nazim I. Imamverdiyev, Vagif M. Karimov [et. al.]. The discovery of structural elements and zones of hydrothermal alterations by using ASTER satellite data in the margins of Gadabay and Murovdag ore districts (Lesser Caucasus, Azerbaijan) // Journal of Geology, Geografhy and Geoecology. – Dnepropetrovsk, Ukrain, 2021. – № 30 (3). – P. 528–538.

Марипов Б. Б.[1], Рахимов Д. Р.[2]

[1] Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаев, г. Ташкент;

[2] ГП «Государственный геологический информационный центр», г. Ташкент

ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАНОСИЕНИТОВ, РАСПРОСТРАНЕННЫХ НА РУДНОМ ПОЛЕ КАТЫРТАС (ГОРЫ ВОСТОЧНЫЙ БУКАНТАУ)

В статье приводится краткое описание изученности выбранного участка, геологическая характеристика и минералогические характеристики габбросиенитов рудопроявления Катыртас горы Букантау с установлением фациальных разностей, критериев их зональности, пространственного положения выделенных метасоматических формаций с рудной минерализацией. Даны фактические материалы, характеризующие габбросиениты рудопроявления Катыртас.

Ключевые слова: горы Букатау, рудное поле Катыртас, граносиенит, петрографическое описание.

Республика Узбекистан обладает огромным комплексом полезных ископаемых, содержащих различные металлы, которые широко используются во всех сферах экономики. Золото – одно из главных богатств нашей страны и прочная основа нашей независимости.

Горы Букантау – одна из главных площадей, определяющих минерально-сырьевую базу нашей республики. Изучение золоторудных, золото-редкометаллических объектов Восточного Букантау в Катыртасском проявлении является актуальным при построении поисково-прогнозных моделей по золоторудным объектам на данной территории, решении генетических вопросов.

Изученная авторами Катыртасская перспективная площадь расположена на восточном окончании Турбайских возвышенностей гор Букантау и примыкает к Кокпатасскому рудному полю.

На территории гор Букантау проведено большое количество геологоразведочных и тематических работ. Большой вклад в развитие минерально-сырьевой базы золота гор Букантау внесли геологи – ученые И. Х. Хамрабаев, Х. Р. Рахматуллаев, Э. И. Изох, В. Г. Гарьковец, А. Д. Швецов, В. Я. Зималина, М. У. Исоков, М. М. Пирназаров, В. Д. Цой, Н. Н. Королева, М. С. Карабаев и др. [1–6].

В геологическом строении площади принимают участие вулканогенно-терригенно-кремнистые образования кокпатасской и хаджаахметской свит допалеозойского возраста, прорванных многочисленными интрузиями гранодиорит-сиенитов, гранодиоритов и связанных с их внедрением дайковых серий пестрого состава от гранитов до лампрофиров. Внедрение интрузий сопровождалось формированием зон контактового метаморфизма и гидротермальной проработки пород рамы с развитием вольфрамовой и золотосеребряной минерализацией.

В районе развиты углеродисто-кремнистые образования, состоящие из углеродисто-слюдистых сланцев с прослоями кремней и доломитов. Породы ороговикованы, по доломитам развиты процессы скарнирования. Имеются многочисленные зоны рассланцевания и брекчирования.

Систематизацией выполненных на Катыртасской золоторудной площади геологоразведочных и тематических работ установлено, что основными рудоконтролирующими факторами, влияющими на размещение оруденения, являются структурный, магматический и литологический: сложная морфология кровли гранитоидных массивов; высокая степень деформации осадочно-метаморфических и магматических пород; углисто-слюдистые сланцы, в меньшей мере алевролиты и кремни; дайки сиеногранодиорит-порфиров и лампрофиров.

На площади широко проявлено мелкопрожилковое окварцевание и лимонитизация; развита прожилково-вкрапленная минерализация (пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит) в диоритах, габбросиенитах и др.

Далее приводится описание некоторых шлифов из образцов граносиенита на рудопроявлении Катыртас.

КТ-391 Габбросиенит. Плагиоклаз 35–40, биотит 15–20, калиевый полевой шпат 5–7, кварц 2–3, хлорит 7–10, серицит 5–7, кальцит 7–10, лейкоксен 2–3, апатит 0,1–0,2 %. Структура гипидиоморфно-среднезернистая, превращенная в аллотриоморфнозернистую в результате метаизменений. Текстура массивная.

Плагиоклаз – короткотаблитчатые зерна до 1–1,5 мм по длинной оси, значительно замещен с краев каемками альбита (рис. 1, а и б, в правой части микрофото), а в центральной части – нацело серицитом (вероятно, маргаритом). Биотит – преимущественно в виде таблиц до 0,5 мм, в большинстве замещен хлоритом, серицитом и лейкоксеном практически нацело.

Апатит – редкие тонкопризматические (до игольчатых) зерна длиной до 1 мм в плагиоклазе (рис. 1, в, высокорельефное белое зерно в центре микрофото).

Микрозернистый калиевый полевой шпат распознается с трудом, слабо выделяясь на форе микрозернистой массы хлорита, серпентина, серицита.

Лейкоксен – почти черные каемки вокруг зерен биотита и по трещим спайности (рис. 1, а).

Порода вполне аналогична образцу КТ-390, хотя в ней лучше сохранены формы зерен плагиоклаза и биотита, несмотря на их иногда полную замещенность альбитом, серицитом, хлоритом, лейкоксеном.

КТ-392 Габбросиенит. Плагиоклаз 35–40, биотит 10–15, калиевый полевой шпат 5–7, актинолит 7–10, кварц 2–3, хлорит 7–10, серицит 5–7, кальцит 7–10, цоизит 2–3, лейкоксен 2–3, апатит 0,1–0,2 %. Структура гипидиоморфно-мелкозернистая, превращенная в аллотриоморфнозернистую в результате метаизменений. Текстура массивная с редкими гнездами кальцита до 1,5 мм в поперечнике.

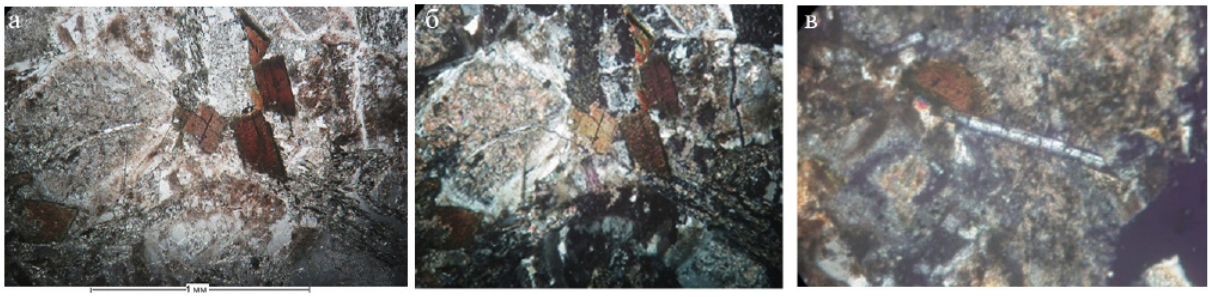


Рис. 1. Габбросиенит среднезернистый, интенсивно хлоритизированный, лейкоксенизированный, слабоальбитизированный и окварцованный (шлиф № КТ-391):
а, б – габбросиенит (а – с одним николем, б – с двумя), в – призматический кристалл апатита в интенсивно хлоритизированном и серицитизированном плагиоклазе на стыке с биотитом (с двумя николями)

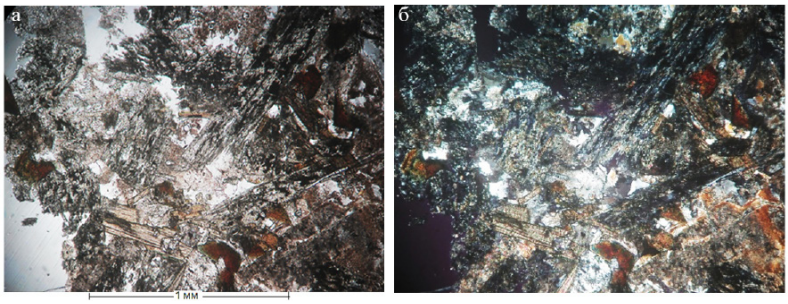


Рис. 2. Габбросиенит мелкозернистый, интенсивно хлоритизированный, лейкоксенизированный, актинолитизированный, альбитизированный и окварцованный (шлиф № КТ-392):
габбросиенит (а – с одним николем, б – с двумя)

Фактически это уже полиминеральный метасоматит с возросшим количеством кварца и лейкоксена. Здесь длиннопризматические кристаллы роговой обманки на 100 % подвергнуты актинолитизации, а скопления биотита разбиты выделениями лейкоксена (анатаза) на мелкие блоки (рис. 2).

Вывод. Установлен средний минеральный состав граносиенитов в рудном поле Катыртас, %: плагиоклаз 35–40, биотит 10–20, калиевый полевой шпат 5–7, кварц 2–3, хлорит 7–10, серицит 5–7, кальцит 7–10, цоизит 2–3, лейкоксен 2–3, апатит 0,1–0,2.

Список литературы:

1. Ежков Ю. Б. (отв. исполн.). Геохимическое и геофизическое районирование домезозойского фундамента Букантау-Тамдытауских возвышенностей и их обрамлений с выделением перспективных площадей на золото и другое оруденение за 1998–2000 гг. в 2 кн. – Ташкент : Госгеолфонд РУз, 2000.
2. Зонов В. И., Котунов А. Я. Геологическое строение и полезные ископаемые гор Букантау. Отчет. – Пос. Кокпатас, 1972.
3. Рубанов А. А. [и др.]. Изучение структурно-геологических особенностей размещения и перспективы золото-серебряного (с вольфрамом) оруденения в кокпатасской свите Центрального Букантау (горы Саутбай, Турбай) за 1990–93 гг. – Ташкент, 1993.
4. Рудные месторождения Узбекистана / отв. ред. И. М. Голованов. – Ташкент, 2001.
5. Чешуин А. П. Оценка потенциальной рудоносности Восточного Букантау на золото на основе комплексного анализа геофизических данных. – Ташкент : Госгеолфонд РУз, 1996.
6. Юдалевич З. А. (отв. исполн.). Отчет по разработке критериев расчленения домезозойских дайковых образований и изучение их связи с эндогенным оруденением на территории Западного Узбекистана. Т. 1–3. – Ташкент: Госгеолфонд РУз, 1978.

Марипова С. Т.[1], Мовланов Ж. Ж.[2], Рахматуллаев Ф. Ф.[1]
[1] ГУ «ИМР», Узбекистан, Ташкент; [2] ГФУ, Узбекистан, Ташкент

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ УЗБЕКИСТАНА (ЗАПАДНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

Представляются результаты статистического анализа созданной базы данных вольфрамовых объектов Узбекистана и возможности их использования в прогнозных исследованиях. База представляет собой формализованное описание геологической обстановки формирования вольфрамового объекта. Разработана специальная система кодирования текстовой информации (качественных признаков), учитывающая иерархию признакового пространства от регионального до локального. База может использоваться для решения различных геологических задач. В результате кодирования составлена таблица, строки которой соответствуют объектам, а столбцы – цифровым (кодовым) описаниям объектов (значениям признаков).

Ключевые слова: вольфрам, месторождение, геолого-промышленный тип, статистические характеристики, база данных, Западный Тянь-Шань, Узбекистан.

За более чем 80 лет изучения вольфрамового оруденения в Узбекистане накоплен уникальный материал, отражающий геологические, структурно-тектонические, геохимические, геофизические и другие его особенности. Большой вклад в изучение вольфрамового оруденения Узбекистана внесли Х. М. Абдуллаев, И. Х. Хамрабаев, Н. К. Джамалетдинов, М. И. Исмаилов, А. А. Бабаджанов, В. Д. Отрощенко, В. Н. Ушаков, Ю. Б. Ежков, Л. М. Крикунова и др. [5].

Обширная информация о вольфрамовом оруденении Узбекистана содержится в многочисленных публикациях [2, 3, 6, 7], геологических картах, геологических производственных и научно-исследовательских отчетах разных лет.

Вольфраморудные объекты сосредоточены в трех горно-экономических регионах республики: Восточном Узбекистане (Чаткальский рудный район с месторождениями Саргардан, Баркрак и Чавата-Дайковое); Западном Узбекистане (Зирабулакский рудный район с месторождением Ингичке, Северо-Нуратинский – Койташ, Южно-Нуратинский – Лянгар, Турбайский рудный район с месторождениями Сарытау и Саутбай горах Букантау) и Южном Узбекистане (Чакылкалянский – Яхтон, Каратюбинский – Каратюбе).

Для цифровизации и компьютерного анализа этих данных с целью выявления закономерностей размещения рудных объектов и прогноза вольфрамового оруденения создана База данных (БД) по 167 вольфрамовым объектам Узбекистана (месторождения, рудопроявления, рудные точки и точки минерализации). Она содержит все новые сведения по геологическому изучению вольфрама.

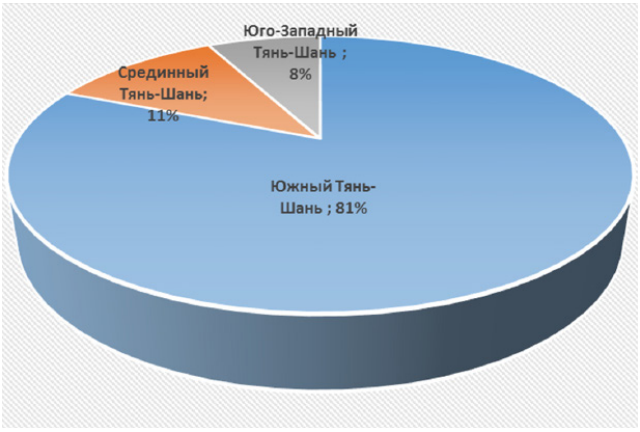
Вид информации в БД – числовая, текстовая. Текстовая и числовая интервальная информация (геохимическая, геофизическая) переведена в коды по методам шкалирования информации [1]. БД создана в формате Access, обеспечивающем простое преобразование в другие форматы и в том числе создание регистрационной карты вольфрамовых объектов в ArcGis.

В БД даются общая характеристика, описание геологической обстановки, состояние изученности вольфрамовых объектов, состоящей из 61 пункта: номер на карте; название объекта; координаты объекта (*x, y*); изученность и стадия работ; металлогеническая провинция; основные геологические характеристики (возраст оруденения, генетический тип, рудная формация, минеральный тип, геохимический тип, структурно-морфологический тип); литолого-стратиграфические признаки (общая пространственно-временная привязка рудовмещающих пород, строение разреза рудовмещающих, подстилающих и перекрывающих толщ, вещественные особенности рудовмещающих пачек, рудоконтролирующие признаки); магматические признаки (общая пространственно-временная привязка, морфология, внутреннее строение, вещественные особенности продуктивной фазы, рудоконтролирующие признаки); структурно-тектонические признаки (позиция относительно региональных структур, пликативные структуры, дизъюнктивные структуры, мелкая трещиноватость, рудоконтролирующие признаки); метаморфические признаки (общая рудно-метасоматическая характеристика, околорудные метасоматозы и метаморфиты, характеристика оруденения, вещественные особенности рудных

метасоматитов, рудоконтролирующие признаки); геофизические и геохимические особенности (позиция относительно геофизических аномалий, локальные геохимические ореолы); горно-геологические условия; экстремальные содержания металлов; перспективы, результативные признаки (масштаб объекта, количество рудных тел) и др.

В текстовом формате БД представляет собой табличный каталог вольфрамовых объектов Узбекистана.

Приведем статистические характеристики распределения вольфрамовых проявлений, собранных в БД. Горные сооружения Западного Тянь-Шаня в пределах Узбекистана делятся на три домена (провинции) по особенностям истории геологического развития и минерагении: Южный Тянь-Шань (Западный Узбекистан), Срединный Тянь-Шань (Восточный Узбекистан) и Юго-Западный Тянь-Шань (Южный Узбекистан) [4].



Распределение вольфрамовых объектов Узбекистана по провинциям Западного Тянь-Шаня

Более трех четвертей всех проявлений сосредоточены в Западном Узбекистане (81,3 %), далее по значимости вольфрамового потенциала следует Восточный Узбекистан (11,2 %), и, наконец, последнее место отводится Южному Узбекистану (7,5 %) (рис.).

Распределение вольфрамовых проявлений по возрасту. В Южно-Тянь-Шаньской провинции подавляющее большинство проявлений вольфрама сформировалось в среднюю (C_{2-3}) и завершающую (P–T) стадии герцинского тектоно-магматического цикла, очень небольшое количество – в раннюю его стадию (D_3–C_1), а единичные проявления – в каледонском цикле.

В Срединно-Тянь-Шаньской провинции картина несколько иная: вольфрамовое оруденение образовалось в позднюю (P–T), и лишь незначительная часть – в среднюю стадию герцинского цикла. Все вошедшие в БД объекты вольфрама Юго-Западного Тянь-Шаня сформировались в среднюю стадию герцинского цикла.

Дайковые образования. Выделены четыре основные разновидности даек: гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры и габбро-диабазовые порфириты, в эти группы включены близкие по кислотности структурные разновидности пород. Дайковые образования являются обычной составной частью геологических обстановок проявлений вольфрама и фиксируются на большинстве из них (52,8 %). Наиболее характерными являются дайки кислого (30,8 %) и среднего (32,2 %) составов, они фиксируются в 24,2 % всех проявлений вольфрама (12,4 и 11,8 % соответственно). В остальных случаях они ассоциируют с другими разностями даек, причем чаще всего друг с другом (3,9 %) и совместно с габброидами (3,7 %), за ними – габброиды (1,3 %). Диориты ассоциируют с габброидами также на 1,9 % всех проявлениях вольфрама.

Таким образом, дайковые образования играют значительную роль в формировании условий локализации вольфрамового оруденения.

Распределение вольфрамовых объектов в зависимости от суммарной протяженности встречаемых даек. Установлено, что для проявлений вольфрама наиболее характерны непротяженные дайки; по составу даек предпочтение отдается гранит-порфирам, за ними следуют диорит-порфириты, затем их сочетания, далее гранодиорит-порфиры и замыкают цепочку диабазовые порфириты, а также сочетания вышеперечисленных составов. Для дайковых поясов средней протяженности более характерны сочетания составов. Дайки диоритовых порфиритов и, в меньшей степени, гранит-порфиров также образуют протяженные пояса, но реже, чем их сочетания. Для вольфрамовых объектов прослеживается тенденция к увеличению пестроты составов даек по мере увеличения протяженности дайковых поясов.

Типы рудоконтролирующих структур и рудовмещающие породы. В БД приведены складчатые, разрывные, контактовые и внутриинтрузивные рудоконтролирующие структуры, из ко-

торых нами рассматриваются первые три как наиболее распространенные, и анализируются частоты встречаемости вольфрамовых проявлений в зависимости от наличия этих структур и других наиболее информативных признаков. Установлено, что наиболее распространены проявления вольфрама, где оруденение контролируется контактовыми (20,5 %) и разрывными (19,3 %) структурами, совместно же они контролируют вольфрамовое оруденение на 13,6 % проявлений. Далее следуют складчатые структуры, контролирующие оруденение на 11,8 % вольфрамовых проявлений. Все три типа структур вместе контролируют оруденение на 96 % проявлений вольфрама.

Распределение рудовмещающих интрузивных пород. Интрузивные породы как рудовмещающие отмечаются на большинстве проявлений вольфрама, причем основную роль здесь играют граниты, меньшую – гранодиориты и граниты в сочетании с гранодиоритами. Диориты как рудовмещающие породы достаточно редко отмечаются на проявлениях вольфрама, чаще в сочетаниях с гранитами и гранодиоритами. Наиболее распространены геологические обстановки, где вмещающие интрузивные породы встречаются в сочетании со складчатыми рудоконтролирующими структурами, меньше – с разрывными и еще меньше – с контактовыми.

Рудовмещающими породами из интрузивных выступают (в порядке убывания): граниты, гранодиориты и диориты.

При компьютерной разбраковке вольфрамовых объектов по категории P_2 было установлено, что положительно оцененные проявления протягиваются в виде двух полос северо-западного направления в пределах Южно-Тянь-Шаньской металлогенической провинции – северная и южная полосы. Южная полоса представлена крупными объектами: Яхтон, Ингичке, вблизи которых расположены положительно оцененные вольфрамовые проявления. Северная полоса состоит из двух частей: юго-восточной (Койташ, Угат, Лянгар) и северо-западной (Косманачи, Саутбай, Сарытау). Положительно оцененные проявления располагаются вокруг них. Менее четкая картина наблюдается в Срединно-Тянь-Шаньской провинции. Немногочисленные положительно оцененные объекты расположены хаотично, не образуют каких-либо ярко выраженных зон, пространственно оторваны от крупных эталонных объектов и локализованы преимущественно в северной и юго-восточной частях площади.

Таким образом, на основе изучения статистик распределения было установлено, что 81,3 % вольфрамовых объектов сосредоточены в Южно-Тянь-Шаньской провинции, наиболее характерными для проявлений вольфрама являются дайки кислого (30,8 %) и среднего (32,2 %) составов.

Приведенные выше результаты анализа БД вольфрамовых объектов Узбекистана показывают, что он является объективным инструментом для количественной оценки различных признаков при решения геолого-прогнозных задач.

Список литературы:

1. Бугаец А. Н., Грачева С. С. Неметрическое многомерное шкалирование при решении задач геологического прогнозирования и поисков месторождений. – М. : Геоинформмарк, 1996. – 120 с.
2. Диваев Ф. К., Далимов Р. Т., Селтманн Р., Конопелько Д. Л. Эволюция гранитоидного магматизма Западного Тянь-Шаня (Узбекистан) // Граниты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании. Материалы III Международной геологической конференции. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН, 2017. – С. 83–85.
3. Ежков Ю. Б., Рахимов Р. Р., Панасюченко В. К., Новикова И. В. Редкие элементы Узбекистана. – Ташкент : ГП «Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов», 2013. – 150 с.
4. Миркамалов Р. Х., Чирикин В. В., Диваев Ф. К. Геодинамические реконструкции орогенного пояса Западного Тянь-Шаня и прогнозирование эндогенных месторождений в породах фундамента (методические рекомендации). – Ташкент : ГП « Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов», 2019. – 162 с.
5. Рудные месторождения Узбекистана / под ред. И. М. Голованова. – Ташкент : ГИДРОИНГЕО, 2001. – 611 с.

6. Ушаков В. Н. Металлогения вольфрама Западного Узбекистана. – Ташкент : Фан, 1991. – 182 с.
7. Хамрабаев И. Х., Искандаров Э., Бабаджанов А. А. [и др.]. Факторы формирования и критерии прогноза вольфрамового оруденения Южного Тянь-Шаня. – Ташкент : Фан, 1984. – 208 с.

Махоткин И. Л.[1], Дубягин В. П.[2]
[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] ОАО «ЦКЭ», г. Мончегорск

АЛМАЗОНОСНОСТЬ И ПАЛЕОГЕОТЕРМИЯ МАНТИЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ ЕРМАКОВСКАЯ-7 ТЕРСКОГО БЕРЕГА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Изученные составы породообразующих и редких элементов пиропов, шпинелей и хромдиопсидов из кимберлитовой трубки Ермаковская-7 соответствуют основным критериям высокой алмазоносности. Среди мантийных источников пород трубки в заметном количестве до 25 % диагностированы шпинель-гранатовые дунит-гарцбургитовые парагенезисы, сформировавшиеся в области стабильности алмаза в условиях крайне низкого мантийного теплового потока 35–36 мВт/м² в интервале глубин 41–50 Кбар. Подошва литосферы в этом регионе была ограничена глубинами 190 км (60 кбар) и включала в себя нижний маломощный слой, сложенный более высокотемпературными и титанистыми ассоциациями катаклазированных перидотитов, которые сформировались в области стабильности алмаза при немного более высоком мантийном тепловом потоке – 42 мВт/м². Полученные данные указывают на вероятное некоторое недоизвлечение алмазов при выполненном ранее опробовании пород трубки и существенно повышают алмазоносный потенциал центральной части Кольского полуострова, в том числе отдельных участков Терского берега.

Ключевые слова: алмазоносность, пироп, шпинель, хромдиопсид, кимберлиты, мантийный тепловой поток, литосфера, геотерма.

Считается, что кимберлиты трубки Ермаковская-7 Терского берега Кольского полуострова, по данным крупнообъемного опробования, выполненного в 2002 г. ОАО «ЦКЭ», являются убогоалмазоносными (0,03 кар/т). Из пробы весом 55 т было извлечено 105 кристаллов алмаза в размерном классе -2+0,5 мм. Опробованные кимберлиты по физико-механическим свойствам отличались высокой прочностью и были представлены слюдяными разновидностями гипабиссальной фации и переходными фациями от гипабиссальных к диатремовым. Среди индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) трубки преобладают мелкие зерна пироп-шпинель-хромдиопсидовой ассоциации (табл.).

Первоначально представлялось, что низкий выход зерен ИМК в тяжелой фракции коррелирует с низкой алмазоносностью трубки. Однако при повторном минералогическом опробова-

Составы ИМК тр. Ермаковская-7, полученные разными методами обогащения.

Методы обогащения и компания	Гравитационный стол, ОАО «ЦКЭ»		Тяжелосредная сепарация, «Де Бирс»		Кислотное растворение, «Де Бирс»	
Вес пробы	12,8 кг		5,2 кг		8 кг	
Метод определения ИМК и класс крупности	визуально, -1+0,1 мм		визуально, -2+0,3 мм		проверено на зонде, -1+0,15 мм	
Минералы	количество зерен	% от общего	количество зерен	% от общего	количество зерен	% от общего
Пироп	101	59,1	5	26,3	245	41,2
Пикроильменит	0	0	0	0	7	1,2
Шпинель	50	29,2	9	47,4	243	41,0
Cr-диопсид	20	11,7	5	26,3	100	16,8
Алмаз	0	0,0	0	0,0	0	0
Итого ИМК	171	100,0	19	100,0	595	100,0

нии кимберлитов с применением методов кислотного растворения компания «Де Бирс» установила довольно высокое содержание ИМК. В пробах также был диагностирован пикроильменит, который визуально из-за малого размера определялся в качестве шпинели. Такое различие выхода зерен ИМК в концентратах проб в зависимости от класса крупности и метода обогащения связан с высокой степенью келифитизации пиропов и широко проявленного срастания зерен ИМК со слюдой основной массы. Неполное раскрытие зерен ИМК при стандартном методе обогащения на гравитационном столе приводило к их большой потере в хвостах обогащения. Вполне возможно, что низкая степень раскрытия зерен при дроблении механически высокопрочных проб кимберлитов приводила также и к занижению содержаний алмазов.

В связи с возможным неполным извлечением алмазов для оценки потенциала алмазоносности тр. Ермаковская-7 было проведено всестороннее изучение составов всех выделенных зерен ИМК на микрозонде. Дополнительно составы пиропов были исследованы методом ЛА-ИСП-МС, а шпинели изучены на протонном зонде (GEMOC) с целью определения температуры их образования по содержанию Zn и Ni. При изучении представительной коллекции пиропов в объеме 264 зерен было выявлено большое количество (до 25 %) гранатов типа G10 дунит-гарцбургитовой ассоциации (рис. 1). Такая высокая доля G10 характерна для высоко- и умеренноалмазоносных пород. Среди пиропов практически отсутствуют составы пиропов из лерцолитов аномальной ассоциации (ЛАС), которые обычно встречаются в неалмазоносных кимберлитах. Все составы пиропов лерцолитовой ассоциации (G9 и G5) имеют низкие содержания CaO и их фигуративные точки состава на графике образуют узкую полосу, прижатую к границе пиропов гарцбургитовой ассоциации, что также характерно для лерцолитовых алмазоносных источников.

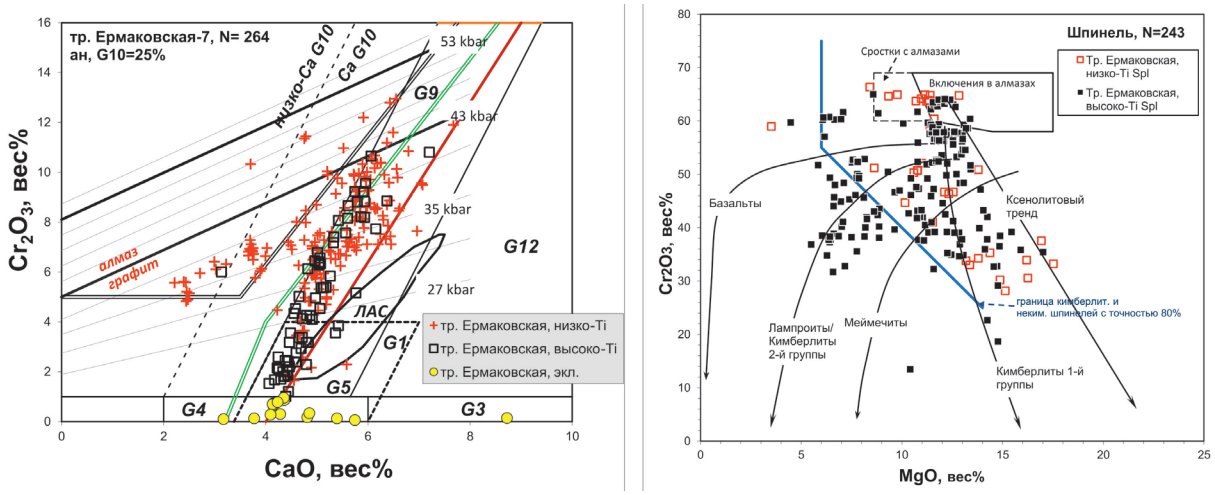


Рис. 1. Графики состава пиропов (слева) в координатах $CaO–Cr_2O_3$ и шпинелей (справа) $MgO–Cr_2O_3$ из кимберлитов тр. Ермаковская-7

Составы высокохромистых шпинелей указывают на алмазоносность кимберлитов тр. Ермаковская-7. Заметное количество высокохромистых шпинелей как низко-Ti ксенолитовой серии (TiO_2 < 0,7 вес. %), так и высоко-Ti метасоматическо-магматической серии попадает в область составов включений и сростков с алмазами (см. рис. 1; рис. 2). Высоко-Ti шпинели с пониженным содержанием MgO < 9 вес. % образуют характерный эволюционный тренд, совпадающий с составами магматических шпинелей из слюдяных кимберлитов 2 группы и лампроитов. Рассчитанные температуры образования шпинелей на основе Zn-геотермометра образуют одномодальное распределение в температурном интервале 800–1150 °C, а единичные зерна дают температуру до 1250 °C (см. рис. 2.). Повышенная верхняя граница температуры образования шпинелей указывает на то, что для условий мантийного теплового потока 3–38 мВт/м^2 глубина их существования в мантии может достигать отметок 55 Кбар (рис. 3).

Рассчитанные параметры глубины и температуры образования пиропов низко-Ti серии (TiO_2 < 0,4 вес. %) и хромдиопсидов с применением необходимых процедур фильтрации соста-

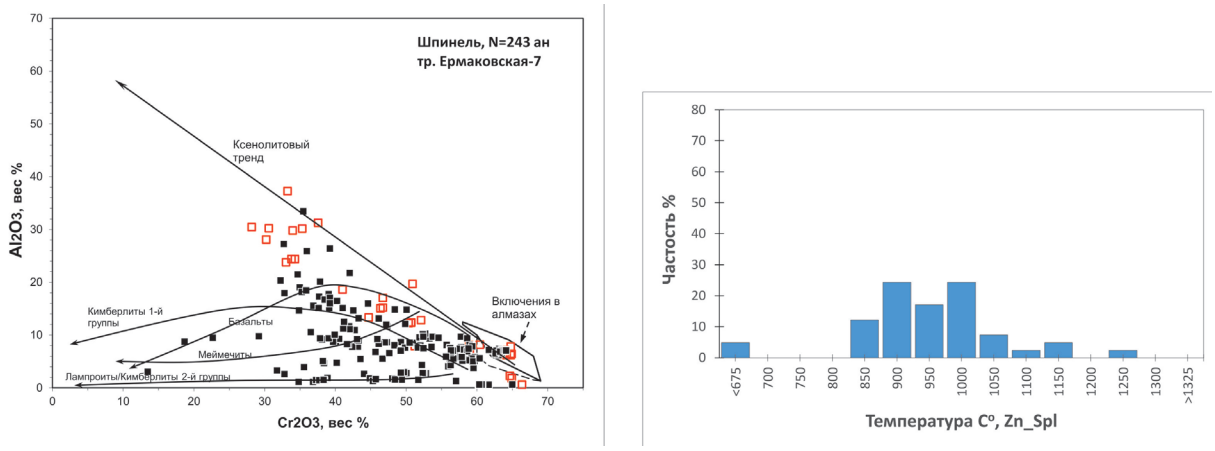


Рис. 2. Графики состава шпинелей (слева) в координатах Al_2O_3–Cr_2O_3 из кимберлитов тр. Ермаковская-7 и рассчитанных теператур образования шпинелей (справа)

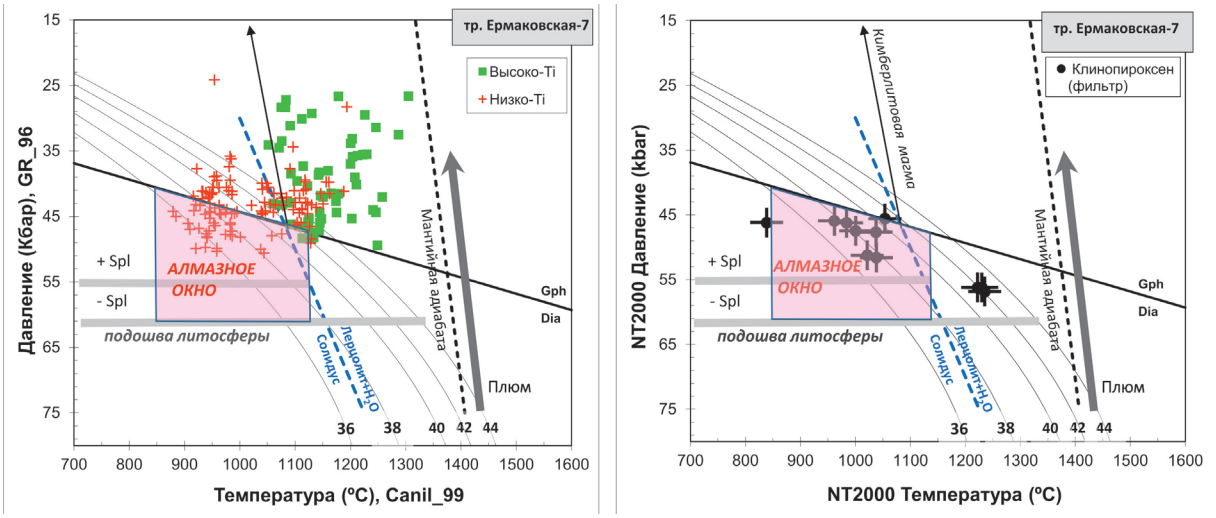


Рис. 3. Рассчитанные температуры и давления образования пиропов (слева) и хромдиопсидов (справа) из кимберлитов тр. Ермаковская-7

вов по соответствующим одноминеральным геотермометрам и геобарометрам дают согласованные значения в интервале давлений 41–53 Кбар и в интервале температур 850–1050 °С (рис. 3). С учетом присутствия в этом температурном интервале равновесной шпинели использованные для пиропов расчетные модели обладают высокой степенью надежности. Полученные по пиропам и хромдиопсидам термобарометрические параметры для малоглубинной области стабильности алмазов аппроксимируются мантийным тепловым потоком со значениями 35–36 мВт/м^2 по модели Полока и Чапмана (1977).

Рассчитанные давления для высоко-Ti пиропов (TiO_2 > 0,4 вес. %) и части низко-Ti пиропов, характеризующиеся повышенными температурами образования более 1100 °С, дают отскок в область низких давлений от теоретических параметров, которые могли быть в равновесных условиях при значениях мантийного теплового потока 36–38 мВт/м^2. Пониженные значения давлений для высокотемпературной группы пиропов являются артефактом, поскольку в их минеральной ассоциации по температурным критериям не диагностируется шпинель, и расчетная модель, по которой должна присутствовать равновесная шпинель, к ним не применима. Такие высокотемпературные (> 1100 °С) мантийные источники для ассоциации высокотитанистых пиропов с наибольшей степенью вероятности были представлены бесшпинелиевыми катаклазированными лерцолитами.

Глубины образования мантийных источников в высокотемпературной области определяются по данным мономинерального геотермобарометра клинопироксена, который инвариантен по отношению к шпинели (см. рис. 3). Рассчитанные по клинопироксену давления составляют

57 Кбар и аппроксимируются значением мантийного теплового потока 42 мВт/м^2. Соответственно, катаклазированные лерцолиты с высокотитанистым пиропом остаются в области стабильности алмаза, и это в целом является благоприятным признаком алмазоносности кимберлитов тр. Ермаковская-7. Таким образом, в температуром интервале 1100–1150 °С намечается место перегиба региональной геотремы мантийной литосферы. Этот перегиб геотермы совпадает с изменением глубин минеральных ассоциаций с вышерасположенных шпинель-гранатовых гарцбугитов и низкотитанистых лерцолитов на более глубинные бесшпинелевые катаклазированные лерцолиты с высокотитанистым пиропом. Точка перегиба геотремы мантийной литосферы (1125 °С) и верхняя точка (850 °С) пересечения мантийного теплового потока 36 мВт/м^2 с графит-алмазным равновесием определяют температурный интервал «алмазного окна», область которого наиболее благоприятна для роста и сохранности алмазов в литосферной мантии региона. Такой широкий температурный интервал в 275 °С характерен только для высокоалмазоносных источников кимберлитов.

Пересечение выположенной региональной геотермы с линией мантийной адиабаты определяет глубину границы подошвы мантийной литосферы данного региона в 190 км, или 60 Кбар. Само выполаживание региональной геотермы на глубинах свыше 55 Кбар, очевидно, связано с определенным температурным воздействием астеносферной мантии и поднимающегося мантийного плюма Кола.

Таким образом, изученные составы породообразующих и редких элементов пиропов, шпинелей и хромдиопсидов из кимберлитовой трубки Ермаковская-7 соответствуют основным критериям высокой алмазоносности. Полученные данные предполагают вероятность недоизвлечения алмазов при выполненным крупнообъемном опробовании пород трубки и существенно повышают алмазоносный потенциал центральной части Кольского полуострова, в том числе отдельных участков Терского берега.

Махоткин И. Л.[1], **Дубягин В. П.** [2]
[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] ОАО «ЦКЭ», г. Мончегорск

АЛМАЗОНОСНОСТЬ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В 2004–2007 гг. компании «Де Бирс» и «Эверфо Даймондс» провели опробование ледниковых отложений Кольского региона по регулярной сети на площади 127 тыс. км^2, отобрав 2904 пробы и проанализировав на микрозонде 6130 зерен индикаторных минералов (ИМ). В общей выборке ИМ были установлены 1330 зерен кимберлитового состава (ИМК). В результате интерпретации состава и распределения обнаруженных зерен ИМК на территории Кольского региона автором были выделены 11 новых потенциальных полей эруптивного магматизма щелочно-ультраосновного состава (кимберлитового, алликит-мелилититового и щелочно-пикритового) наравне с уже известными 4 эруптивными полями. По степени алмазоносности выделены одно потенциально высокоалмазоносное Среднепанойское поле, умеренно- и убогоалмазоносные Северокарельское и Ермаковское, а также Мурманское и Лувенгское поля неалмазоносного кимберлитового магматизма.

Ключевые слова: алмазоносность, гранат, ильменит, шпинель, клинопироксен, кимберлитовый, индикаторные минералы, Кольский полуостров, Карельский кратон, ледниковые отложения, опробование, кимберлиты, алликиты, мелилититы, щелочные пикриты.

В 2004–2007 гг. международными компаниями «Де Бирс» и «Эверфо Даймондс» совместно с ОАО «ЦКЭ» было проведено опробование ледниковых отложений Мурманской области по канадской методике с использованием сети пробоотбора 20 × 20 км, 10 × 10 км в целом по региону и по сети 1,0 × 0,5 км в пределах действующих на тот период лицензионных площадей (Туломо-Териберская, Ермаковская, Варзугская, Пулонгская). Общая площадь опробования составила 127 тыс. км^2, или 86,7 % всей территории Мурманской области, а общий объем опро-

бования – 2904 пробы по 20 литров каждая. Из опробования были исключены зона Лапландского заповедника, участки северного побережья Кандалакшского залива между п. Колвица и п. Умба, а также узкая полоса на юге Мурманской области южнее п. Алакурти, где в 2003–2005 гг. были выданы лицензии на проведение ГРР другим российским компаниям. Из отобранных проб были выделены и проанализированы на микрозонде 6026 зерен индикаторах минералов (ИМ), которые предположительно визуально могли иметь кимберлитовую природу. На севере Республики Карелия аналогичное опробование ледниковых отложений ранее было проведено канадской компанией «ДиаМет» Минералс, геологами которой были отобраны 682 пробы и проанализировано на микрозонде 1872 зерна ИМ (Отчет по результатам первой стадии работ «ДиаМет Минералс Лтд.», Петрозаводск, 1998 г.). Опробование севера Республики Карелия частично восполняет отсутствие сопоставимых данных по югу Мурманской области. В совокупности же все выполненные программы площадного опробования ледниковых отложений Мурманской области и севера Карелии (Кольский регион) являются вполне представительными для обнаружения новых, пока еще не обнаруженных ареалов алмазоносного магматизма, размеры которых по аналогии с Зимнебережным районом алмазоносных кимберлитов Архангельской области могут достигать 1800 км^2. С учетом использованной сети опробования для возможного размера кимберлитового поля предполагалось обнаружение от 10 до 40 положительных проб с присутствием однозначно установленных на микрозонде индикаторных минералов кимберлитовой природы (ИМК).

Результаты проведенного в 1997–2007 гг. опробования ледниковых отложений Кольского региона до сих пор не опубликованы и не проанализированы на предмет оценки коренной алмазоносности. Целью настоящей работы являются локализация потенциальных ареалов кимберлитового магматизма и определение их потенциальной алмазоносности на основе изучения минеральных ассоциаций и состава ИМК ледниковых отложений.

Для корректной интерпретации полученных результатов необходимо отметить, что канадская методика опробования ледниковых отложений отличается от традиционного способа проведения шлихо-минералогических работ в России тем, что опробуются прежде всего суглинки и супеси донной морены по регулярной сети, а не аллювий рек. Соответственно кимберлитовые тела на карте отражаются в виде ареола ИМК, имеющего форму идеального факела. Тупое основание такой формы ареола в зависимости от мощности донной морены совпадает или чуть сдвинуто в сторону от выхода кимберлитового тела по направлению движения ледника. Кроме того, в канадской методике принято, что обработка проб проводится не в полевых условиях разными промывальщиками, а в лаборатории с применением стандартного технологического оборудования. Последняя опция позволяет добиться единых условий обогащения проб и существенного повышения извлечения ИМК. Значительные вариации степени извлечения ИМК и количества положительных проб в зависимости от типа обогащения проб были установлены на примере сравнения результатов опробования, проведенного по программе компании «Де Бирс» (2004–2005 гг.) и по программе «Эверфо Даймондс» (2004–2006 гг.). Обогащение проб по программе «Де Бирс» велось на тяжелосредней установке мини-ДМС, установленной в г. Мончегорске, а по программе «Эверфо Даймондс» обогащение проб проводилось в полевых условиях на лотках. В результате из 884 проб «Де Бирс» были обнаружены 258 положительных проб, или 29,2 % их общего количества, а из 1953 проб, отобранных и изученных по программе «Эверфо Даймондс», были установлены только 66 положительных проб по всем четырем лицензионным площадям, или 3,4 % их общего количества.

Обобщение результатов трех программ опробования ледниковых отложений Кольского региона позволило выделить 18 локальных ареалов рассеяния ИМК. Выделение таких ареалов проведено в зависимости от минеральных ассоциаций ИМК и прочих ИМ, химического состава зерен, границ лицензионных площадей и направления движения отдельных стадий ледниковых языков Валдайского оледенения. Часть таких ареалов ИМК показана на карте Мурманской области (рис. 1).

Размеры выделенных ареалов ИМК Кольского региона варьируют от 2,6 до 12,9 тыс. км^2. Каждый из таких ареалов рассеяния включает от 4 до 83 положительных проб, что в целом соответствует целевым критериям опробования при ледниковом разносе зерен ИМК от области выхода коренных пород эруптивных полей размером 1–2 тыс. км^2.

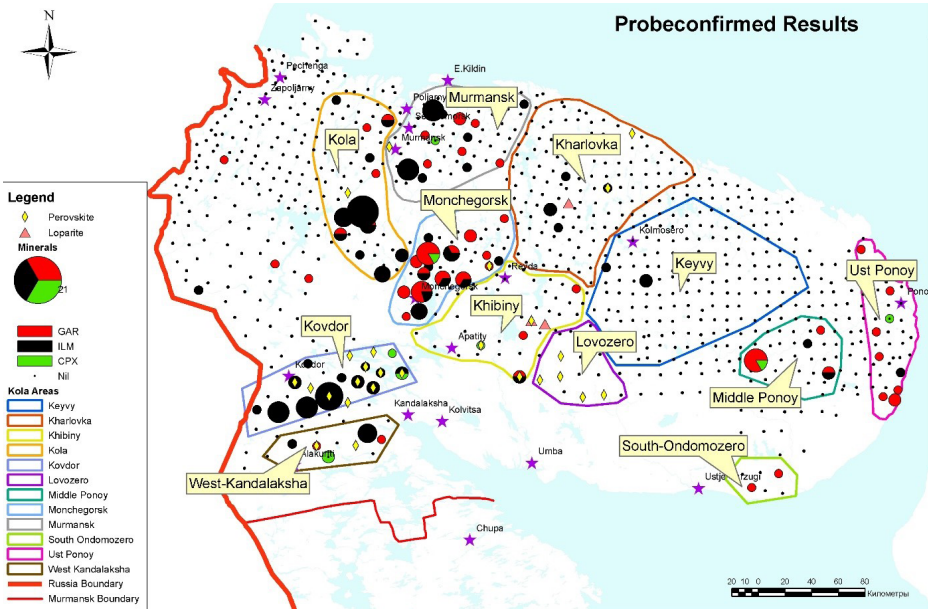


Рис. 1. Ареалы ИМК (кимберлитовый гранат, ильменит, клинопироксен), а также находки зерен перовскита и лопарита в Мурманской области, по данным опробования «Де Бирс» 2004 г.

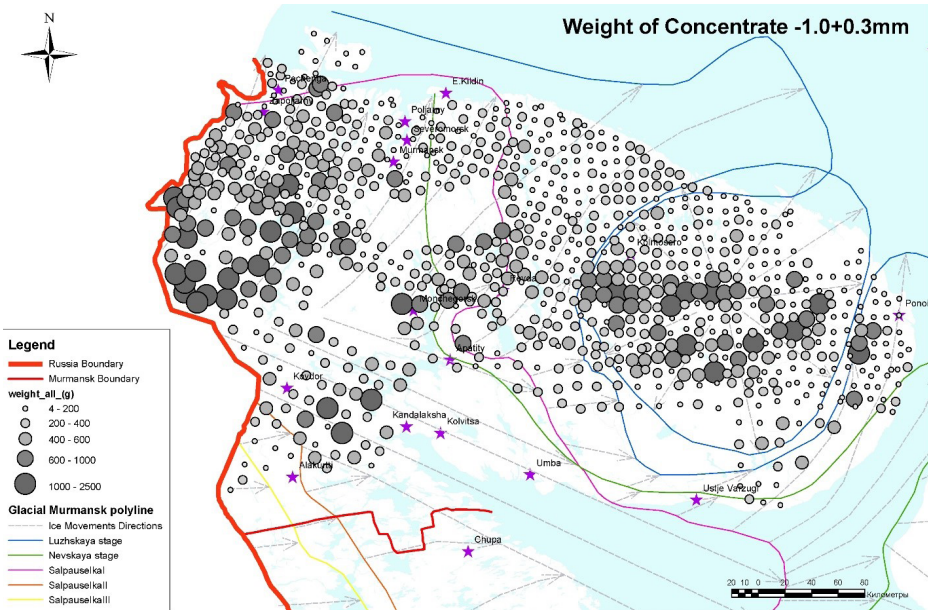


Рис. 2. Распределение весов концентратов размером -1,0+0,3 мм, включая магнитную фракцию, в пробах «Де Бирс» по Мурманской области (нанесены линии основных направлений движения отдельных стадий ледника Валдайского оледенения)

Для интерпретации формирования ареалов ИМК учитывалась динамика движения ледникового щита, для чего был проведен анализ распределения весов концентратов тяжелых минералов проб ледниковых отложений (рис. 2). Максимальные веса концентратов проб совпадают с областью развития гранулитов Лапландского пояса и высокоглиноземистых пород Кейвского террейна, кристаллический фундамент которых изначально обогащен минералами тяжелой фракции: гранатом, кианитом, ставролитом, кордиеритом. Вместе с тем эти области являлись независимыми центрами оледенения Панойского ледника Лужской стадии и ледника Сальпоуселька 1-й стадии. Из такого характера распределения тяжелой фракции следуют 3 вывода: 1) для центров отдельных лопастей ледникового щита характерен слабый перенос тяжелых минералов относительно их первичного ареола накопления в доледниковом элювии или вообще его отсутствие, что может быть связано с очень слабой динамикой движения льда; 2) для отложений боковой и конечной морены характерна незначительная обогащенность тя-

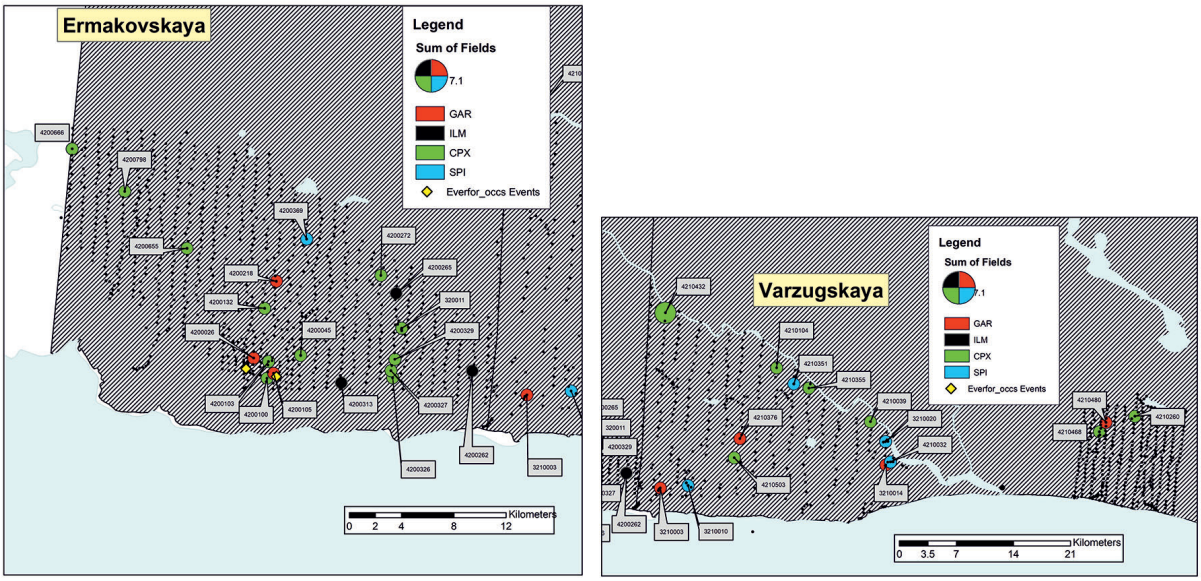


Рис. 3. Распределение ИМК на Ермаковской (слева) и Варзугской (справа) лицензионных площадях центральной части Терского берега Кольского полуострова

Существующие и предполагаемые эруптивные поля Кольского региона

Кимберлиты	Алликит-мелилититы	Щелочные пикриты
Мурманское (неалмазоносное)	Верхнетуломское	Контозерское (частично известное)
Лувенгское (неалмазоносное)	Мончегорское	Верхнепанойское (слаболокализованное)
Ермаковское (известное, слабоалмазоносное)	Среднеумбинское	Ковдорское (частично известное)
Среднепанойское (высокоалмазоносное)	Кандалакшское (частично известное, дайки-трубки)	
Северокарельское (средне-высокоалмазоносное)	Турий-Терское (известное, дайки-трубки)	
	Варзугское	
	Пулонгское (частично известное, дайки-трубки)	

желой фракцией минералов; 3) минимальная обогащенность и гомогенность пространственного распределения тяжелой фракции свойственна осевым и наиболее удаленных зонам ледниковых языков отдельных стадий оледенения, что может указывать на максимальную динамику движения льда на таких участках и максимальную дистанцию переноса зерен ИМК.

Проведенный анализ минеральных ассоциаций и состава самих ИМ позволил классифицировать природу предполагаемых коренных источников в качестве кимберлитового, алликит-мелилититового и щелочно-пикритового (таблица) полей. ИМК кимберлитовых полей всегда характеризуются присутствием кимберлитового граната высоко-Cr лерцолитового и гарцбургитового парагенезиса, присутствием клинопироксенов гранатовых перидотитов, средне- и высоко-Mg ильменитов типично кимберлитового парагенезиса, высоко-Mg и одновременно высоко-Ti хромшпинелидов.

Находки многочисленных гранатов высоко-Cr лерцолитового и гарцбургитового парагенезиса, ранее обнаруженных в пляжевых и террасовых отложениях Пулонгской площади [1], резко отличаются по своему составу от Mg-гранатов, обнаруженных в ледниковых отложениях донной морены этой же площади. Аналогичные отличия прослеживаются и по составу других ИМК. Эти данные подтверждаются также авторскими результатами опробования обоих типов отложений. Судя по тому, что тяжелая фракция пляжевых и террасовых отложениях Пулонгской площади резко обогащена высокоглиноземистой минеральной ассоциацией (гранат,

кордиерит, кианит, ставролит), а составы встречающихся здесь ИМК имеют почти полную аналогию с составами ИМК Среднепанойского ареала, то основным источником материала для формирования террасовых отложений являлась область Кейвского террейна центральной части Кольского полуострова. Геоморфологический анализ рельефа Кольского полуострова показывает, что вынос кластического материала при деградации Панойского ледника проходил по маршруту современного положения долины р. Стрельна, и таким образом флювиогляциальные потоки дренировали на востоке область Среднепанойского ареала ИМК [2]. Поскольку устье р. Стрельна находится западнее и соответственно выше по направлению движения льда относительно местоположения террасового комплекса Пулонгской площади, то поступающий кластических материал мог накапливаться вдоль левого борта ледника Невской стадии, границы которого примерно совпадали с береговой линией устья Горла Белого моря (см. рис. 2). Таким образом, за счет объединения данных по составу ИМК террасового комплекса Пулонгской площади и Средне-Панойского ареала существенно увеличивается достоверность вывода о высокоалмазаносной природе кимберлитового магматизма Среднепанойского эруптивного поля. Находки алмазов в отложениях террасового комплекса Пулонгской площади и в верховьях р. Паной подтверждают этот вывод. Кроме того, при повторном изучении пироповой аномалии Среднепанойского ареала в классе фракции -0,5+0,3 мм был идентифицирован алмаз совместно с находками кимберлитовых гранатов гарцбургитового парагенезиса.

Составы ИМК Лувенгского, Северокарельского кимберлитовых ареалов рассеяния и трубки Ермаковская-7 отличаются от составов ИМК Среднепанойского ареала и террасового комплекса Пулонгской площади повышенным содержанием высоко-Ti разновидностей гранатов лерцолитового парагенезиса и некоторыми особенностями состава кимберлитового ильменита. Все три предполагаемых коренных источника кимберлитов являются самостоятельными эруптивными полями, а не единым ареалом рассеяния ИМК от одного источника. По преобладанию высоко-Cr гранатов гарцбургитового парагенезиса наиболее алмазоносными должны являться кимберлиты Средпанойского поля, а неалмазоносными разновидностями – кимберлиты Лувенгского и Мурманского эруптивных полей (см. табл.).

Список литературы:

1. Гавриленко Б. В., Корсаков О. П., Зозуля Д. Р. О возможности формирования россыпей алмазов на юго-востоке Кольского полуострова // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. – Петрозаводск : ГИ КНЦ РАН, 2002. – С. 13–22.
2. Гавриленко Б. В., Митрофанов Ф. П., Зозуля Д. Р. [и др.]. Перспективы россыпной алмазоносности Кольского региона // Труды МГТУ. – Мурманск, 2000. – Т. 3, № 2. – С. 235–244.

Мизерная М. А.[1], Зикирова К. Т.[1], Айтказыев Т. М.[1], Пяткова А. П.[1], Кузьмина О. Н.[1], Ойцева Т. А.[2], Пятков А. П.[2], Агеева О. В.[1]

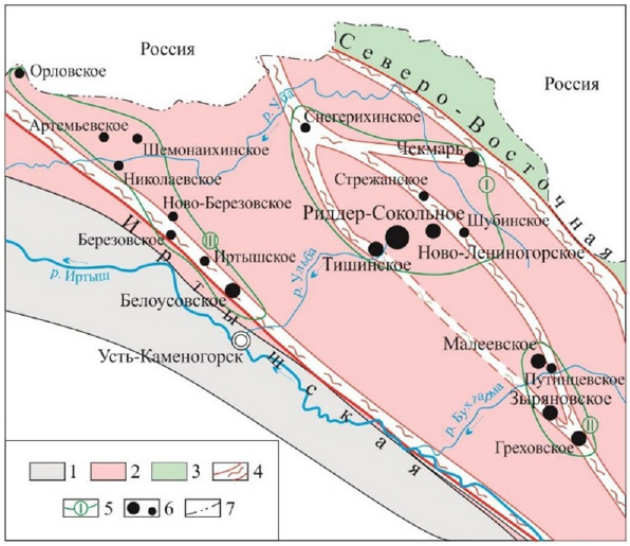
[1] Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск;
[2] ТОО «Геос», г. Усть-Каменогорск

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛЕНИНОГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, РУДНЫЙ АЛТАЙ

Особенности генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая интересуют геологов региона уже многие десятилетия. Несмотря на детальную изученность геологического строения, минерального состава руд, зональности в распределении минерализации основных минеральных ассоциаций месторождений, остаются все же некоторые вопросы, которые до сих пор требуют доизучения. К одному из таких вопросов относится проблема генезиса колчеданно-полиметаллических залежей, их генетическая связь или отсутствие таковой с вулканизмом и многие другие вопросы. На современные представления по этой теме большое влияние оказали исследования гидротермальных систем и скоплений сульфидов в современных подводных спрединговых центрах.

Ключевые слова: VMS, Рудный Алтай, Риддер-Сокольное месторождение, вулканогенные структуры, генезис, гидротермы.

Большой вклад в изучение геологии колчеданно-полиметаллических месторождений и Рудного Алтая в целом внесли Г. Д. Ганженко, И. Ф. Григорьев, П. П. Буров, Н. Н. Курек, Б. Л. Чепрасов, Ю. Ф. Олейник, П. Ф. Иванкин, В. М. Волков, Ю. Ю. Воробьёв, Д. И. Горжевский, Г. Ф. Яковлев, А. К. Каюпов, Г. Н. Щерба и многие другие. Благодаря фундаментальным работам многих поколений геологов, практиков и учных детально изучены геолого-структурные особенности месторождений, условия их формирования. Однако геолого-генетические аспекты отдельных месторождений с точки зрения современной металлогении месторождений VMS до сих пор требуют детального изучения. В значительной степени эта потребность вызвана исследованием современного формирования колчеданных залежей в виде гидротермальных полей и сульфидных построек в мировом океане. Задача исследований заключалась в установлении условий первичного субмаринного формирования и последующего преобразования сульфидного оруденения в пределах Риддер-Сокольного месторождения.



Положение основных рудных районов Рудного Алтая (Казахстан):
1–3 – структурные металлогенические зоны: 1 – Калба-Нарымская; 2 – Рудно-Алтайская; 3 – Белоубинская; 4 – Северо-Восточная и Иртышская зоны смятия; 5 – горнорудные районы (I – Лениногорский, II – Зыряновский, III – Прииртышский); 6 – месторождения; 7 – граница с Россией

Рудный Алтай относится к числу каледонских структур Алтае-Саянской складчатой области, испытавшей интенсивную активизацию тектонического режима в герцинскую эпоху. Положение главных колчеданно-полиметаллических месторождений в структурах Рудного Алтая показано на приведенной схеме (рисунок). На его территории (в пределах Казахстана) располагаются Лениногорский, Зыряновский и Прииртышский горнорудные районы, входящие в состав Рудноалтайской структурно-формационной зоны.

Риддер-Сокольное месторождение находится в пределах Лениногорского рудного поля, представляющего собой грабен, со всех сторон ограниченный региональными разломами: с севера – Северным надвигом, с юга – Обручевским разломом, с запада Кедровско-Бутачихинской и с востока – Успенско-Карелинской зонами смятия. Рудоносная Риддер-Сокольная структура представляет собой горст-антиклиналь, осложненную рядом куполовидных образований, с которыми тесно связано оруденение [3, 4]. В центральной и южной частях месторождения горст-антиклиналь осложнена разрывными нарушениями СЗ ориентировки, образующими три блока: Западный (залежи 1-я, 2-я, и 3-я Юго-Западные, Быструшинская), Центральный (залежи Заводская, Риддерская, Центральная, Победа) и Восточный (залежи Белкина, Перспективная) [1, 3, 4].

В основании разреза залегают гранитоиды синюшинского комплекса, подпирающие метаморфические породы силура, которые перекрываются пологозалегающей толщей вулканогенно-осадочных пород девона, подразделяемой на лениногорскую (D_1ln), крюковскую (D_1kr), ильинскую ($D_{1-2}il$) и сокольную (D_2sk) свиты [2].

Руды пространственно и генетически ассоциированы с глинистыми и известково-кремнистыми алевролитами крюковской свиты, реже–лавобрекчиями и туффитами лениногорской свиты. Установлена пространственная совмещенность руд с хемогенно-осадочным комплексом пород среднего девона, когда происходило накопление алевролит-кремнистых отложений крю-

ковской свиты, сопровождавшееся широким развитием гидротермальных изменений вмещающих пород. Промышленное оруденение приурочено к двум «критическим горизонтам»: нижнему медно-цинковому, залегающему на границе лениногорской и крюковской свит; верхнему свинцово-цинковому, расположенному в средней и верхней частях крюковской свиты [3]. Рудные тела представлены куполовидными телами и межпластовыми линзами.

На верхних горизонтах развиты пологие пластовые, пластово-линзообразные и грибовидные купольные тела с секущими жильными апофизами, которые с глубиной сменяются крутопадающими телами, сложенными прожилково-вкрапленными, прожилково-жильными штокверковыми (сетчатый штокверк) и жильными типами руд. Нижние горизонты залежей характеризуются системой крутопадающих субпараллельных жил СЗ простирания.

Размеры купольных структур в диаметре оснований – от 30 до 250 м и высотой 5–80 м. Простирание рудных тел – 300–350º. Протяженность рудных тел – до 600 м с размахом крыльев в плане до 300 м. Размеры штокверковых тел в плане – 50–1000 м по простиранию и от первых метров до 100 м по мощности. Падают жилы и зоны дробления круто, в основном на восток под углом 70–80º [3].

Четко проявлена зональность оруденения в виде изменения состава руд снизу вверх от медно-цинкового до полиметаллического.

Минеральный состав руд и метасоматитов представлен следующим образом. Главные рудные минералы: галенит, пирит, сфалерит, халькопирит. Второстепенные минералы – блеклая руда, самородное золото, серебро, тетраэдрит, фрейбергит, зандберит, мельниковит-пирит. Редкие минералы; алтаит, гессит, марказит, молибденит, персеит, электрум, висмутин, акантит, арсенопирит, висмут, петцит, стефанит, теллуро-висмутит, энаргит, борнит, сильванит, вюртцит. Околорудные изменения выразились в образовании кварцитов, доломитолитов, хлоритолитов, серицитолитов, кварц-серицит-хлоритовых и кварц-баритовых образований. Измененные породы нередко вмещают промышленные рудные скопления либо располагаются вблизи рудных тел на расстоянии не более нескольких десятков метров [2].

К настоящему времени структурно-морфологические и геолого-стратиграфические особенности рудоносных сооружений месторождений Лениногорского рудного района относительно детально изучены, тогда как генетическая сущность эндогенных процессов, приводящих к их формированию, требует дополнительных исследований. В связи с этим авторы посчитали важным изучить вопросы, связанные с природой гидротермально-метасоматических процессов, приведших к формированию сульфидных руд.

Согласно общеизвестным фактам, раннедевонский вулканизм в Рудном Алтае носил циклический характер. В пределах Лениногорского рудного поля он проявился в позднеэмское время, в пределах Тишинского, Шубинского, Стрежанского, Снегирихинского рудных полей, а также в Прииртышском и Зыряновском рудных районах – в эйфельско-живетское время. В среднем фране-фамене вулканизм отмечается в северо-западной части Прииртышского рудного района и в Алтайском крае (Рубцовско-Таловский рудный район).

Как и все типичные месторождения VMS, месторождения Лениногорского рудного района образовались на морском дне в результате накопления сульфидов, выпавших в осадок из гидротермальных флюидов непосредственно вокруг гидротермального источника [5, 6].

На период рудообразования территория Лениногорского рудного поля представляла собой внутреннюю палеодепрессию с глубоко прогнутой серединой и приподнятыми бортами. В ее центральной части формировались мелкие куполовидные сооружения сульфидных руд среди хемогенно-осадочных отложений крюковской свиты. Корневые части отложений сульфидов служили путями движения гидротерм к поверхности морского дна [5].

Рудные залежи лежат корнями в дискордантном штоке гидротермально измененных пород подошвы и являются самой верхней частью гидротермального канала. Мощность продуктивной толщи месторождения – 100–300 м, а бедного прожилково-вкрапленного оруденения в нижележащем гидротермальном штоке достигает более 1000 м. Окончание канала вверх в горизонте конкордантных сульфидов свидетельствует о приуроченности рудообразующей гидротермальной деятельности к интервалу времени между отложением пород подошвы и отложением пород висячего борта.

Механизм формирования рудных залежей на месторождении представляется следующим образом. Из металлоносных флюидов глубинного очага на границе разнородных толщ и в разуплотнённых породах происходило частичное отложение рудного вещества (пирит, халькопирит, сфалерит), но основная масса ценных компонентов (Pb, Au, Ag, Zn, Cu) отложилась в придонной поверхности, сформировав 19 залежей полиметаллических руд с благородными металлами.

В условиях придонной разгрузки металлоносных флюидов на первом этапе происходило формирование куполовидных образований, в которых отлагались одновременно с глинистой фракцией сульфидно-серебро-кремнисто-золотая минерализация с баритовыми купольными образованиями. Далее эти купола подвергались частичным разрушениям за счет втягивания морской воды в гидротермальные каналы и последующего прерывно-пульсационного поступления металлоносных растворов на океанское дно. Внутри куполов устанавливается определенная вертикальная фациальная зональность распределения оруденения (сверху вниз): кварц-благороднометалльное, барит-золото-свинцовое, золото-свинцово-цинковое, полиметаллическое с золотом и серебром.

Второму этапу предшествовали более интенсивные, чем первому этапу, гидротермальные изменения алевролитов, сформировавшие мощную толщу микрокварцитов в лежачем боку полиметаллических руд. Второй этап представлен существенно медным оруденением с подчиненной ролью цинка. Внедрение металлоносных растворов этого этапа сопровождалось интенсивным дроблением микрокварцитов, в которых локализовано медно-прожилковое оруденение так называемого «критического» горизонта, выделенного П. П. Буровым (1934).

На Риддер-Сокольном месторождении отчетливо проявлен третий этап – золото-кварц-сульфидного оруденения штокверково-жильного типа, развитого на нижних и средних уровнях месторождения. Содержание золота в этом типе колеблется от первых г/т до нескольких тысяч г/т. Золотоносные сульфидно-кварцевые с теллуридами жилы формировались при пульсационном поступлении гидротермальных растворов вдоль зон трещиноватости и брекчирования. Этот процесс сопровождался интенсивным гидротермальным изменением вмещающих пород, обогащенных золотой минерализацией. По мнению авторов, золоторудная минерализация связывается с влиянием залегающего на глубине более 2 км магматического очага. На каждом этапе рудообразования процесс носил прерывно пульсационный характер, вследствие чего происходило последовательное формирование руд, отражающее общую направленность золото-полиметаллического субмаринного процесса рудообразования [1].

Список литературы:

1. Ганженко Г. Д. Краткая история развития горнопромышленного производства на Алтае // Минерально-сырьевые ресурсы Восточного Казахстана и их комплексное использование : сборник трудов научно-практической конференции. – Усть-Каменогорск, 1999. – С. 15–27.
2. Парилов Ю. С. Генезис основных типов месторождений цветных металлов Казахстана. – Алматы, 2012. – 266 с.
3. Покровская И. В. Минералогия и условия образования полиметаллических месторождений. Лениногорский район Рудного Алтая. – Алма-Ата : Наука, 1982. – 156 с.
4. Щерба Г. Н., Беспаев Х. А., Дъячков Б. А., Мысник А. М., Ганженко Г. Д., Сапаргалиев Е. М. Большой Алтай (геология и металлогения). Кн. 2. Металлогения. – Алматы : РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
5. Lydon J. W. Volcanogenic massive sulphide deposits: a descriptive model // Geocsience Canada. – 1984. – V. 11, № 4. – P. 195–202.
6. Plimer I. R. Proximal and distal stratabound ore deposits // Mineralium Deposita. – 1978. – V. 13. – p. 345–353.

Молчанов А. В., Белова В. Н., Семенова В. В.
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГДП (ГМК)-200 НА ЗОЛОТО НА ОСНОВЕ СОСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА КАРТ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРОГНОЗА БОЛЬШЕОБЪЕМНЫХ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ И ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ МАСШТАБА 1 : 2 500 000

Рассмотрены вопросы локализации площадей для проведения ГДП (ГМК)-200 на основе составления и анализа карт закономерностей размещения и прогноза большеобъемных черносланцевых и эпитермальных месторождений золота Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000. Рассмотрены региональные прогнозные критерии локализации золоторудных объектов, их проявленность на территории РФ и даны рекомендации для постановки ГДП (ГМК)-200 в пределах листов, благоприятных для выявления в дальнейшем большеобъемных черносланцевых и эпитермальных золоторудных объектов.

Ключевые слова: металлогенический анализ, прогнозные критерии, золоторудные объекты, рекомендации, Российская Федерация.

В соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы до 2035 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р, золото относится к полезным ископаемым второй группы, для которых достигнутые уровни добычи недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений. В связи с чем перед региональными прогнозно-металлогеническими исследованиями, охватывающими всю территорию Российской Федерации, актуальной становится задача локализации площадей для проведения ГДП (ГМК)-200, перспективных на выявление месторождений золота востребованных геолого-промышленных типов, в том числе большеобъемных черносланцевых и эпитермальных.

К 2022 г. сотрудниками отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «ВСЕГЕИ» на основе имеющихся данных по региональным геологическим исследованиям, включая материалы, полученные при создании государственных геологических карт ГК-1000/3 и 200/2, а также накопленной информации по региональной и отраслевой металлогении, балансовым запасам месторождений, количественной оценке прогнозных ресурсов (авторских и утвержденных) территории Российской Федерации (по состоянию на 01.01.2021 г.), были созданы ГИС-проекты «Карта закономерностей размещения и прогноза большеобъемных черносланцевых месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000» и «Карта закономерностей размещения и прогноза эпитермальных месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000» в программной среде ArcGIS с использованием основного приложения платформы ArcMap (версия 10.2).

Составленные ГИС-проекты являются многослоевыми, что позволяет при необходимости увидеть местоположение разноранговых металлогенических таксонов (металлогенические зоны, рудные и потенциально рудные районы, узлы) и конкретных рудных объектов (месторождений, рудопроявлений, пунктов минерализации) золота в геофизических полях, в областях развития различных типов гидротермально-метасоматических образований, в пределах развития различных по возрасту, генезису и составу геологических телах, интерпретационных структур космофотоматериалов и т. д.

Привязка металлогенических таксонов ранга металлогенических зон, рудных и потенциально рудных районов и узлов обоснована на картах, как геологически, так и фактическим размещением месторождений и прогнозных ресурсов всех категорий по конкретным локальным и площадным перспективным объектам.

Легенды к картам закономерностей размещения большеобъемных черносланцевых и эпитермальных месторождений золота масштаба 1 : 2 500 000 традиционно состоят из двух блоков: собственно геологического и металлогенического.

Геологический блок представляет собой условные обозначения различных геологических подразделений, показанных на созданной в 2019 г. во ВСЕГЕИ геологической карте России и

прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000. Геологические подразделения, которые не имеют существенного влияния на формирование и (или) размещение искомого золотого оруденения, показаны в черно-белом варианте. Те же геологические образования (стратифицированные, магматогенные), которые прямо или косвенно влияют на формирование или размещение в геологическом пространстве большеобъемного черносланцевого и эпитермального золотого оруденения, в легендах и соответственно на картах показаны цветом. По сути, в созданных легендах приводится «расшифровка» геологических критериев размещения большеобъемных черносланцевых и эпитермальных месторождений золота на территории Российской Федерации.

Металлогенический блок. При формировании большеобъемных черносланцевых и эпитермальных месторождений золота определенную роль играли гидротермально-метасоматические процессы тектоногенного и плутоногенного рядов, а также переходные синэпигенетические метаморфо-метасоматические процессы, выступающие в роли как одного из главных агентов по мобилизации, перераспределению и последующему отложению золота и сопутствующих рудных элементов в благоприятных обстановках, так и привносу рудных компонентов из более глубоких горизонтов земной коры и (или) верхней мантии. В связи с этим в легендах к картам показаны метасоматические критерии. В легендах и составленных ГИС-проектах также отражены тектонические критерии, показывающие локализацию оруденения в разноранговых и разнотипных разрывных структурах. Геофизические критерии указывают на положение золотого оруденения в региональных гравиметрическом и аномальном магнитном полях России масштаба 1 : 2 500 000. Кроме того, в ГИС-проектах отражены геохимические критерии, указывающие на положение оруденения в границах геохимических таксонов благороднометалльной геохимической специализации. Космоструктурые критерии отражают положение золотого оруденения относительно кольцевых и линейных структур.

В ***металлогеническом блоке легенд*** введены обозначения металлогенических таксонов и их рудная специализация. Золоторудные объекты ранжированы по рангу – месторождения (крупные, средние, мелкие), проявления минерализации, их рудно-формационная принадлежность. Общее число месторождений, относимых на конец 2021 г. к большеобъемным черносланцевым и находящихся в базе данных, к «Карте закономерностей размещения большеобъемных черносланцевых месторождений золота Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000», составляет 125 шт., из них одно уникальное, 13 крупных, 35 средних и 76 малых. Кроме того, в базу данных включено 156 проявлений золотой минерализации этого типа. Количество эпитермальных месторождений, занесенных в базу данных ГИС-проекта «Карта закономерностей размещения и прогноза эпитермальных месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000», составляет 136 шт., из них семь крупных, 43 средних и 86 малых. Кроме того, в базу данных занесена информация по 231 проявлению эпитермальной золоторудной минерализации.

На основе анализа составленных карт закономерностей размещения и прогноза большеобъемных черносланцевых и эпитермальных месторождений золота территории Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000 в форме ГИС-проектов по степени проявленности и сочетанию в едином геологическом пространстве на территории Российской Федерации прогнозных критериев рекомендованы для постановки ГДП (ГМК)-200 конкретные листы Госгеокарты первой и второй очереди.

Общее число листов масштаба 1 : 200 000, перспективных на выявление в их пределах в промышленно значимых скоплениях разноранговых большеобъемных черносланцевых золоторудных объектов по территории Российской Федерации и постановки ГДП (ГМК)-200, составило 75 шт. При этом число номенклатурных листов, рекомендованных для постановки работ первой очереди, т. е. до 2035 г., составляет 20 шт., локализованных в Дальневосточном и Сибирском ФО. Для эпитермальных золоторудных объектов на территории Российской Федерации рекомендована постановка ГДП (ГМК)-200 на 89 номенклатурных листах, в том числе первой очереди – 48 шт., локализованных в Дальневосточном ФО.

Рекомендованные листы для постановки ГДП (ГМК)-200 в ГИС-проектах показаны отдельными тематическими слоями.

Молчанов В. П.[1], Цянь Е.[2], Сун Фенгуй[2]
[1] ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток; [2] Цзилинский университет, г. Чанчунь, Китай

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ И СЕВЕРО-ВОСТОКА КИТАЯ

Работа выполнена в рамках Международного договора между Дальневосточным геологическим институтом ДВО РАН (Владивосток, Россия) и Цзилиньским университетом (Чанчунь, Китай) «Геология рудных месторождений сопредельных территорий» № 1136.

В углеродсодержащих породах сопредельных территорий юга Дальнего Востока России и Северо-Востока Китая открыт новый перспективный тип источников стратегических металлов. Выявленные проявления благороднометалльно-редкоземельно-графитоносной минерализации образуют близмеридиональную полосу, протяженную от г. Дальнереченска на севере через г. Лесозаводск (Приморский край) до города Цзиси (провинция Хэйлундзян) на юге. Минералого-геохимические исследования были направлены на изучение состава, форм нахождения и природы благородных металлов графитоносных пород южного фланга этой полосы. Полученная информация позволит разработать методы прогноза, поиска и оценки стратегических металлов в углеродистых породах, разработать стратегию их вовлечения в сферу промышленного производства.

Ключевые слова: Дальний Восток России, Северо-Восток Китая, графитоносные породы, минералогия, геохимия, изотопия, графит, благородные металлы.

В последние годы резко вырос интерес к сопредельным территориям России и Китая со стороны государств. Уникальность географического положения региона, его научно-технический и оборонный потенциал имеют для обеих стран большое геополитическое значение. В то же время эффективность использования богатой сырьевой базы низка, что в первую очередь обусловлено рядом инфраструктурных и демографических ограничений. Необходимо обеспечить ускоренное развитие этих территорий и улучшить инвестиционный климат в макрорегионах. В этих условиях инновационный путь развития горнодобывающих предприятий состоит в поиске новых нетрадиционных источников критически важных для промышленности металлов, а также переходе к комплексной переработке добытого природного сырья, производству новых продуктов, конкурентоспособных на мировом рынке. При этом открытие новых нетрадиционных источников минерального сырья должно играть главенствующую роль.

В высокоуглеродистых породах Дальнего Востока России и Северо-Востока Китая, образующих широкую зону, вытянутую в субмеридиональном направлении вдоль границы Ханкайского и Цзямусы террейнов от г. Дальнереченска на севере через г. Лесозаводск до г. Цзиси (провинция Хэйлундзян), с участием авторов [1–3] выявлены новые перспективные проявления благороднометалльно-редкоземельной минерализации. В северной, российской, части этой полосы (Дальнереченская площадь) установлены пять месторождений (наиболее крупное – Филинское), в центре (Лесозаводская площадь) расположено 30 объектов, в том числе Тамгинское и Тургеневское месторождения, а в южном, китайском, сегменте (Машаньская площадь) размещено до 40 объектов, в том числе и графитоворудный гигант Люмао.

Исследования авторов благороднометалльной минерализации графитоносных пород Машаньской площади включали работы по реконструкции условий рудообразования в углеродистых породах, а также оконтуривание участков, перспективных на обнаружение стратегических металлов. При этом было впервые установлено, что рудная минерализация, ассоциирующая с графитом, характеризуется сложным полиминеральным составом и разнообразием форм распределения благородных металлов в виде самородных элементов, твердых растворов. Самородное золото чаще всего представлено частицами неправильных форм размером 1–10 мкм. По химическому составу они подразделяются на четыре группы: беспримесную, серебристую, медистую и серебросодержащую медистую. Первая из них объединяет золотины с очень высокой частотой (до 999 единиц). Вторая группа – частицы с содержанием Ag от 5,13

до 51,92 мас. %. В третью группу входят медьсодержащие (Cu обычно 0,92–1,37 мас. %, максимальное значение до 12,75 мас. %) без примеси серебра. Четвертая группа включает обособления трехкомпонентных твердых растворов золото-серебро-медь. Концентрация серебра в них не превышает 8,3 мас. %, а уровень содержания меди варьирует в пределах от 14,3 до 29,6 мас. %. В зафиксированных зернах твердого раствора на основе платины содержание железа и меди колеблется в диапазоне 8,7–10,9 и 1,4–1,5 (мас. %) соответственно. Размеры этих комковидных либо удлиненно-неправильных частиц обычно не превышают 2–3 мкм. Самородное серебро обнаружено в виде округлых выделений размером от 3 до 15 мкм. В некоторых из них присутствует медь (0,4–0,5 мас. %). В ассоциации с минералами благородных металлов часто фиксируются изометрические зерна (до 6 мкм) самородного никеля. В число других попутных минералов входят сульфиды (пирит, галенит), а также барит, рутил, монацит, ксенотим, хромферид, уранинит. Наряду с ними довольно редко встречаются тонкие минеральные фазы, содержащие вольфрам, ртуть, олово, медь, цинк, стронций и др.

Для оценки природы рудного вещества был изучен изотопный состав углерода графитов китайских объектов. Полученные данные об изотопно-углеродных характеристиках во многом сходны с опубликованными ранее сведениями о графитовых рудах российских месторождений [1–3]. Так, было установлено, что изотопный состав графита из метаморфитов амфиболитовой фации Тургеневского месторождения (от -8,5 до -8,8 ‰) близок к мантийному углероду. В графитах пород месторождения Люмао значения $\delta^{13}C$ сдвигаются в более легкую сторону (-11,5 ‰). Приведенные материалы свидетельствуют об участии производных глубинных восстановленных флюидных систем в формировании изученных российских и китайского месторождений сопредельных территорий. Общие источники рудного вещества определяют сходство их минералого-геохимических характеристик.

Полученная минералого-геохимическая и изотопно-геохимическая информация по проявлениям стратегических металлов в графитоносных породах Машаньской группы в дальнейшем может послужить основой для решения важных генетических вопросов, моделирования процессов рудообразования в высокоуглеродистых породах. Вовлечение благороднометалльно-редкоземельно-графитоносных объектов России и Китая в сферу промышленного производства послужит примером рационального природопользования, а также будет способствовать удовлетворению потребностей нашей страны в критически важных полезных ископаемых.

Список литературы:

1. Молчанов В. П., Андросов Д. В. Минералого-геохимическая и изотопно-углеродная типизация металлоносных образований Цзямусы-Ханкайской графитоносной провинции (Приморский край) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2019. – № 2. – С. 11–21. – DOI: 10.34078/1814-0998-2019-2-11-21.
2. Ханчук А. И., Плюснина Л. П., Молчанов В. П. Первые данные о золото-платиноидном оруденении в углеродистых породах Ханкайского массива, Приморье // Доклады Российской академии наук. – 2004. – Т. 379, № 4. – С. 524–529.
3. Ханчук А. И., Сун Фенгуй, Молчанов В. П., Гребенникова А. А., Гребенников А. В. Благородные металлы в графитосодержащих породах месторождения Люмао (Китай) // Доклады Российской академии наук. – 2017. – Т. 473, № 1. – С. 80–82. – DOI: 10.7868/S0869565217070179.

Морохин А. И., Шумилова Т. Г.
ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОКОЖЕЛЕЗИСТОЙ РАЗНОВИДНОСТИ БОРНИТА К ДИФФУЗИИ МЕДИ ПРИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МЕДНЫХ РУД

Исследования проведены в ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в рамках НИР госзадания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Авторы выражают благодарность Е. М. Тропникову за помощь в проведении микрозондовых исследований.

В связи с имеющимися сложностями корректного определения состава сульфидов меди на примере Волковского месторождения экспериментально показана устойчивость высокожелезистой разновидности борнита к диффузии меди. Результаты исследований имеют значение для корректного определения сортов и повышения эффективности обогащения медных руд.

Ключевые слова: Волковское месторождение, технологические сорта, борнит, диффузия меди, микрозондовый анализ.

Волковское месторождение относится к особому уральскому типу магматических месторождений меди, разработка которых в существенной мере определяется степенью окисления руд, не всегда являющейся однозначной. В соответствии со степенью окисления меди в руде комплексные Cu-Fe-V руды месторождения разделяются на три технологические сорта – окисленные, смешанные и первичные. Сульфиды меди в рудах преимущественно представлены борнитом и халькопиритом, меньшее значение имеют халькозин и ковеллин [2, 4, 5]. Несмотря на проведенные ранее технологические исследования [1], все еще имеется неопределенность в отношении степени устойчивости борнита и возможной диффузии меди при внешнем воздействии, что влияет не только на аналитические исследования минерала, но и на эффективность обогащения медных руд.

Ранее диффузия меди в сульфидах исследовалась в работе В. Л. Левина [3] на примере минералов ряда халькозин – анилит, была показана изменчивость состава приповерхностного слоя и сложность корректного определения минеральной фазы микрозондовым анализом. По мнению В. Л. Левина, процесс изменения состава сульфида связан с диффузией меди, вызванной нарушением поверхностного слоя при шлифовании сульфидов меди зернами абразива. Поверхность становится сильнодефектной, что приводит к диффузии меди в нарушенный слой из объема образца. Кроме того, указывалось, что время восстановления нарушенного слоя зависит от ориентировки плоскости аншлифа относительно кристаллографических направлений в зерне.

Целью настоящей работы являлось выяснение возможности диффузии меди в борните при микрозондовом анализе, а также выявление отклонения от стехиометрических соотношений между катионами и серой в борните в разных сортах медных руд. Изучены образцы высокожелезистой (розовой) разновидности борнита Северо-Западного участка Волковского месторождения.

В работе использовались оптическая микроскопия в отраженном свете (микроскоп ПОЛАМ-215, ЛОМО, Санкт-Петербург, Россия) и сканирующая электронная микроскопия (VEGA 3 TESCAN, Tescan, Чехия) с энергодисперсионным спектрометром VEGA 3LMN, INCAENERGY 450 (аналитик Е. М. Тропников). Для выявления вероятной диффузии меди в борните микрозондовый анализ проводился на поверхности полированных шлифов в широком диапазоне интенсивности рентгеновского излучения (85–750 pA) с постепенным увеличением интенсивности рентгеновского излучения до максимального значения и повторным анализом в той же точке анализа при наименьшей интенсивности пучка. Полирование производилось с использованием пасты Гои № 2 (Cr_2O_3, 65–77 %) с крупностью абразива 1–7 мкм. Свежеполированная поверхность борнита сразу же покрывалась углеродным напылением во избежание окисления в атмосфере кислорода воздуха.

Согласно микрозондовому анализу свежеполированного борнита при интенсивности пучка в диапазоне от 85 до 750 pA значение формульных коэффициентов находится в следующих

пределах: Cu = 4,52 ÷ 4,61, Fe = 0,97 ÷ 0,99 (при расчете на 4 атома серы). При повторном анализе с наименьшей интенсивностью пучка (85 pA) разница для формульного коэффициента меди составляет всего 0,03, что можно считать в пределах погрешности микрозондового анализа, а для железа коэффициент остается неизменным. Таким образом, диффузии меди при микрозондовом анализе практически не наблюдается, борнит ведет себя устойчиво при воздействии интенсивного рентгеновского излучения.

Формульные коэффициенты розового борнита в разных типах руд имеют разное соотношение меди и железа. Соотношение атомов Cu/Fe в борните первичных и смешанных руд в среднем составляет 4,75 и 4,71 соответственно, в окисленных рудах падает до 4,0 по сравнению со стехиометрическим соотношением 5. Следует отметить, что в борните исследованных сортов медных руд в целом наблюдается относительный дефицит суммы металлов по отношению к сере – в окисленных рудах он составляет 1,4, в то время как в первичных и смешанных рудах в среднем 1,43 и 1,44 соответственно при стехиометрическом соотношении 1,5. При этом заметные вариации элементного состава борнита наблюдаются в окисленных рудах, в то время как в первичных и смешанных рудах его состав остается практически постоянным.

Состав окисленной полированной поверхности розового борнита, изученной микрозондовым анализом в аналогичных условиях, в рамках погрешности метода соответствует указанному выше составу свежеполированного борнита.

Таким образом, результаты изучения розового борнита Волковского месторождения, отличающегося существенным дефицитом меди, не показывают признаков ощутимой диффузии меди, как при низкой, так и высокой энергии возбуждающего рентгеновского излучения. Установлена зависимость понижения степени окисленности руд по мере удаления от дневной поверхности и отклонения состава борнита от стехиометрических соотношений. В целом проведенные исследования показали достаточно стабильное поведение борнита под электронным пучком в ходе накопления сигнала при микрозондовом анализе, а также отсутствие заметного изменения состава при окислении поверхности в рамках технических возможностей метода, учитывая глубину возбуждаемой области анализа до 5 мкм от поверхности образца.

Список литературы:

1. Изоитко В. М. Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб. : Наука, 1997. – 582 с.
2. Кашин С. А. Медно-титаномагнетитовое оруденение в основных интрузивных породах Урала // Труды. ГИН АН СССР. – 1948. – № 9. – С. 132.
3. Левин В. Л. О диагностике сульфидов меди от халькозина до анилита // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1986. – № 9. – С. 131–133.
4. Нечкин Г. С., Полтавец З. И. Некоторые генетические особенности медных руд с благороднометальной минерализацией на Волковском месторождении (Средний Урал) // Ежегодник, 2002. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН, 2003. – С. 286–290.
5. Полтавец Ю. А., Полтавец З. И., Нечкин Г. С. Волковское месторождение титаномагнетитовых и медно-титаномагнетитовых руд с сопутствующей благороднометалльной минерализацией (Средний Урал, Россия) // Геология руд. месторождений. – 2011. – Т. 53, № 2. – С. 143–157.

Мочалов А. Г.
ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И КРИТЕРИИ ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНЫ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАССИВОВ АЛДАНСКОГО ЩИТА

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-27-00342.

Обсуждаются пять генетических платинометалльных минералого-геохимических типов щелочно-ультраосновных массивов Кондёр и Чад Алданского щита и критерии их поисков.

Ключевые слова: минералы платиновой группы, платинометалльные месторождения, генезис, типоморфные качества, критерии поисков, ультраосновные формации, массив Кондёр, Алданский щит.

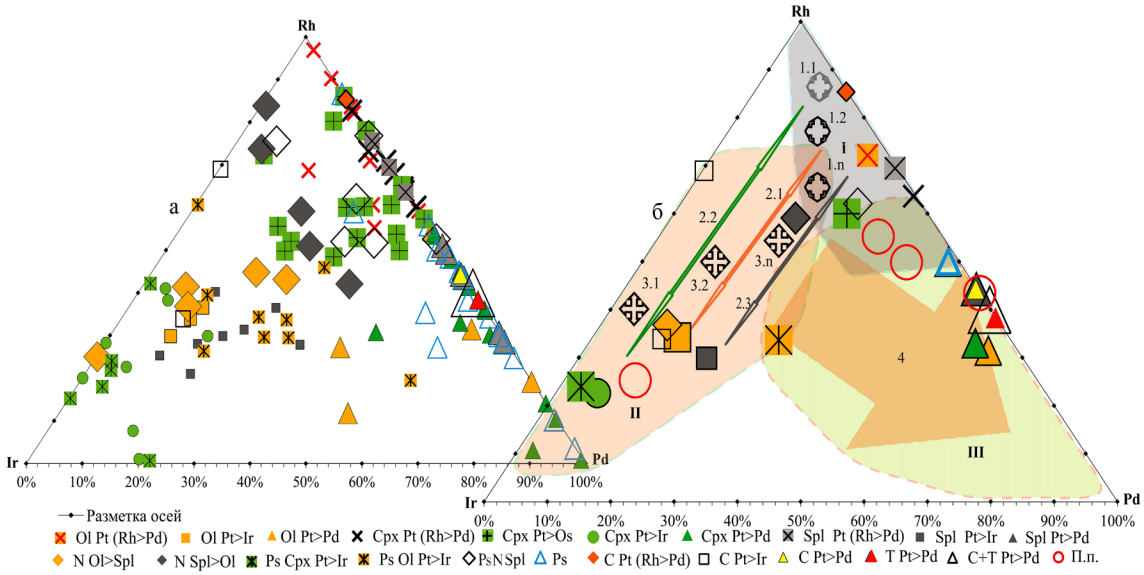
В литосфере к самостоятельным ультрамафитовым формациям относятся мантийные дунит-перидотитовые тектониты с кумулятивными магматическими образованиями офиолитов и магматические плутоны: 1) островодужные габбро-пироксенит-дунитовые (ГПД) складчатых областей; 2) щелочно-ультраосновные (ЩУ) кристаллических щитов. Дальневосточный регион России включает обширные пространства фанерозойской активной континентальной окраины Палео-Пацифики и претерпевшего мезозойскую активизацию восточного края Сибирской платформы. Многоплановость тектонической позиции региона с проявлениями всех ультрамафитовых формаций с платинометалльной минерализацией и руд открыли широкие возможности для фундаментальных исследований по геологии, минералогии и геохимии элементов платиновой группы (ЭПГ). ЭПГ являются индикаторами рудообразующих процессов, от хондритов до мантии, ее реститов и магматических образований. Каждый этап формирования и преобразования ультрамафитовых формаций фиксируется формированием или изменением минералов платиновой группы (МПГ) и их типовых ассоциаций. При этом некоторые минералого-геохимические типы МПГ достигают параметров месторождений платиновых металлов. Собранный за период 1976–2023 гг. фактический материал позволил сформулировать ряд представлений о природе платинометалльных пород, генетической минералогии и геологии рудных месторождений ЭПГ в процессах формирования ультрамафитовых формаций. В ультрамафитовых формациях наиболее значимые проявления МПГ главным образом россыпеобразующие. Хотя они приурочены к изначально кумулятивным магматическим комплексам, но в большей мере связаны с их метаморфогенными и метасоматическими производными. Степень развития механизмов формирования ультрамафитовых формаций – магматического, метасоматического и метаморфического – отражается на промышленном потенциале минералого-геохимических типов МПГ. И в связи с этим каждая отдельная ультрамафитовая формация отличается по распространенности типов платинометалльных руд. На основе генетической минералогии ЭПГ удалось обозначить ряд типоморфных критериев развития промышленного россыпеобразующего потенциала отдельных ультрамафитовых формаций. Наиболее важные из критериев касаются характеристики главных МПГ этих формаций – минералов самородных ЭПГ: группы платины и группы осмия, иридия и рутения. При геологических поисках такие типоморфные критерии по главным МПГ наиболее доступны. Эти же критерии указывают, какая ультрамафитовая формация является «родителем» МПГ и к какому минералого-геохимическому и генетическому типу этой формации их следует относить [1–3].

В данной работе предпринята попытка осветить подход разработки основных типоморфных критериев распространения россыпеобразующих формаций и россыпных месторождений платиновых металлов ЩУ массивов Алданского щита. В основе критериев – исследования главных россыпеобразующих минералов группы самородной платины (МГСП) из уникального каскада россыпных месторождений платиновых металлов рек Кондёр-Уоргалан (с запасами около 130 т) и среднего по запасам руч. Моховой (около 5 т), а также из сколков пород и руд их коренных источников – полициклических, многофазных зонально-кольцевых ЩУ массивов, соответственно Кондёр и Чад (Аяно-Майский район Хабаровского края). Важно подчеркнуть, что эти россыпные месторождения, их россыпеобразующие формации и сами массивы Кондёр и Чад несколько различаются. Различия выражены: 1) в геологическом строении – распространении ультраосновных, основных, щелочных и гранитоидных магматических пород (дуниты, верлиты, пироксениты, косьвиты, горнблендиты, габбро, щелочные сиениты и их пегматиты, монцодиориты, субщелочные граниты) и разнообразии их метасоматических производных; 2) в многократности синмагматической рекристаллизации дунитов и пироксенитов; 3) в распространении генетических и минералого-геохимических типов МПГ; 4) в строении россыпей и запасах платиновых металлов; 5) в ^{190}Pt–^{4}He возрасте МГСП и рудообразующих процессов [4] и т. д. Ранние магматические дуниты под влиянием ультраосновных, основных, щелочных и гранитоидных интрузий подверглись синмагматической перекристаллизации, ре-

кристаллизации и метасоматическому преобразованию. Этим обусловлено распространение фациальных разновидностей дунитов и их метасоматитов, с другой стороны – образование пяти самостоятельных минералого-геохимических и генетических типов МПГ. Pt тип – магматогенный в мелкозернистых дунитах и пироксенитах. Pt (Rh > Pd) тип – магматогенно-флюидно-метасоматический в перекристаллизованных крупнозернистых дунитах с микровключениями в оливине (Ol) хромшпинелида (Spl), магнетита (Mt) и клинопироксена (Cpx). Pt > Os тип – магматогенно-флюидно-метасоматический в шлирах и жилах клинопироксенитов в дунитах. Pt > Ir тип – флюидно-метаморфогенный в рекристаллизованных дунитах, клинопироксенитах и хромититах. Pt > Pd тип – магматогенно-флюидно-метасоматический в метасоматитах по дунитам и пироксенитам. МПГ Pt типа происходят в условиях петрогенезиса из щелочной пикритовой магмы хромшпинелид-оливиновых и оливин-клинопироксеновых кумулятов. Формирование Pt (Rh > Pd) и Pt > Os типов происходит при взаимодействии раннего кумулята с пикритовым расплавом. Образование Pt > Ir типа осуществляется в процессах синмагматической рекристаллизации ранних ультраосновных кумулятов за счет преобразования и сегрегации МПГ Pt типов в межзерновом пространстве силикатов. Pt > Pd тип формировался в метасоматитах: жильных хромититах, клинопироксенитах, апатит-титаномагнетит-биотитовых клинопироксенитах, амфиболитах, цеолитах и серпентинитах. В россыпных и коренных месторождениях ШУ массивов на сегодня установлены около 100 видов МПГ. Главными минералами всех генетических и минералого-геохимических типов объектов здесь является МГСП. МГСП главным образом представлены изоферроплатиной, в меньшей мере ее криптоагрегатами с самородной платиной и тетраферроплатиной.

На Кондёре основой исследований явилась собранная коллекция МГСП: 1) из протолочных проб (п. п.) дунитов, клинопироксенитов, хромититов; 2) из элювия обнажений и россыпей ручьев в срастаниях с Ol, Cpx, Spl, Mt, амфиболом (Am), флогопитом (Phl), биотитом (Bt), апатитом (Ap), серпентином (Srp), хлоритом (Chl), цеолитами, самородным золотом и сульфидами Cu, Fe и Ni. В их число входили небольшие самородки МГСП (N) из дунитов с небольшим количеством хромшпинелидов (Ol > Spl) и, наоборот, (Spl > Ol), кристаллические индивиды (C) и кристаллические двойники (T) и псевдоморфозы (Ps). Последние содержали реликты протоминералов различных минералого-геохимических типов МПГ (Ps Cpx и т. д.). Перечисленные сростки МГСП изучены визуально и микроскопически в полированных шлифах, а их полный химический состав установлен с помощью рентгено спектрального микрозондового анализа в СВКНИИ ДВО, ИГЕМ, ГЕОХИ и ИГГД РАН (рисунок). В результате определена принадлежность изученных образцов МГСП к минералого-геохимическим и генетическим типам МПГ дунитов, пироксенитов и метасоматитов, образованных под влиянием монцонитовых, щелочных и гранитоидных расплавов.

Полученные результаты (см. рисунок) дополняют разрабатываемую полициклическую модель формирования минералого-геохимических типов МПГ россыпеобразующих формаций массива Кондёр. В поле Pt-типа (Rh > Pd) (см. рисунок), автономные направления 1.1, 1.2…1.n в сторону Ir соответствуют высокотемпературной метасоматической перекристаллизации ультраосновных пород. При этом оливины дунитов насыщаются микровключениями Spl, Mt и Cpx и МПГ магматогенно-флюидно-метасоматического Pt типа. В поле Pt > Ir-типа (см. рисунок) в результате синмагматической рекристаллизации дунитов под воздействием ортомагматического флюида щелочного пикритового расплава (о чем свидетельствуют отрицательные кристаллы силикатов в МПГ, [1]) образуются сегрегации МГСП в срастаниях с Cpx, Srp и Spl (соответственно 2.1, 2.2, 2.3) в межзерновом пространстве Ol. Ксенолиты ранних МГСП Pt > Ir типа с высоким содержанием Ir в поздних МГСП Pt > Ir типа с более низкими содержаниями Ir указывают на направления автономных их сегрегаций (от 3.1, до 3.2…3.n). Такие разновременные сегрегации МГСП Pt > Ir типа обусловлены воздействием флюидов различных циклических инъекций пикритовой магмы. О том, что инъекции пикритов происходили из единого магматического источника, говорят сходные состав Cpx и Spl в срастаниях с автономными выделениями ранних (насыщенных Ir) и поздних (менее насыщенных Ir) МГСП. В поле Pt > Pd типа (см. рисунок) попадают продукты растворения ранних МПГ Pt (Rh > Pd) и Pt > Ir типов в срастаниях с Cpx, Spl и Ol (протоминералы), псевдоморфозы и новообразованные минеральные



Соотношения атомарных количеств Ir, Pd и Rh сколков МГСП с минералами силикатной матрицы выделенных типов МПГ массива Кондёр (расшифровка условных обозначений в тексте):

а – все изученные образцы, у кристаллов и двойников приведены средние значения (более 200 анализов); б – средние значения сколков и протолочных проб, с указанием модельных полей и направлений генетической эволюции типов: I – Pt (Rh > Pd) 1.1→1.n; II – Pt > Ir 2.1-2.3, 3.1→3.n; III – Pd > Pt 4 (расшифровка в тексте)

агрегаты и кристаллические индивиды МГСП. Эволюция их распространения идет в направлении Pd (4). МГСП Pt > Pd типа сопровождают срастания Mt, Cpx, Am, Phl, Bt, Ap, Srp, Chl, цеолитов, самородного золота и сульфидов Cu, Fe и Ni, также включения отрицательных кристаллов силикатов в МПГ. Состав таких сростков и включений в МПГ указывает на влияние монцонитовых, щелочных и гранитоидных интрузий на образование метасоматитов с МГСП Pt > Pd типа.

Разработанные критерии распространения МГСП минералого-геохимических и генетических типов полициклического, многофазного зонально-кольцевого ЩУ массива Кондёр применены к составу МГСП «шлиховой платины» россыпных месторождений рек Кондёр-Уоргалан и руч. Моховой. Это позволило рассчитать следующие важные параметры: 1) Установить запасы минералого-геохимических и генетических типов МГСП в россыпных месторождениях; 2) Определить распространенность типов ранних и поздних эрозионных срезов каждого массива (зная запасы МГСП месторождений в разновозрастном аллювии); 3) Определить потенциал типов платинометалльных россыпеобразующих формаций каждого массива; 4) Аналогичным образом сопоставить с другими известными платинометалльными месторождениями ЩУ массивами Алданского щита: Инагли, Дарья и Сыбах, а в случае обнаружения новых россыпных проявлений можно обозначить их перспективу уже на стадиях поисков и разведок.

Сопоставление потенциала типов россыпеобразующих формаций ЩУ массивов указывает на степень развития платинометалльного рудообразования в зависимости от их геологического строения и времени рудообразующих процессов в пределах тектоно-магматической активизации Алданского щита. Подтверждаются следующие положения: 1) чем больше в главных россыпеобразующих Pt > Ir и Pt > Os типах Ir, Os и Ru в виде элементов-примесей и минералов-включений в МГСП, тем меньше перспектива россыпного объекта у ЩУ массива; 2) моноциклические и бициклические ЩУ массивы с преимущественным распространением Pt и Pt (Rh > Pd) типов формируют лишь площадные россыпных проявления МПГ.

Список литературы:

1. Мочалов А. Г. Замечательные минералы платины массива Кондёр (Хабаровский край) // Минералогический Альманах. – 2019. – Т. 23, вып. 3. – 128 с.

2. Мочалов А. Г. Модель развития минералов платиновой группы габбро-пироксенит-дунитовых кумулятивных комплексов Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 171–188.
3. Мочалов А. Г. «Шлиховая платина» россыпей Дальнего Востока России : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учен. степ. д-ра геол.-миненрал. наук. / Александр Геннадьевич Мочалов – М. : ИГЕМ, 2001. – 300 с.
4. Мочалов А. Г., Якубович О. В., Бортников Н. С. ^{190}Pt–^{4}He-датирование россыпеобразующих минералов платины щелочно-ультраосновного массива Чад: новое подтверждение полициклличности платинометального рудообразования // ДАН. – 2022. – Т. 504, № 1. – С. 13–21.

Мухаммедов Ж. Э.
ГУ «ИМР», г. Ташкент

ОПТИМАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРОБОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКЕ МЕДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Оценка представительности и достоверности методов опробования, применяемых при добыче медных руд месторождений Олий Зиё.

Ключевые слова: эксплуатационная разведка, представительность опробования, блочные модели, интервалы опробования, варианты опробования.

Эксплуатационная разведка занимает особое место в промышленном освоении месторождений цветных металлов. С одной стороны, она является заключительной стадией геологического изучения месторождения, а с другой, первым и неотъемлемым этапом добычных работ. Именно результаты эксплуатационной разведки позволяют принять оптимальные технологические решения [1].

Исходя из актуальности темы, можно вернуться к ней, используя пример эксплуатационной разведки крупнейшего разрабатываемого в Центральной Азии медно-порфирового месторождения (Кальмакыр, Ёшлик), в настоящее время Олий Зиё.

В лаборатории достоверности опробования отдела «Методики геологоразведочных работ» ГУ «ИМР» в 2022 г. были выполнены договорные работы по выбору оптимальных вариантов методики опробования при эксплуатационной разведке медно-порфировых месторождений. Учитывались не только геологические факторы, но и оценивались экономические показатели каждого варианта опробования в процессе эксплуатационной разведки.

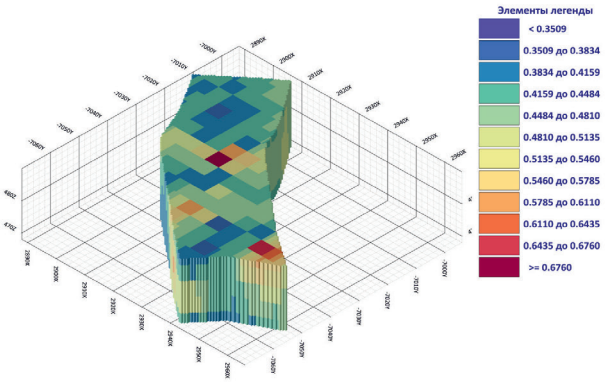
Для обоснования оптимальной методики описываемой стадии на месторождениях Кальмакыр и Ёшлик проведены исследования на имитационной модели месторождения, составленной по данным опробования шламового материала – геологическим параметрам с использованием программного обеспечения Micromine. Модель месторождения отражает реальный объект. На ней были испытаны сети размером 8 × 8 м, интервал опробования для всех вариантов осуществлен через 5 и через 15 м.

В расчетах для каждого варианта опробования при эксплуатационной разведке были получены следующие данные: масса руды, среднее содержание меди в руде и количество металла.

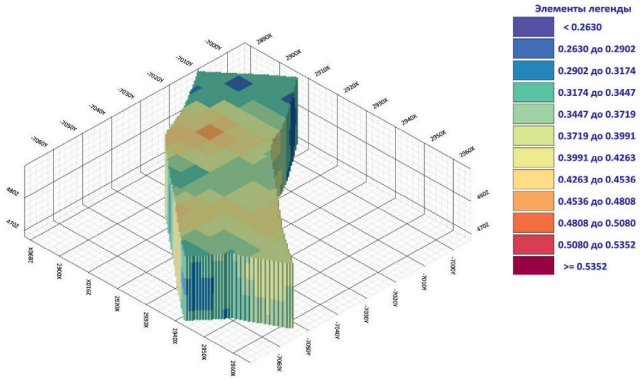
Оптимальные параметры эксплуатационной разведки выбирались в первую очередь по содержанию металла, которое показывало пространственное размещение рудного тела (см. рисунок).

В пределах каркасной модели были построены варианты блочных моделей. Размеры блоков выбраны исходя из морфологии рудных залежей, параметров эксплуатационной сети, предполагаемой высоты уступа карьера и ожидаемого размера минимальной выемочной единицы и составили 8 × 8 м.

Интерполяция содержаний в блочную модель выполнялась методом кригинга. Поиск данных выбран в соответствии с основными направлениями анизотропии, определенными по результатам вариограммного анализа.



Модель экспериментального блока по сети 8х8м, опробование через 5,0 м, (*Cu*) глубина скважины15м.



Модель экспериментального блока по сети 8х8м, 1 проба (*Cu*) глубина скважины15м.

Сопоставление результатов подсчета при разных вариантах интервалов опробования

№ блока	Вариант 1			Вариант 2			Разница, абс.			Разница, абс.		
	Длина пробы 15 м			Длина пробы 5 м								
	Запасы руды, тыс. т	Сред. сод., %	Запасы металла, тыс. т	Запасы руды, тыс. т	Сред. сод., %	Запасы медь, кг	Запасы руды, тыс. т	Сред. сод., %	Запасы медь, т.	Запасы руды	Сред. сод.	Запасы медь
1-490	130,3	0,47	595,1	130,3	0,46	591,1	0	-0,01	-4	0,0	-2,2	-0,7
2-490	106,9	0,40	423,9	106,9	0,37	393,9	0	-0,03	-30	0,0	-8,1	-7,6

Интерполяция проводилась в несколько интеграций с радиусами, составляющими 2/3 от зоны влияния, 1 зона влияния и 2 зоны влияния при первом, втором и третьем прогоне соответственно.

Экспериментальные исследования по представительности и достоверности опробования проводились при эксплуатационной разведке горизонта +490 м по блокам №1-490 и 2-490.

По полученным результатам из двух блоков (таблица) видно, что по оценке запасов металла и содержаний существенно не отличаются друг от друга, но результаты опробования при длине пробы 5 м более надежны. Однако следует учитывать, что буровая установка СБШ-250 не приспособлена для отбора проб длиной 5 м, и уменьшение длины пробы с 15 до 5 м требует больших временны́х и материальных затрат.

Список литературы:

1. Троицкий В. В. Опыт эксплуатационной разведки на месторождении Павлик // Золотодобыча. – 2018. – № 11. – С. 36–38.

Николаев Ю. Н., Балыкова И. В., Бакшеев И. А., Калько И. А., Аплеталин А. В.
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ПОИСКОВАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ, СВЯЗАННОГО С ИНТРУЗИЯМИ

В докладе рассматриваются условия формирования, закономерности размещения, особенности состава, зональность и поисковые признаки золотого оруденения, связанного с гранитоидами крупного магматогенного поднятия (Западная Чукотка).

Ключевые слова: геохимические критерии, поисковые признаки, поисковая модель.

Для определения перспективности оруденения при поисках на обширных площадях ранга рудных районов и узлов весьма продуктивным для прогноза является использование современных геолого-генетических моделей. Наиболее известными и получившими общее признание являются, например, модели порфирово-эпитермальных систем и систем золота, связанных с интрузиями (IRGS).

В отличие от повышенного интереса западных исследователей к месторождениям золота в гранитоидах, в отечественной литературе им уделено гораздо меньше внимания. В публикациях российских авторов [1, 4] за основу прогноза принята геолого-поисковая модель золоторудных систем, связанных с интрузиями (IRGS), разработанная для рудного пояса Тинтин на примере хорошо изученных месторождений Аляски и Юкона [2, 3]. При всех достоинствах поисковая модель не содержит ряда важных, прежде всего геохимических, характеристик и параметров промышленно-значимых объектов этого типа и критериев оценки уровня эрозионного среза на основе исследования геохимической зональности.

Одной из перспективных территорий на выявление новых IRGS является Южно-Анюйская металлогеническая зона с крупным золоторудным месторождением Кекура, где в результате работ последних лет были заверены многочисленные геохимические аномалии ранга потенциальных рудных полей в гранитоидах крупного магматогенного поднятия.

В границах развития интрузивного магматизма и широко проявленной россыпной золотоносности выделяют Стадухинский рудно-россыпной район. Локальные интрузивно-купольные структуры гранитоидных массивов являются рудогенерирующими центрами или рудно-магматическими структурами (РМС) более высокого порядка, с которыми связано золотое оруденение. В пределах района важнейшее значение имеют диагональные разломы, контролирующие размещение месторождений и проявлений золота.

Основным этапом интрузивного магматизма, с которым связана активная гидротермальная деятельность, является конец раннего мела. В интервале 113–100 млн лет (U-Pb датирование) на территории района в результате внедрения гранитоидов сформировалась купольно-кольцевая структура диаметром около 80 км. В развитии РМС выделены этапы, связанные с разными фазами внедрения и формирования 3 основных типов оруденения: золоторедкометалльного, золотокварцевого и золотосеребряного.

Структура аномального геохимического поля в плане в пределах магматогенного поднятия, в границах которого выделяется рудный район, представлена: 1) ядерной зоной с крупным золоторудным месторождением Кекура и однотипными проявлениями ближнего круга, относящимися к золотокварцевому березитовому типу; 2) промежуточной зоной с проявлениями золоторедкометалльного теллуридно-висмутового оруденения в гранитоидах; 3) внешней зоной, в которой впервые для подобных систем выявлены золотосеребряные проявления в терригенных породах рамы, имеющие промышленные перспективы.

Золотокварцевое оруденение приурочено к центральной части рудно-магматической системы, пространственно и генетически связано с поздней гранит-гранодиоритовой фазой интрузивов, выделяется по высокоинтенсивным вторичным ореолам золота, мощным зонам березитов и развалам кварцевых жил с видимым золотом. Золотокварцевое оруденение в трещиноватых породах осадочной рамы служит основным источником россыпей золота.

Золоторедкометалльное оруденение выявлено во всех массивах центральной и периферийных частей магматогенного поднятия. Пространственно и генетически связано с ранней (мон-

цонит-диорит-гранодиоритовой) фазой интрузивных массивов. Представлено зонами тонких жил и прожилков с маломощными березитовыми оторочками, не выходит в породы осадочной рамы. Визуально фиксируется на поверхности в крупных глыбах гранитоидов. Содержит вкрапленность сульфидов, теллуридов, видимое золото. Выделяется по интенсивным ореолам Au, As, Bi, W, имеющим линейно-цепочечную морфологию.

Золотосеребряное оруденение распространено на периферии магматогенного поднятия в породах осадочной рамы. Приурочено к системам разрывных нарушений, вмещающих серии даек. Выделяется по вторичным ореолам Au, Ag, As, Pb, Cu и Zn, образующим протяженные аномальные зоны. Прослеживаются по среднеглыбовым развалам жильного кварца, сопровождающим выходы даек.

В результате минералогических и термобарохимических исследований получены новые данные о параметрах рудообразования, глубинах формирования и пульсационном характере рудно-магматического процесса в Стадухинском рудно-россыпном районе.

В наиболее ранний этап из рудоносного флюида (T = 340–370 °С, соленость 1,4–6,4 мас. % NaCl экв.), связанного с восстановленными магмами, на глубине 2–3 км сформировалось типичное для систем IRGS золоторедкометалльное оруденение (арсенопирит, шеелит, пирит, висмутин, самородный висмут, теллуриды и сульфотеллуриды висмута, самородное золото), которому соответствует геохимическая ассоциация Au-Te-Bi-Fe-S-As-(Cu, Mo). Золото распределено равномерно, с тенденцией некоторого роста концентраций к верхним частям интервала. Халькофильные элементы, за исключением меди, не играют значимой роли.

В более поздний этап на глубинах, сопоставимых с выделяемой авторами [3] «эпитермальной зоной», из рудоносного флюида (T = 230–270 °С, соленость 3,1–5,9 мас. % NaCl экв.), связанного с второй фазой внедрения, сформировалось богатое убогосульфидное золотокварцевое (арсенопирит, шеелит, галенит, сфалерит, блеклая руда, самородное золото) оруденение месторождения Кекура и ряда участков ближней периферии.

В заключительный этап гидротермальной деятельности, вероятно связанный с внедрением поздних даек, из углекисло-водных растворов (T = 270–300 °С, соленость 4–14 мас. % NaCl экв.) формировалась золотосеребряная минерализация (арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды, Sb и Pb-Sb сульфосоли серебра, акантит, самородное золото), состав которой становится существенно халькофильным (Au-As-Ag-Pb-Zn-Sb).

Общий ряд вертикальной геохимической зональности рудно-магматической системы (снизу вверх): Bi-Te-Na-Cu-S-As-Co-Fe- K-W-Al-Mg-Ni-Au-Mo-Ca-Sb-Mn-Zn-Pb-Ag.

Для оценки уровня среза выходящих на поверхность проявлений золота рекомендуется геохимический показатель зональности общего вида AgSbPb / BiWMoCuAs. Дополнительным критерием оценки эродированности рудных систем является пробность золота, изменяющаяся с глубиной от низкой в золотосеребряных жилах (600 ‰) к средней в золотокварцевых рудах (840 ‰) и высокопробному в золоторедкометальном типе (> 900 ‰).

Средний уровень эрозионного вскрытия рудно-магматической системы района соответствует нижним частям эпитермальной зоны.

Список литературы:

1. Волков А. В., Сидоров А. А. Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. – 2018. – № 3 (31). – С. 84–99.
2. Hart C. R. J. Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems // The Gangue, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. – 2005. – I. 87 (1). – P. 2–9.
3. Lang J., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // Mineral. Deposits. – 2001. – № 36 (6). – P. 477–489.
4. Vikent'eva O. V., Prokofiev V. Yu., Gamyanin G. N., Goryachev N. A. Bortnikov N. S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // Ore Geol. Rev. – 2018. – V. 102. – P. 240–259.

Носова А. А.[1], Копылова М. Г.[2], Каргин А. В.[1], Лебедева Н. М.[1], Возняк А. А.[1], Сазонова Л. В.[3]
[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] The University of British Columbia, Vancouver;
[3] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ИСТОЧНИКИ РАСПЛАВОВ КИМБЕРЛИТОВ И ЛАМПРОФИРОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ И КОЛЬСКОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ПРОВИНЦИЙ ПО Rb-Sr, Sm-Nd И U-Pb ИЗОТОПНЫМ ДАННЫМ

Исследования поддержаны грантом РНФ 19-17-00024.

Рассмотрены Rb-Sr, Sm-Nd и U-Pb изотопные характеристики лампрофиров и кимберлитов одновозрастных и пространственно сопряженных Кольской щелочной (КЩП) и Архангельской алмазоносной провинций (ААП). Общность формирования ААП с промышленно-алмазоносными кимберлитами и КЩП с щелочно-ультраосновными лампрофирами и массивами с карбонатитами показывает, что возрастная и пространственная сопряженность таких магматических проявлений не является отрицательным критерием алмазных месторождений.

Ключевые слова: кимберлиты, лампрофиры, Nd и Sr изотопный состав, Архангельская алмазоносная провинция, Кольская щелочная провинция.

Ультрамафические карбонатно-силикатные лампрофиры – айликиты – имеют существенное петрографическое, минералогическое и геохимическое сходство с кимберлитами [3]. Выяснение генетических взаимоотношений кимберлитов и лампрофиров имеет не только фундаментальный научный, но и практический интерес. Фундаментальное значение изучения этих пород определяется тем, что кимберлиты и ультрамафические лампрофиры формируются наиболее глубинными расплавами, доставляющими вещественные свидетельства состава глубоких горизонтов верхней и даже нижней мантии. Практическая важность проблемы связи (или ее отсутствия) кимберлитов и ультрамафических лампрофиров имеет отношение к прогнозированию и поискам алмазных месторождений, которые приурочены только к кимберлитам.

Несмотря на то что и кимберлиты, и лампрофиры образуются за счет глубинных мантийных выплавок, принято считать, что источники этих первичных расплавов принципиально различаются по составу и глубине залегания. Лампрофиры зарождаются в метасоматизированной литосферной мантии [11]; кимберлиты, напротив, происходят из астеносферной конвектирующей мантии под наиболее мощной литосферной континентальной мантией [10].

Однако в ряде работ, посвященных как природным объектам, так и экспериментальным [4, 5], было показано астеносферное происхождение и сходство первичных расплавов кимберлитов и айликитов, а также то, что значительная часть различий между айликитами и кимберлитами связана с особенностями взаимодействия расплавов с литосферной мантией в ходе их подъема к поверхности.

Известно не столь много случаев пространственного совмещения одновозрастных кимберлитов, ультрамафических лампрофиров и карбонатитов – например, неопротерозойские и мезозойские проявления в Западной Гренландии, палеопротерзойские проявления в Западной Австралии и юрские проявления в Южной Австралии [2]. Хорошим примером одновозрастных пространственно совмещенных проявлений кимберлитового и лампрофирового магматизма являются Архангельская алмазоносная (ААП) и Кольская щелочная (КЩП) провинции.

В настоящем сообщении мы рассматриваем мантийные источники кимберлитов и лампрофиров этих провинций и особенности локализации кимберлитов в них.

Внедрение алмазоносных кимберлитов ААП происходило 375–380 млн лет назад (Ларионова и др., 2016 г.), щелочно-ультраосновных лампрофиров и кимберлитов КЩП – также 375–377 млн лет назад [1]. В ААП кимберлиты сопровождаются щелочными пикритами, айликитами, карбонатитами, мелилититами. В КЩП кимберлиты расположены на юго-востоке на границе с ААП, где соседствуют с одновозрастными дайками лампрофиров и щелочно-ультраосновным с карбонатитами массивом Турий Мыс (373,1 ± 5,6 Ма, [6]).

Нами было проведено петрографическое, геохимическое и изотопное изучение лампрофиров КЩП в районе Кандалакши и на Турьем Мысе, а также кимберлитов КЩП (трубка Ерма-

ковская) и ААП. Анализ полученных нами и опубликованных Rb-Sr, Sm-Nd и U-Pb изотопных данных для кимберлитов и лампрофиров обеих провинций показал сильную гетерогенность их изотопного состава, что указывает на вклад в формирование пород нескольких источников [9].

Как показывают изотопные данные, первичные расплавы щелочно-ультраосновных пород происходят из астеносферного источника, но затем эти расплавы были в той или иной степени модифицированы при взаимодействии с литосферой.

Щелочно-ультрамафические лампрофиры Кандалакши имеют наиболее радиогенные изотопные составы Nd (εNd(375) = 1,7–5,2) и Pb при низких ($^{87}Sr/^{86}Sr$)t < 0,7041. Такие особенности изотопного состава Nd сближают их с кимберлитами трубки Гриба (εNd(t) от -1,2 до 1,5) и Кепинского поля (εNd(t) от -0,2 до 2,8) в ААП. Мы полагаем, что литосферная мантия, метасоматизированная непосредственно перед взаимодействием с астеносферными выплавками, внесла вклад в эти породы. В качестве метасоматизирующего агента могли выступать протокимберлитовые расплавы, близкие к айликитам [5].

Трубка Ермаковская и лампрофиры Турьего мыса при сравнении с породами Кандалакши при таких же низких ($^{87}Sr/^{86}Sr$)t < 0,7042 имеют более низкие величины εNd(375) от +1,3 до –2,1 и наименее радиогенный Pb. Такие Nd изотопные характеристики позволяют сопоставить их с кимберлитами Золотицкого поля (εNd(t) от -2,2 до -5,3) и реки Мела (εNd(t) от -4,6 до -4,8) в ААП. Предполагается вклад в эти породы древней литосферной мантии.

Трубка Ермаковская и кимберлиты Золотицкого поля и р. Мела расположены в прилегающих к друг другу областях этих провинций. Территория их распространения вытянута вдоль простирания палеопротерозойского Лапландско-Кольского орогенного пояса, что с учетом низких значений εNd(375) в этих породах может указывать на вклад общего локального древнего источника. Позиция ААП и КЩП в области влияния на литосферу орогенных событий 2,1–1,7 млрд лет и присутствие в ареале пород КЩП производных плавления надсубдукционно-метасоматизированной мантии – орогенных лампроитов Порьей Губы [8] – позволяют утверждать, что литосферная мантия такого типа распространена под этими провинциями, вероятно, в виде реликтового домена. Наши расчеты показали, что вероятен вклад около 20 % метасоматизированной в палеопротерозойских субдукционных событиях литосферной мантии.

Изотопные данные позволяют оценить вклад коровой контаминации в расплавы лампрофиров и кимберлитов КЩП – до 10 %. Особенностью этого процесса в КЩП и, возможно, в ААП является значительный вклад метасоматизированной (с появлением флогопита и/или амфибола) нижней коры. Возраст метасоматических ассоциаций может быть различным – от палеопротерозойского (2,45 млрд лет) до непосредственно предшествующего позднедевонскому щелочно-ультрамафическому магматизму. Изотопные характеристики этого процесса не всегда позволяют отличить его от вклада метасоматизированной верхней мантии, индикатором могут быть высокие значения Sr изотопного отношения при довольно постоянном составе Nd.

Полученные данные указывают на общность событий формирования КЩП и ААП, которые могут быть связаны либо с подъемом плюма, как полагают многие исследователи [7], либо с влиянием активных субдукционных событий [12] на границах Восточно-Европейской платформы в позднем девоне. Эти события за счет изменения полей напряжений в литосфере приводили к появлению новых либо, скорее, реактивировали существующие глубинные зоны проницаемости, обеспечивая пути подъема щелочно-ультрамафитовых расплавов.

Общность формирования ААП с промышленно-алмазоносными кимберлитами и КЩП с щелочно-ультраосновными лампрофирами и массивами с карбонатитами показывает, что возрастная и пространственная сопряженность таких магматических проявлений не является отрицательным критерием алмазных месторождений.

Список литературы:

1. Стифеева М. В., Сальникова Е. Б., Носова А. А., Котов А. Б., Возняк А. А., Димитрова Д. А. U-Pb (ID-TIMS)-возраст граната из айлликитов Кольской щелочной провинции // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2023. – Т. 509, № 2. – С. 84–88.
2. Dalton H., Giuliani A., O'Brien H., Phillips D., Hergt J., Maas R. Petrogenesis of a hybrid cluster of evolved kimberlites and ultramafic lamprophyres in the Kuusamo area, Finland // Journal of Petrology. – 2020. – V. 60. – P. 2025–2050.

3. Dongre A, Tappe S. Kimberlite and carbonatite dykes within the Premier diatreme root (Cullinan Diamond Mine, South Africa): New insights to mineralogical-genetic classifications and magma CO_2 degassing // Lithos. – 2019. – V. 338–339. – P.155–173.
4. Francis D, Patterson M. Kimberlites and aillikites as probes of the continental lithospheric mantle // Lithos. – 2009. – V.109. – P. 72–80.
5. Kargin A., Bussweiler Y., Nosova A. [et al.]. Titanium-rich metasomatism in the lithospheric mantle beneath the Arkhangelsk Diamond Province, Russia: insights from ilmenite-bearing xenoliths and HP–HT reaction experiments // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2021. – V. 176, 101.
6. Kramm U., Kogarko L. N., Kononova V. A., Vartiainen H. The Kola Alkaline Province of the CIS and Finland: Precise Rb-Sr ages define 380–360 Ma age range for all magmatism // Lithos. – 1993. – V. 30. – P. 33–44.
7. Mahotkin I. L., Gibson S. A., Thompson R. N., Zhuravlev D. Z., Zherdev P. U. Late Devonian diamondiferous kimberlite and alkaline picrite (proto-kimberlite?) magmatism in the Arkhangelsk region, NW Russia // Journal of Petrology. – 2000. – V. 41. – P. 201–227.
8. Nikitina L. P., Levskii L. K., Lokhov K. I., Belyatskii B. V., Zhuravlev V. A., Lepekhina E. V., Antonov A. V. Proterozoic alkaline ultramafic magmatism in the eastern part of the Baltic Shield // Petrology. – 1999. – V. 7. – P. 246–266.
9. Nosova A. A., Kopylova M. G., Lebedeva N. M., Larionova Y. O., Kargin A. V., Sazonova L. V., Vozniak A. A., Kovach V. P. Melt sources for alkaline carbonate-bearing rocks of the Terskiy Coast (Kola Alkaline Carbonatitic Province) // Chemical Geology. – 2023. – V. 617. – 121267.
10. Pearson G., Woodhead J., Janney Ph. J. Kimberlites as geochemical probes of Earth's mantle. // Element. – 2019. – V. 15. – P. 387–392.
11. Tappe S., Foley S. F., Jenner G. A., Heaman L. M., Kjarsgaard B. A., Romer R. L., Stracke A., Joyce N., Hoefs J. Genesis of ultramafic lamprophyres and carbonatites at Aillik Bay, Labrador: a consequence of incipient lithospheric thinning beneath the North Atlantic Craton // Journal of Petrology. – 2006. – V. 47 (7). – P. 1261–1315.
12. Tappe S., Stracke A., van Acken D., Strauss H., Luguet A. Origins of kimberlites and carbonatites during continental collision–Insights beyond decoupled Nd-Hf isotopes // Earth Science Reviews. – 2020. – V. 208. – 103287.

Нуржанов Г. Ж., Ниценко П. А., Гусев А. В.
ТОО «Казахмыс Барлау», г. Астана

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЗКАЗГАН

В работе изложена методика и технология восстановления минералогической зональности крупнейшего месторождения медистых песчаников Жезказган. На основе изучения полного вещественного состава 92 малых технологических проб проанализированы минералогические типы руд и выявлены основные их различия, влияющие на качество добываемого сырья. В работе рассмотрено современное состояние добычи минералогических типов руд. Предварительно рассчитаны возможности повышения качества добываемого сырья при учете минералогической зональности, оставшиеся объемы минералогических типов руд. Рассчитаны геохимические характеристики оруденения месторождения Жезказган. Разработаны рекомендации по эксплуатации месторождения и постановке эксплуатационной разведки с учетом минералогических типов руд в целях повышения качества добываемого сырья и продления срока жизни Жезказганского рудника.

Ключевые слова: минералогическая зональность, трехмерное моделирование, геохимические расчеты, Жезказган, вещественный состав руд.

Жезказганское месторождение медистых песчаников, уникальное по запасам меди и крупное по запасам свинца, цинка, серебра и рения, отрабатывается открытым и подземным спо-

собами с 1928 г. К настоящему времени отработано около 80 % запасов руды, вместе с тем остаточные запасы составляют более 700 млн т балансовых и забалансовых руд.

Среднее содержание меди в рудах 1,16 %, рения 1,95 г/т, серебра 27,73 г/т. Полиметаллические руды содержат свинца 1,76 % и цинка 1,12 %. Из общих запасов на долю меди приходится 85 %, на свинец 10 %, на цинк 5 %.

Общее количество оруденелых слоев сероцветных пород на месторождении равно 26, но промышленное оруденение несут только 19 из них. Эти слои объединены в девять рудоносных горизонтов.

По содержанию полезного компонента выделяются следующие типы руд: медные, полиметаллические (медно-цинковые, медно-свинцово-цинковые и медно-свинцовые, цинковые и свинцово-цинковые, свинцовые).

Медные руды подразделяются на сульфидные, смешанные и окисленные.

В 1973 г. по результатам изучения фактического материала за 20-летний период разведки и разработки и на основе исследований 1454 аншлифов из рудной зоны на месторождении была установлена минералогическая зональность природных минералогических типов руд, связанная с процессами рудоотложения [1]. Минералогический состав руд влияет на содержание меди. Проведенные работы выявили то, что наиболее эффективным периодом работы предприятия были 1974–1988 гг., когда были достигнуты максимальные показатели добычи, при этом прирост запасов в значительной степени их компенсировал. Результаты работ явились основой научных трудов по изучению руд Жезказгана и условий их формирования [2].

После указанных работ 1973 г. планомерного геолого-минералогического картирования на месторождении не проводилось, и в результате сегодня наблюдается ухудшение управления качеством добываемых руд и неясность дальнейших перспектив.

В 2014 г. утверждены новые кондиции и выполнен повариантный пересчет запасов Жезказганского месторождения. Построена каркасная трехмерная модель месторождения ММ2014. При этом разработанная модель является статистической и не учитывает геологические и минералогические особенности.

В 2020 г. по поручению головного предприятия ТОО «Корпорация Казахмыс» были начаты работы по восстановлению минералогической зональности и созданию трехмерной минералого-геохимической модели месторождения.

Путем оцифровки материалов картирования минералогических типов руд в 1974 г. было установлено пространственное положение их в панелях, штреках, забоях, целиках, т. е. элементам зоны подземной разработки были присвоены не только количественные (содержания меди, цинка, свинца, серебра и др.), но и качественные характеристики (минералогический состав).

За основу трехмерного моделирования принята каркасная подсчетная модель 2014 г., актуализированная к 2022 г., которая была разграничена на минералогические типы руд с помощью программных операций с каркасами в среде Micromine.

Удалось восстановить и смоделировать более 20 минералогических типов руд, из которых только четыре – халькозиновый, борнит-халькопиритовый, борнит-халькозиновый, халькопиритовый – составляют более 88 % медного оруденения на месторождении. Типы руд представлены в таблице.

Подсчетная модель классифицирована по минералогическим типам на 63 % площади всех каркасов медных руд, остальные каркасы требуют уточнения в процессе эксплоразведки. На рис. 1 показан вид в плане минералогической модели месторождения Жезказган с основными типами руд.

В 2021–2022 гг. была выполнена проверка минералогической зональности модели. Проведены минералого-петрографические исследования шлифов и аншлифов из керна эксплоразведочных скважин 2011–2013 гг. и из коллекции М. К. Сатпаевой (всего 131 образец), что позволило совместить исторические минералогические представления об оруденении с современными.

Пробурены заверочные скважины, и из керна скважин отобраны 92 малые технологические пробы весом 30 кг из девяти основных минералогических типов руд в природном залегании. На материале этих проб проведены исследования для изучения полного вещественного соста-

Расчетный минеральный состав оруденения месторождения Жезказган

№ пп	Минеральные типы руды	Обозначение	Доля оруденения, %
1	Халькозиновый	Cu (hz)	50,6
2	Халькопирит-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb-Zn (cp-ga-sph)	1,1
3	Борнитовый	Cu (b)	0,4
4	Борнит-халькопиритовый	Cu (b-cp)	12,3
5	Борнит-халькозиновый	Cu (b-hz)	14,8
6	Халькопиритовый	Cu (cp)	10,5
7	Борнит-халькопирит-галенитовый	Cu-Pb (b-cp-ga)	1,0
8	Борнит-галенитовый	Cu-Pb (b-ga)	0,01
9	Борнит-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb (b-ga-sph)	0,1
10	Борнит-халькозин-галенитовый	Cu-Pb (b-hz-ga)	0,4
11	Халькопирит-галенитовый	Cu-Pb (cp-ga)	2,2
12	Халькозин-галенитовый	Cu-Pb (hz-ga)	0,01
13	Борнит-халькопирит-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb-Zn (b-cp-ga-sph)	0,6
14	Борнит-халькозин-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb-Zn (b-hz-ga-sph)	0,1
15	Халькозин-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb-Zn (hz-ga-sph)	0,1
16	Борнит-халькопирит-сфалеритовый	Cu-Zn (b-cp-sph)	0,2
17	Борнит-халькозин-сфалеритовый	Cu-Zn (b-hz-sph)	0,01
18	Халькопирит-сфалеритовый	Cu-Zn (cp-sph)	0,6
19	Галенитовый	Pb (ga)	2,8
20	Галенит-сфалеритовый	Pb-Zn (ga-sph)	0,7
21	Сфалеритовый	Zn (sph)	1,5

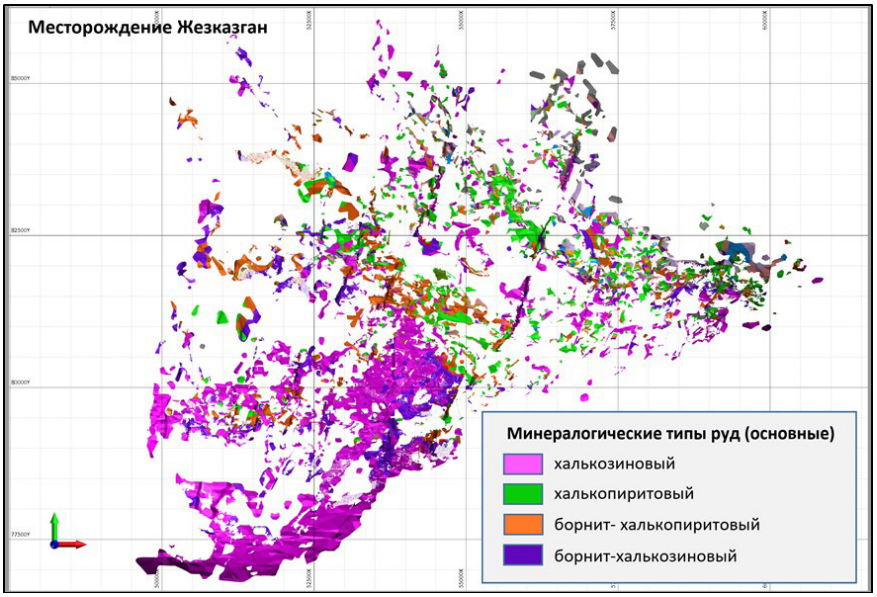


Рис. 1. Минералогическая модель месторождения Жезказган (основные типы)

ва оруденения (химический, минералогический, гранулометрический, минералого-петрографические исследования, удельный вес). Также проведено геолого-минералогическое опробование шлама скважин БВР и выполнены минералого-петрографические исследования прессованных таблеток.

Произведенные работы показали возможность надежного диагностирования минеральных типов руды на месторождении Жезказган и выявили различия в минеральных агрегатах, которые могут влиять на качество добываемых руд и технологические показатели обогащения.

В результате работ построенная минералогическая модель подтверждается и определены следующие основные особенности современного состояния оруденения:

• в пределах одного рудного тела наблюдается четкая минералогическая зональность от халькозинового до халькопиритового типов оруденения, имеющих различия в минеральном составе. В пределах месторождения такие участки многочисленны, но на многих из них на данный момент без учета этой зональности добыча или идет, или планируется.

• типы руд помимо различий в минералогическом составе отличаются гранулометрией основных медных минералов. Так, например, борнит-халькопиритовый тип отличается крупными (до 1,4 мм) взаимными срастаниями, легко отделяемыми при флотации, а соседствующий халькопиритовый тип представлен уже мелковкрапленной (до 100 мкм) минерализацией, часто в срастаниях со сфалеритом, оксидами железа и титана.

• в пределах одного очистного забоя встречается до четырех минералогических типов оруденения, отличающихся минералогией и гранулометрией основных минералов меди. «Слепое» смешивание таких типов, без предварительной шихтовки и уравнивания свойств, ведет к снижению показателей извлечения. На рис. 2 показан пример очистного забоя с четырьмя типами руд по данным шламового опробования и моделирования.

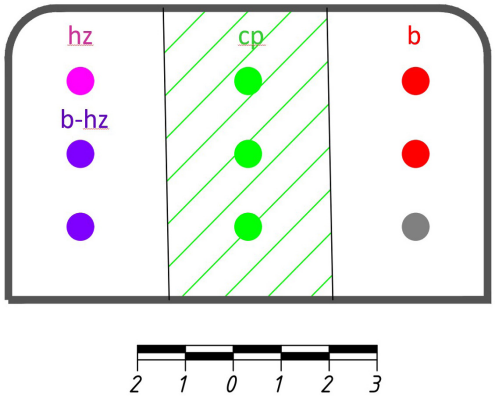


Рис. 2. Пример очистного забоя (рудная залежь 7-1 ЗР шх. 73-75)

При планировании очистных работ (при технологической возможности) необходимо стремиться избегать формирования забоев данного типа.

В целом построенная минералогическая модель месторождения позволяет брать в расчет особенности положения в пространстве различных типов руд, а их необходимо учитывать при проектировании эксплоразведочных и добычных работ.

В дальнейшем планируется проведение серии опытов по обогащению смешенных комбинаций руд для выяснения оптимальной степени усреднения.

Кроме минералогических были рассчитаны геохимические характеристики оруденения. По результатам определения основных элементов методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на 51 элемент построена корреляционная матрица и выявлены основные связи. Определены элементы привноса и выноса, коэффициенты интенсивности для меди, свинца и цинка. Одним из основных выводов исследований является отсутствие связи между медью и свинцом, цинком ($К_{кр}$ = 0,06 и -0,08, соответственно), что говорит о независимом развитии медной и свинцово-цинковой минерализации. Связь между медью, свинцом и цинком обнаруживается только через их среднюю связь с рением, а рений при этом связан с кадмием, ртутью и молибденом. Вероятно, рений выступает как самородный металл, продукт включений в молибдените. Подобные выводы меняют и дополняют представления о генезисе оруденения и о промышленной значимости меди в свинцово-цинковых рудах. Проводимое изучение геохимических характеристик оруденения жезказганского типа позволяет более обоснованно вести поиск «слепого» оруденения в горнорудном районе.

В 2023 г. планируется начать внедрение построенной модели в производство.

Минералого-геохимическая модель месторождения Жезказган позволит эффективно решать вопросы как рационального освоения оставшихся разведанных рудных запасов, так и задачи поиска оруденения на флангах и в пределах всего Жезказганского горнорудного района.

Список литературы:

1. Младенцов Г. Д. [и др.]. Отчет по теме «Изучение закономерностей в распределении главных рудных компонентов и рудообразующих минералов в залежах Джезказганского месторождения по данным разведочных и горных работ». – Джезказган, 1973 г.
2. Сатпаева М. К. Руды Джезказгана и условия их формирования. – Алма-Ата : Наука, 1985. – 208 с.

Окулов А. В., Сорокин Д. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДИК И АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОСУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ, КАЯНЧИНСКАЯ ПЛОЩАДЬ, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Изложены результаты опытно-методических геохимических работ по вторичным ореолам рассеяния, выполненные на объекте с золото-мышьяковисто-сульфидным типом оруденения. Выполнено сравнение данных, полученных различными методами с учетом параметров вещественного состава руд и продуктивных минеральных ассоциаций, особенностей золота на данном объекте. Оценена эффективность и надежность различных аналитических методов и методик при определении набора элементов-спутников, выделении и оконтуривании аномалий золота и элементов-спутников.

Ключевые слова: вторичные ореолы рассеяния, фоновые значения, пределы обнаружения, золото, элементы-спутники, тонкая фракция, традиционная методика, MEFFA, ИСП-МС, аналитические методы.

Каянчинская площадь расположена на территории Алтайского района Алтайского края. В геологическом отношении Каянчинская площадь приходится на зону сочленения двух крупных тектонических структур – Каимского блока (западная часть) и Катунского блока (восточная часть). В металлогеническом плане она входит в Каянчинский прогнозируемый золоторудный узел Салаиро-Алтайской ртутно-золото-полиметаллической минерагенической области.

Состав и возраст стратифицированных образований двух блоков в целом сходен. Каимский блок сложен вулканогенно-терригенно-карбонатными отложениями каимской и каянчинской свит венда-раннего кембрия, катунский блок – терригенно-карбонатными отложениями эсконгинской свиты венда – раннего кембрия. Заметно отличается состав магматических образований в пределах двух блоков. В пределах каимского блока проявлены тела габброидов и гипербазитов офиолитового комплекса раннего кембрия; в северной и южной части отложения прорваны массивами щелочных лейкогранитов айского сиенит-граносиенит-гранитного комплекса раннего триаса, редко фиксируются дайковые тела субщелочных гранит-порфиров, монцогаббро. Интрузивные образования катунского блока представлены малыми телами и дайками диоритов, кварцевых диоритов, диоритов и габбро усть-беловского комплекса позднего девона.

В пределах Каимского блока установлено оруденение золото-мышьяковисто-сульфидного типа (участок Верхнекаянчинский), с которым связаны основные перспективы. Для катунского блока характерно оруденение золото-сульфидно-кварцевого типа (участки Айский, Сухой Лог).

Опытно-методические работы выполнялись на участке Верхнекаянчинский. В ходе ранее выполненных работ по изучению вещественного состава руд и околорудных метасоматитов в составе золото-мышьяковисто-сульфидного типа руд, проявленных на участке Верхнекаянчинский, выделены две последовательно сформированные продуктивные минеральные ассоциации:

- *пирит-арсенопиритовая* с преимущественно невидимым (субмикроскопическим) золотом, несущая основную массу металла,
- *проявленная локально золото-халькопирит-блеклорудная* с тонкодисперсным (5–10 мкм) самородным золотом и редким сфалеритом; блеклая руда представлена тетраэдритом.

Ранняя ассоциация была сформирована синхронно с метасоматитами. Поздняя ассоциация проявлена в осевых частях минерализованных зон, для которых характерно брекчирование метасоматитов, развитие кварц-альбитовых и кварц-анкеритовых и анкерит-альбитовых прожилков (Кряжев, Двуреченская, Окулов. Росгеолфонд. Отчет № 537287, кн. 2, 2020 г.). Состав продуктивных ассоциаций определяет и набор элементов-спутников золотого оруденения (**As, Sb, Cu, Zn**), что будет показано ниже.

Сравнение методов проводилось на основе данных литогеохимической съемки по вторичным ореолам (Шевцов и др. Росгеолфонд. Отчет № 537287, 2020 г.). Опробовался иллювиаль-

Табл. 1. Перечень методов и методик, выполненных при опытно-методических работах на Каянчинской площади

Метод поисков/методы исследования проб	Традиционный метод	MEFFA	Другие исследования
Химико-спектральный на Au **(нижний предел 0,003 г/т)**	+	—	—
Полуколичественный спектральный на 16 элементов *(Ag, As, B, Ba, Co, Cr, Cu, Ge, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn)*	+	—	—
ИСП-МС с лазерной абляцией *(Au, Ag, Sb, Te, W, Bi, Pt)*	—	+	—
Рентгено-флюоресцентный *(P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Pb, Bi, Th, U)*	—	+	—
ИСП-МС, на 28 элементов, в т. ч. Au, по методике МВИ № 001 ХМС 2007, навеска 10 г *(Be, P, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Nb, Mo, Ru, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Hf, Ta, W, Pb, Bi)*	—	—	+
ИСП-АЭС на 33 элемента *(Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sn, Sr, Ti, V, W, Y, Zn)*	—	—	+
Атомно-абсорбционный на Au (нижний предел **0,002 г/т**)	—	—	+

ный горизонт почв по сети 50 х 250 м, анализировалась фракция < 1 мм рыхлых отложений, 120 точек опробования на участке комплексной аномалии, выделенной по данным ПКСА.

В настоящее время геохимические поиски являются одним из основных опережающих поисковых методов на объектах благородных и цветных металлов. На объектах госзаказа, как правило, выполняются литохимические поиски по ВОР различного масштаба по традиционной методике, которая регламентирована «Инструкцией по геохимическим методам поисков рудных месторождений» 1983 г. [1].

Традиционная методика литохимических поисков по ВОР предусматривает отбор из представительного горизонта проб массой около 200 г, которые затем просушиваются, просеиваются на ситах до фракции -1 мм, упаковываются и отправляются на истирание до фракции -0,074 мм, а затем передаются на аналитические исследования [1]. Обычно при поисках золотого оруденения комплекс аналитических методов включает обзорный спектральный полуколичественный анализ (ПКСА) на группу элементов (от 16 до 39) и химико-спектральный анализ на золото. Недостатки традиционной методики отбора и исследования проб хорошо известны и связаны прежде всего с относительно невысокой точностью и воспроизводимостью результатов аналитических исследований полуколичественными методами. Кроме традиционного метода в последнее время апробируются и другие методы – поисков золота в сложных ландшафтно-геоморфологических условиях, ионно-сорбционный метод, масс-спектрометрический анализ сверхтонкой фракции (МАСФ), мультиэлементный анализ тонкой фракции (MEFFA) и т. д. Однако по-прежнему наиболее широкое применение находит традиционная методика литохимических поисков по ВОР, имеющая свои преимущества и недостатки.

В настоящей работе авторы представляют результаты сопоставления различных аналитических методов и методик, полученные в ходе опытно-методических работ на Каянчинской площади (табл. 1).

Собственно, к *методикам* литохимических поисков авторы относят MEFFA, которая подразумевает особую пробоподготовку перед проведением аналитических исследований. Принципиальное отличие данной методики состоит в том, что из каждой пробы приготавливается водная суспензия, из которой при осаждении выделяют тонкодисперсную фракцию весом 2–3 г с размером частиц 2–35 мкм. Как известно, именно в тонкой фракции происходит накопление мельчайших механических частиц сульфидов и благородных металлов, а также сорбционно-солевых форм нахождения элементов [3]. Высушенную пробу анализируют методом лазерной абляции (LA-ICP MS) [4, 6]. Помимо этого предварительно пробы анализируют РФА-анализатором на основные элементы для экспрессного выделения аномалий. Все остальные иссле-

дования представляют собой варианты изучения литохимических проб по ВОР *различными аналитическими методами (химико-спектральный на золото (ХСА), полуколичественный спектральный анализ (ПКСА), масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой из навески 10 г, атомно-эмиссионный спектральный с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС), атомно-абсорбционный анализ на золото (ААА)).*

Из всех перечисленных методов наиболее точным является ИСП МС анализ на комплекс элементов (включая Au) из навески 10 г, поскольку он относится к количественным методам исследований (для всех элементов, кроме золота). Метод характеризуется довольно низкими нижними порогами обнаружения элементов, что критично при низких фоновых и аномальных концентрациях. Именно поэтому данный метод был принят нами в качестве основного, с которым сравнивались все остальные.

Расположение вторичных аномалий золота, определенное по четырём различным методам (ХСА, ИСП МС ЛА, ИСП МС, ААА), в целом сопоставимо между собой, однако по данным ИСП МС ЛА аномалии золота, в том числе отражающие положение известных рудных тел, выделяются более отчетливо, имеют более обширные контуры. Вероятно, это связано с накоплением золота именно в тонкой фракции, что хорошо корреспондируется с минералогическими данными, согласно которым преобладает золото микронной и субмикроскопической размерности.

Вместе с тем необходимо отметить, что согласно статистическим расчётам между собой указанные методы определения содержаний золота обнаруживают различную сходимость, что видно из коэффициентов парной корреляции (табл. 2). Данные ИСП МС ЛА в данном случае сравнивать с другими методами некорректно, так как этим методом анализировалась тонкая фракция. Наибольшую корреляционную сходимость обнаруживают ХСА и ААА, наименьшую – ИСП МС и ХСА. Поскольку содержания золота количественным методом (пробирным анализом) не определялись, то в данном случае сложно судить, какой из методов является более правильным. Поэтому при оценке корреляционных связей учитывались все эти методы (см. табл. 2).

По данным ИСП-МС, наиболее значимая положительная корреляция для золота отмечается с **Sb, As, Cd, Cu, Zn, Mo,** отрицательная корреляция – с Bi.

По данным ПКСА, значимая положительная корреляция отмечается у золота с **As, Cr,** значимая отрицательная – с **Ge, Pb, Sn, Zn.**

По данным MEFFA, значимая положительная корреляция установлена для золота и **As, Sb, Zn,** частично для Cu, Cr, Pt; устойчивая отрицательная корреляция – со Sr и Bi.

По данным ИСП-АЭС анализа, значимая положительная корреляция отмечается у золота с **As, Zn, Fe,** значимая отрицательная – **Sr, Li,** частично Ba, Pb, Y.

Как видно из представленных данных, наиболее надежным методом для определения содержаний элементов-спутников является метод ИСП-МС из навески 10 г. Результаты, полученные по этому методу, наилучшим образом корреспондируются с минералогическим составом продуктивных минеральных ассоциаций. На основе данных, полученных этим методом, были рассчитаны фоновые концентрации. Принимая во внимания фоновые значения, мы отчетливо видим, что ПКСА и ИСП-АЭС на данном объекте существенно уступают ИСП-МС. Так, нижний порог обнаружения As по ПКСА превышает фон в 2–5 раз, по Sb – в 34 раза, по Cd – в 16 раз, по Bi – в 11 раз. По Cu и Zn ПКСА удовлетворяет фоновым значениям. Несколько более высокими показателями характеризуется ИСП-АЭС анализ – нижний предел по As ниже фона, по Cu и Zn удовлетворяет фоновым значениям, однако по Sb нижний предел в 3,4 раза выше фона, по Cd – в 2,6 раза, по Bi – в 18,5 раза (табл. 3).

Применительно к условиям изучаемой площади можно сделать следующие выводы. По данным ХСА, ИСП-МС и ААА контуры вторичных аномалий золота и их контрастность в целом сопоставимы и отражают положение известных рудных тел. Наиболее обширные и надежные аномалии золота, сопоставимые с положением известных рудных тел, были локализованы по данным метода MEFFA (ИСП-МС ЛА анализ тонкой фракции), что, вероятно, обусловлено минералогическими особенностями самого золота на данном объекте (преобладает субмикроскопическое и микронное золото, накопление которого, вероятно, происходит именно в тонкой фракции).

Табл. 2. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена при уровне значимости $p < 0,05$. Значимая корреляций > 0,18

ИСП-МС	Au1	Au2	Au3	Au4	Be	P	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga
Au1	1,00	0,62	0,48	0,79	0,05	0,14	0,23	0,21	0,08	0,20	0,22	**0,21**	**0,39**	0,10
Au2	0,62	1,00	0,47	0,61	-0,19	0,08	0,04	0,12	0,04	0,10	0,07	**0,19**	0,08	-0,29
Au3	0,48	0,47	1,00	0,55	0,00	0,21	0,08	0,11	0,03	0,12	0,17	0,10	**0,22**	0,02
Au4	0,79	0,61	0,55	1,00	0,03	0,14	0,18	0,23	0,10	0,21	0,23	**0,23**	**0,37**	0,01
ИСП-МС	Ge	As	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Hf	Ta	W	Pb	Bi
Au1	0,02	**0,37**	0,04	**0,25**	0,10	**0,31**	0,01	**0,52**	0,15	0,17	0,05	0,08	-0,11	-0,11
Au2	-0,28	**0,44**	-0,13	**0,15**	0,04	**0,30**	-0,14	**0,56**	0,13	-0,09	-0,13	-0,23	-0,33	-0,34
Au3	-0,01	**0,24**	0,08	**0,21**	0,22	**0,27**	0,00	**0,48**	0,05	0,03	0,07	0,04	0,00	-0,07
Au4	0,03	**0,33**	0,03	**0,28**	0,11	**0,31**	0,03	**0,53**	0,09	0,18	0,02	0,02	-0,13	-0,11

Примечание. Au1 – содержания золота по данным химико-спектрального анализа, Au2 – по данным ИСП-МС ЛА, Au3 – по данным ИСП-МС анализа, Au4 – по данным атомно-абсорбционного анализа.

Табл. 3. Сопоставление фоновых значений элементов во вторичных ореолах Каянчинской площади и нижних пределов обнаружения элементов по различным методам аналитических исследований

Элемент	Средние содержания в средних породах, г/т	Фоновые значения по данным ИСП-МС анализа, г/т	Нижний предел обнаружения ПКСА, г/т (для золота – ХСА)**	Нижний предел обнаружения ИСП-МС***, г/т	Нижний предел обнаружения ИСП-АЭС, г/т (для золота – атомно-абсорбционный) **
Навеска	—	—	ПКСА – **0,03 – 0,1 г**; ХСА – **10 г**	ИСП-МС (МВИ № 001-ХМС-2007) – **10 г**	ИСП-АЭС - **0,25 г**; ААА на Au – **10 г**
Au	0,003	0,004	0,002	0,001	0,002
Ag	0,1	0,08	0,05	0,01	1
Hg	—	—	—	—	—
As	2	**19,9**	**100 (40)**	1	5
Sb	0,2	**1,48**	**50**	0,1	**5**
Cd	2	**0,19**	**3**	0,1	0,5
Bi	0,07	**0,27**	**3**	0,1	**5**
Te	0,001	**0,06**	**300**	0,01	—
Se	0,05	0,5	—	0,1	—
Cu	55	40,3	6	1	0,5
Zn	72	77,7	30	1	0,5
Pb	10	16,2	6	0,1	2
Ni	25	54,1	4	1	0,5
Co	24	20,4	4	1	0,5
Mo	1,1	0,9	1	0,1	2
W	1	**1,2**	**10**	0,1	5
Sn	1,2	1,9	1	0,1	—

Примечание. * – Средние содержания химических элементов в главных типах магматических пород (например, средних) могут быть рассмотрены как основа для понимания фоновых концентраций, которые различаются в зависимости от региона, конкретного объекта; также могут отличаться в пределах одного объекта. Значения указаны по [2]; ** – по данным одной из действующих аналитических лабораторий; *** – по данным аттестата методики МВИ № 001-ХМС-2007 (на комплекс элементов, включая золото) [OAV05].

Наиболее четко и полно набор элементов-спутников позволяет определить ИСП-МС анализ из навески 10 г (шесть элементов – **Sb, As, Cd, Cu, Zn, Mo,** что хорошо смыкается с минералогическими данными и, соответственно, первичными ореолами). По данным остальных методов, в качестве основных спутников определяется не более двух-трех элементов. Лучше всего аномалии As выражены по данным ИСП-МС и ИСП-МС ЛА (методика MEFFA), на сопоставимом

уровне – по данным ИСП-АЭС. При этом ПКСА позволяет выделять аномалии As только при высоких концентрациях (более 40 (100) г/т). Аномалии Sb наилучшим образом выражены по данным ИСП-МС и ИСП-МС ЛА (методика MEFFA); по данным ИСП-АЭС и ПКСА, они выражены неотчётливо, имеют локальный точечный характер. Вторичные аномалии Cu, оконтуренные по данным различных методов и методик, в целом сопоставимы между собой. Аномалии Zn по уровню содержаний и локализации сопоставимы только для трех методов – ИСП-МС, ИСП-МС ЛА (методика MEFFA), ИСП-АЭС. Таким образом, при заверке вторичных аномалий элементов-спутников наиболее надежным методом является ИСП-МС анализ из навески 10 г.

Список литературы:

1. Григорян С. В., Соловов А. П., Кузин М. Ф. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М. : Недра, 1983. – 191 с.
2. Соловов А. П., Архипов А. Я., Бугров В. А. [и др.]. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
3. Соколов С. В., Макарова Ю. В. Юрченко Ю. Ю. Метод анализа сверхтонкой фракции: результаты, эффективность // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 8. – С. 54–58.
4. Методика измерений массовых долей элементов в горных породах методом масс-спектромерии с индуктивно-связанной плазмой МВИ №001-ХМС-2007 (редакция 2012 г.). Методика III категории точности / ООО «ХАЦ «Плазма». – Томск, 2012.
5. Описание метода MEFFA. – URL: https://www.meffalab.ru/kopiya-o-metode-1 (дата обращения: 13.03.2023).
6. Федеральная служба интеллектуальной собственности РФ. Описание изобретения к патенту RU 2 651 353.

Пак Н. Т., Гончаренко А. А., Ивлева Е. А.
Институт геологии НАН КР, г. Бишкек

КВАРЦ-ТУРМАЛИНОВЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА В АКТЮЗ-БООРДИНСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ, КЫРГЫЗСТАН)

В Северном Тянь-Шане на золоторудных месторождениях развиты различные метасоматиты: березиты, листвениты, калишпатиты, аргиллизиты и др. Для некоторых из них характерными являются кварц-турмалиновые золотоносные метасоматиты. Показано их более позднее происхождение по отношению к березитам и лиственитам. Приводится минералого-петрографическое описание от слабоизмененных до сильноизмененных зон метасоматической зональности. Построена метасоматическая колонка.

Ключевые слова: метасоматит, зональность, золотоносность, турмалин.

Актюз-Боордынский рудный район входит в состав Северного Тянь-Шаня и находится на севере Кыргызстана. Рудный район имеет сложное строение и включает множество разнообразных месторождений золота, редких металлов и редких земель, полиметаллов. Среди них выделяются месторождения золота: крупное – Талды-Булак Левобережный и ряд мелких и средних месторождений. На многих из них развиты кварц-турмалиновые метасоматиты (КТМ), вмещающие золотое оруденение [3], в частности Талды-Булак Левобережный, Мироновское, Коматор, Долпран, Кызыл-Байрак (рис. 1).

На всех этих месторождениях вмещающими породами являются докембрийские метаморфические породы: сланцы, гнейсы, амфиболиты, мигматиты. Они прорываются различными интрузивными комплексами раннего-среднего палеозоя. На этих месторождениях в различных сочетаниях проявлены метасоматически измененные породы: калишпатиты, березиты, лиственитты, кварц-полевошпатовые метасоматиты, аргиллизиты и др. Общими для всех месторождений являются развитые на них золотоносные КТМ. Они могут развиваться по породам различного состава: амфиболитам, сланцам, песчаникам, интрузивным породам и др.



Рис. 1. Схема размещения Актюз-Боордынского рудного района

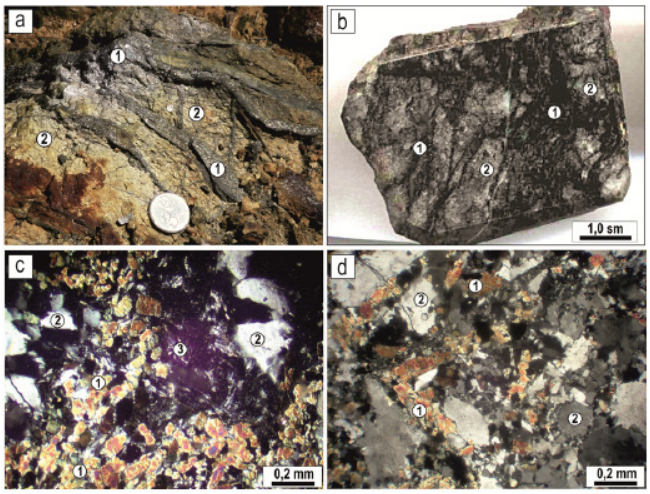


Рис. 2. Кварц-турмалиновые метасоматиты:
a – КТМ (1) секут березиты (2). Месторождение Талды-Булак Левобережный; b – КТМ (1) секут лиственити (2). Месторождение Долпран; c, d – микрофотографии шлифов, николи +; в кружках: 1 – турмалин; 2 – кварц; 3 – хлорит

Кварц-турмалиновые метасоматиты образуют линзовидные, гнездообразные тела, часто имеют брекчиевидный облик, где они выполняют роль метасоматического цемента среди трещиноватой дробленной замещаемой породы (рис. 2, a, b). Макроскопически они распознаются по пятнистой черной, темно-серой окраске образцов. Часто выветрелые поверхности образцов похожи на «сажистые» образования, которые обусловлены микроскопическими размерами турмалина.

Формирование КТМ покажем на примере месторождения **Коматор**. Рудоносная зона расположена среди метаморфических пород и приурочена к зоне разлома. В строении рудоносной зоны принимают участие измененные амфиболовые сланцы, катаклазированные, дробленые, окварцованные, ожелезненные метаморфиты. В рудной зоне широко развиты КТМ, и они являются основными околорудными метасоматитами [1].

Детальные исследования, проведенные на месторождении, показали наличие последовательных переходов от неизмененных амфиболовых сланцев до КТМ. Изменения сланцев проявились сначала в частичной, а затем в более полной хлоритизации и карбонатизации амфиболов и плагиоклазов. Текстурные особенности не изменяются. Структура становится более тонкозернистой за счет замещения первичных минералов более мелкими. Порода становится более плотной.

При усилении метасоматического процесса хлорит и реликты амфибола и плагиоклаза замещаются серицитом, альбитом и кварцем, количество карбоната уменьшается, а кварца увеличивается. Порода преобразуется в кварц-хлорит-серицитовый метасоматит и сохраняет

теневую сланцеватую структуру. В этой зоне местами появляется турмалин (см. рис. 2, c). В дальнейшем хлорит замещается кварцем и серицитом. Количество турмалина увеличивается. Образуется кварц-серицит-турмалиновая зона, которая полностью теряет структурно-текстурные особенности первичных пород – сланцев. Серицит располагается в интерстициях зерен кварца. Порода имеет тонкозернистую структуру с размерами зерен в сотые и десятые доли мм. Количественные соотношения минералов сильно варьируют. Однако заметно преобладание кварца в более измененных породах.

Кварц-серицит-турмалиновая зона сменяется кварц-турмалиновой (см. рис. 2, d). Турмалин образует скопления в виде гнезд из разноориентированных кристаллов и отдельные вкрапления среди кварца. Количество кварца составляет 60–80 %, турмалина 20–40 %. Зернистость увеличивается до 0,5–1 мм. Среди кварц-турмалиновой породы встречаются зонки, нацело сложенные призматическим турмалином. Прожилки имеют ветвящийся характер, занимают осевую часть кварц-турмалиновой зоны, образуют сетчатую текстуру.

Наблюдаемая зональность может быть выражена следующей метасоматической колонкой:

0. Амфибол, плагиоклаз, кварц;
1. Амфибол, плагиоклаз, кварц, хлорит, карбонат;
2. Кварц, альбит, серицит, хлорит, карбонат;
3. Кварц, серицит, хлорит, карбонат;
4. Кварц, серицит, хлорит (± турмалин);
5. Кварц, серицит, турмалин;
6. Кварц, турмалин;
7. Турмалин.

Данная метасоматическая колонка схожа с описанной Б. И. Омельяненко [2]. Образование турмалина им связывается с высокой активностью бора. Отличия состоят в том, что в нашем случае турмалин появляется уже в средних зонах метасоматической колонки.

Описанные измененные породы имеют формационную самостоятельность, которая отвечает кварц-хлорит-турмалиновой метасоматической формации. Данная формация на месторождении Коматор выделена впервые [3]. КТМ обнаружены во всех канавах, вскрывающих рудные тела. Мощность внешней зоны (1) достигает десятка и более метров, однако слабые изменения в сланцах отмечаются только при микроскопических исследованиях. Мощности следующих зон (2, 3 и 4) не превышают 0,5–1 м, а 5-я и 6-я зоны имеют мощности от сантиметров до десятка сантиметров. Турмалиновая зона чаще всего составляет 1–3 мм, однако она имеет ветвящийся характер, и в результате сочленения примыкающих зон общая мощность зон 5, 6 и 7 может составлять 1–3 м.

Внутренние зоны (5, 6 и 7) КТМ принимают непосредственное участие в строении рудных тел, а внешние зоны – обрамляют их. Часто внутренние зоны подвержены дроблению и ожелезнению, местами секутся более поздними кварцевыми и кальцитовыми жилами мощностью 5–10 см. На горизонте штольни КТМ распространены меньше, чем на поверхности. КТМ накладываются на березиты и лиственитыили секут их, т. е. являются более поздними образованиями.

Содержание золота во внешних зонах составляет от 0,015 до 5 г/т, а во внутренних зонах может достигать 50 г/т. Золото находится в самородном виде в ассоциации с кварцем, турмалином, пиритом.

Месторождение Долпран приурочено к ослабленной зоне метаморфических пород в пределах надвига гранодиоритов. Вдоль данного контакта прослеживается полоса метасоматически измененных пород, к которым приурочена рудная минерализация. Характерной особенностью является наличие площадных зон турмалинизации (см. рис. 2, b). Макроскопически это мелко-среднезернистые породы серовато-зеленого, темно-зеленого, почти черного цвета. Состоят из переменного количества главных минералов: турмалина (25–40 %), кварца (35–60 %), хлорита (до 10 %), второстепенных и акцессорных минералов: карбоната, серицита, апатита, сфена, циркона, рутила, ожелезненного лейкоксена, рудных минералов (пирит, замещенный минералами группы лимонита и др.). Структура породы гранобластовая с участками лепидогранобластовой. Текстура полосчатая, сетчатая.

Турмалин имеет зеленую окраску с плеохроизмом от темно-зеленого до светло-зеленого и слабо-бурого цвета. Представлен удлиненными, короткопризматическими и почти округлы-

ми (в сечении) кристаллами, образующими тонкозернистые агрегаты, прожилковидные выделения, гнездовидные скопления. Размер выделений турмалина 0,01–0,1 мм в поперечном сечении.

Кварц образует зерна почти изометрической и неправильной формы с неровными, волнисто-зазубренными границами, волнисто-мозаичным погасанием и участками перекристаллизации. Размеры зерен кварца варьируют от 0,02 до 1,5 мм.

Главными рудными минералами являются пирит, халькопирит и арсенопирит. Золото ассоциирует с кварцем и сульфидами.

Месторождение Талды-Булак Левобережный имеет запасы 130 т при средних содержаниях 6–7 г/т. В его строении участвуют докембрийские породы – амфиболиты, биотит-амфиболовые, хлорит-амфиболовые сланцы, гнейсы и мигматиты. Эти породы прорываются раннепалеозойскими интрузивными образованиями: дайками, мелкими штоками и силлами монцодиоритов и сиенит-порфиров. Золотое оруденение сопровождается метасоматическими изменениями вмещающих пород. Дорудные изменения представляют собой калишпатизацию пород. В рудную стадию происходит березитизация интрузивных образований, сланцев, гнейсов, мигматитов и лиственитизация амфиболитов. Затем формируются КТМ, которые развиваются преимущественно в апикальных частях монцодиоритов и сиенит-порфиров и имеют секущий характер по отношению к березитам и лиственитам (см. рис. 2, а). С КТМ связано формирование пирит-халькопиритовой минерализации и наиболее богатое золотое оруденение. В рудах месторождения Талды-Булак Левобережный содержание сульфидов составляет 12–15 %. Наиболее распространенный минерал – пирит, который является главным минералом-концентратом золота.

На месторождении Мироновское рудные зоны контролируются в основном крутопадающими разломами, секущими как рифейские амфиболиты, так и ордовикские гранитоиды. Широко распространены ореолы калишпатизации и турмалинизации. Амфиболиты и амфиболовые сланцы в экзоконтактах рудных жил лиственитизированы. В гранитах наблюдается слабая грейзенизация и березитизация. Оруденение сосредоточено в КТМ и кварц-турмалин-сидеритовых жилах с сульфидами. Руда на месторождении комплексная: золото, висмут, медь, серебро, свинец, цинк. Главные рудные минералы – пирит, халькопирит, арсенопирит, золото, висмутин; второстепенные – сфалерит, галенит, вольфрамит, шеелит, тетраэдрит [4].

Заключение. В Актюз-Боординском рудном районе КТМ являются типоморфными на золоторудных месторождениях. Они не обнаруживают четкой связи с гранитоидными интрузиями и располагаются чаще на некотором удалении от них в метаморфических толщах и редко – в самих интрузиях. По отношению к калишпатитам, березитам и лиственитам они являются более поздними, накладываются на них или секут их в виде отдельных зон и прожилков, выполняют цемент брекчий, обломки которых состоят из березитов или лиственитов. В их распределении большую роль играют зоны трещиноватости. КТМ являются золотоносными и образуют промышленные руды. Основными рудными минералами в них являются пирит, халькопирит, реже минералы висмута, серебра, кобальта, полиметаллов. Золото связано в основном с сульфидной минерализацией, реже с кварцем.

Список литературы:

1. Геология золоторудных месторождений Кыргызстана / отв. ред. Н. Т. Пак. – Бишкек : Илим, 2006. – 142 с.
2. Омельяненко Б. И. Околорудные гидротермальные изменения пород. – М. : Недра, 1978. – 215 с.
3. Пак Н. Т. Золотоносная кварц-хлорит-турмалиновая метасоматическая формация в Тянь-Шане // Узбекистон олтин конлари: геологиясы ва саноат турлари. – Ташкент, 1998. – С. 55–57.
4. Shatov V. V., Seltman R., Rafailovich M. Mironovskoe copper – bismuth – gold deposit // Paleozoic geodynamics and intrusion-related Au deposits in the Altaids. Guide-book. – London, 2001. – P. 129–132.

Пенделяк Р. Н.
АО «АГД ДАЙМОНДС», г. Архангельск

ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПРИРОДЫ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ЗАВЕРКИ «ЛОЖНЫХ» ОБЪЕКТОВ

Выполнено сопоставление различных магнитных съемок на примере одной из аномалий и сделан ожидаемый вывод о схожих результатах различных съемок и о высоком качестве ранних магнитных съемок.

С целью оперативного полевого анализа природы магнитной аномалии выполнена попытка математического расчета оценки величины вклада значений магнитной восприимчивости в интенсивность магнитной аномалии в зависимости от мощности отложений.

Ключевые слова: магнитная аномалия, каппаметрия, кимберлитовая трубка, каппа-вклад.

Анализ результатов ранее выполненных поисковых работ, которые увенчались знаменательными открытиями, выявил ряд особенностей, на основании которых сделан вывод о неугасшей перспективности региона. К ним можно отнести следующие:

1. Значительная мощность кратерных отложений в ряде трубок (100–150 и более метров) и участками их высокое сходство с вмещающими породами.
2. Трубки могли быть попросту пропущены при условиях низкого выхода керна (порой менее 50 %) и проходки по вмещающим отложениям 5–20 м.
3. Заверка магнитной аномалии очень часто выполнялась всего одной скважиной, без учета возможного смещения ее эпицентра [5].

Многие годы основным геофизическим методом, используемым при проведении поисковых работ, является магниторазведка, что связано как с относительно высокой результативностью (подавляющее большинство трубок открыто именно с ее использованием), так и с высокой производительностью как в наземном, так и в аэроварианте.

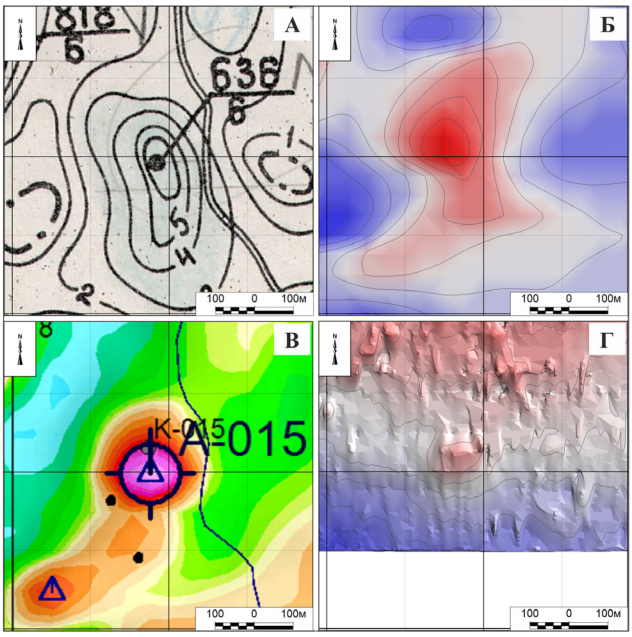


Рис. 1. Сопоставление результатов магнитных съемок различных годов:
А – аномалия по результатам аэромагнитной съемки 1985 г. (сканкопия), Б – то же, после обработки съемки в 2021 г., В – аномалия по результатам аэромагнитной съемки 2019 г., Г – аномалия по результатам наземной магнитной съемки 2019 г. (обработка 2021 г.)

Недостатком метода является большое количество «ложных» аномалий, интерпретация которых затруднена многослойностью разреза, карстом, наличием локальных прослоев и линз в перекрывающих отложениях со значительным количеством магнитных минералов.

В пределах района месторождения им. В. Гриба выполнено 5 только аэромагнитных съемок (1985, 1988, 2008, 2012, 2019 гг.). Сопоставление различных съемок на примере одной из аномалий приведено на рис. 1. Как видно на представленном рисунке, аномалия 636 размером 280 × 500 м и интенсивностью 6 нТл, выделенная по результатам аэромагнитных работ 1985 г., после обработки в 2021 г. характеризуется схожей конфигурацией, лишь незначительно смещаясь к северо-западу. На результатах аэромагнитной и наземной магнитной съемок 2019 г. местоположение аномалии совпадает друг с другом и со съемкой 1985 г., при этом интенсивность аэромагнитной аномалии составляет 6,5 нТл, а наземной – 20 нТл, т. е. наблюдается увеличение ее интенсивности, что в целом характерно для результатов наземных работ. Такая же сходимость ре-

зультатов различных съемок отмечается для всех аномалий, за исключением тех, где поздними съемками фиксируются техногенные помехи.

Но все же если тип съемки, масштаб, направление полетов и т. д. выбираются под конкретную задачу, то выяснение природы магнитной аномалии является одним из наиболее сложных вопросов, и даже по результатам заверки не всегда можно однозначно на него ответить, а в идеале понять природу аномалии необходимо непосредственно в поле. Очень часто природа магнитной аномалии связывается просто с нижней частью перекрывающих отложений и наличием в них магнитных минералов.

Это далеко не всегда так. Во-первых, в большинстве скважин единственным геофизическим методом изучения магнитных свойств разреза является каппаметрия, т. к. скважины обсаживаются до вмещающих отложений и нескольких метров по ним, и, следовательно, каротаж магнитной восприимчивости (КМВ) наиболее неоднородной части разреза не выполняется. Извлечение же обсадки и выполнение каротажа в голом стволе чревато потерей оборудования. Во-вторых, каждая из литологических разностей будет оказывать влияние на формирование аномалии. При этом высокомагнитные отложения, залегающие на большой глубине, не обязательно дадут контрастную аномалию, особенно если они имеют незначительную мощность. И еще один немаловажный факт: многие аномалии заверены одной-двумя скважинами, т. е. просто не всегда достаточно данных для достоверной оценки магнитных характеристик пород и их вклада в формирование магнитной аномалии, т. к. не с чем сравнить, ведь скважин мало.

С целью оценки величины вклада значений магнитной восприимчивости в интенсивность магнитной аномалии в зависимости от мощности отложений мы ввели понятие каппа-вклада. За основу принимается среднее значение магнитной восприимчивости в каждой стратиграфической разности перекрывающих отложений и ее мощность. Вендские отложения в расчет не принимаются в связи с низкими значениями магнитной восприимчивости в них.

Для расчета величины каппа-вклада вначале рассчитывается относительное значение каппы каждой стратиграфической разности (далее слой) по скважине по формуле:

$$\chi_{отн.} = \frac{M_L}{M_\Sigma * \chi}$$

Относительная каппа определяется как отношение мощности слоя к произведению каппы слоя на мощность всех слоев.

А непосредственно величина каппа-вклада определяется как отношение относительной каппы слоя к сумме относительных капп по скважине:

$$Kv = \frac{\chi_{отн.}}{\Sigma\chi_{отн.}} * 100\ \%\ ,$$

где Kv – каппа-вклад, M_L – мощность стратиграфической разности, M_Σ – мощность всех стратиграфических разностей по скважине, χ – средняя магнитная восприимчивость стратиграфической разности в ед. СИ, $\chi_{отн.}$ – относительная каппа (относительное значение магнитной восприимчивости по скважине, в усл. ед.), $\Sigma\chi_{отн.}$ – сумма относительных капп по скважине, в усл. ед.

В качестве примера в таблице и на рис. 2 приведены исходные данные и результаты расчета каппа-вклада, выполненного для магнитной аномалии одного из перспективных геологических участков (ПГУ). Исходя из анализа полученной диаграммы видно, что эта величина в отложениях урзугской свиты составляет от 42 до 71 %, при этом наибольшие значения (60 и 71 %) отмечаются в скважинах (Р12_04, Р12_05), пробуренных за контуром магнитной аномалии, следовательно, вклад урзугских отложений в магнитную аномалию на поверхности минимален или отсутствует. При этом доля микулинских отложений четвертичной системы составляет 34–39 %, они вскрыты исключительно скважинами, пробуренными в границах магнитной аномалии, следовательно, магнитная аномалия на поверхности вызвана именно этими отложениями.

К сожалению, в литературе и публикациях обнаружить информацию о правильности методики расчета и в целом верности полученного показателя (каппа-вклад) не удалось. При этом

Мощность отложений и магнитная восприимчивость в скважинах, пробуренных на ПГУ

№ скв.	$g_{III}os$	$m_{III}mk$	$f_{II}bb$	$C_2ol + ok$		C_2vr	C_2ur	V_2zl
		Мощность отложений, м						
P12_01	-	22,6	2,5	22,6		3,1	36,3	40,5
P12_02	2,7	9,5	-	34,1		5,1	30,9	42,8
P12_03	2,3	15,3	4,8	20,5		5,3	31,7	41,0
P12_04	10,8	-	-	39,1		4,8	33,1	23,6
P12_05	7,7	-	-	36,8		4,8	30,7	41,7
		Магнитная восприимчивость, $^{-5}$ ед. СИ						
P12_01	-	26,7	29,6	3,6		3,2	27,9	3,2
P12_02	4,9	21,3	-	1,1		8,7	7,3	1,9
P12_03	10,8	33,4	19,4	7,0		8,7	18,8	3,5
P12_04	31,0	-	-	5,5		10,2	45,2	4,9
P12_05	40,5	-	-	6,1		11,7	29,2	3,2

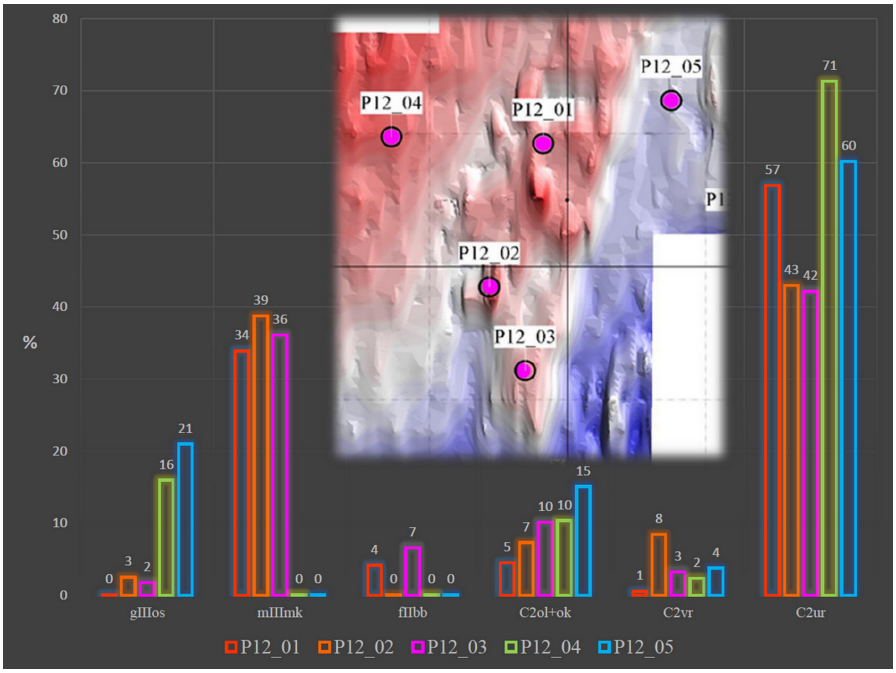


Рис. 2. Магнитная аномалия на ПГУ-12, связанная с четвертичными отложениями

природа большинства заверенных магнитных аномалий, определенная при помощи этого расчета, нам представляется выясненной.

Возможно, что это вопрос дискуссионный, требует значительно большего количества скважин, обсуждения и корректировок, но не в изначальной ли интерпретации результатов магнитных съемок кроется причина раз за разом пробуренных «пустых» скважин? Ведь все расчеты глубины залегания объекта и его формы основаны на предположении, что объект – трубка, залегающая на определенной, как правило, известной глубине. К примеру, в нашем случае часть аномалий вызвана четвертичными отложениями, которые залегают на 40 м выше рассчитанной глубины залегания верхней кромки искомого объекта.

В связи со сложностью отбраковки магнитных аномалий, вызванных перекрывающими отложениями, до производства буровых работ, важно понимать, что при вскрытии первой скважиной на аномалии отложений, сходных с ранее заверенной аномалией (природа которой достоверно установлена), есть основания отказаться от ее дальнейшей заверки. Конечно, это будет характерно для тех аномалий, которые заверяются не одной, а несколькими скважинами.

В выводах по любой работе принято кратко обобщать приведенный материал и давать рекомендации на его основе. Этой работой как давать рекомендации, так и подводить итог рано,

т. к. вопросов, на которые еще только предстоит найти ответы, по-прежнему остается много. Показательно, что различные методические указания тридцатилетней давности [1, 2] актуальны и сегодня, возможно потому, что их по горячим следам готовили первооткрыватели месторождений и трубок. И уже после были открыты новые трубки, часть из которых кардинально отличается по своим геологическим и геофизическим характеристикам. Ярким тому примером могут служить трубка им. В. Гриба и трубки Накынского поля [3]. Это еще раз говорит о том, что в геологии нет «шаблонов» или есть, но для каждого месторождения он свой [4].

Список литературы:

1. Временные методические указания по комплексированию геолого-геофизических методов при поисках коренных месторождений алмазов на севере Восточно-Европейской платформы. – Л. [СПб] : Министерство геологии СССР, 1986.
2. Временные методические рекомендации по поискам коренных месторождений алмазов в Архангельской области. – Архангельск : МинГео РСФСР ГП «Архангельскгеология», 1991.
3. Контарович Р. С., Цыганов В. А. Проблемы и перспективы развития геофизических технологий при поисках коренных месторождений алмазов // Геофизика. – 2000. – № 4. – С. 52–57.
4. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. – Архангельск : ИПП Правда Севера, 2004. – 283.
5. Пенделяк Р. Н., Морозов А. В., Могутова В. А. Геологическое строение трубки им. В. Гриба и ее индикаторные особенности в геофизических полях // Отечественная геология. – 2019. – № 5. – С. 53–59.

Петухов А. А., Кузнецова Т. П., Филиппова С. С.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ ЕКАТЕРИНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

Приведены основные особенности оруденения, а также рудовмещающих отложений Екатерининского месторождения, определена зональность оруденения, а также вариации содержаний главных и второстепенных минералов.

Ключевые слова: минеральные ассоциации, зональность оруденения, рудная минерализация.

В пределах Екатерининского месторождения выделяются окисленные и первичные руды. В минерализованной зоне, вскрытой старыми разведочными горными выработками и вновь пройденными канавами, выявлены зоны окисления, представленные главным образом оксидами железа и их гидратированными разностями, реже вторичными минералами свинца и цинка. В некоторых менее измененных разностях присутствуют реликты гнезд первичных рудных минералов, представленных скоплениями галенита. Микроскопически также установлены реликты пирита и сфалерита, находящиеся среди вторичных минералов. Пирит при этом иногда образует скопления зерен, частично замещенных гидроокислами железа, в пределах галенитовых гнезд. Размер реликтов пирита 0,01–0,03 мм. Также встречаются кубические зерна 0,07 мм, псевдоморфно замещенные гематитом. В этих зернах присутствуют сохранившиеся реликты пирита размером около 0,01 мм. Сфалерит встречается в виде реликтов в редких скоплениях смитсонита. Выделения сфалерита имеют изометричный или вытянутый облик, округлые очертания. Размер выделений 0,01–0,03 мм. Галенит образует выделения с неровными, иногда пламеневидными границами. Выделения группируются в скопления до 2 см. По краям и вдоль ослабленных зон по галениту развивается англезит. В агрегатах вторичные минералы находятся в тесном срастании и обычно представлены несколькими разностями, среди которых преобладают гетит, гидрогетит, гематит. В небольшом количестве встречается смитсонит.

По составу руд месторождение является типичным золото-серебросодержащим колчеданно-свинцово-цинковым и локализовано в осадочных толщах (SEDEX). Рудная минерализация

приурочена к вулканогенно-карбонатно-терригенной формации венда – нижнего кембрия, представленной на месторождении горизонтами переслаивания известняков, доломитов, углеродсодержащих известняков и углеродистых алевролитов. Рудные тела залегают согласно напластованию вмещающих пород в пологих палеовпадинах в приконтактовой зоне известняков с доломитами и углеродистыми алевролитами и контролируются межслоевыми тектоническими нарушениями. Кроме того, для месторождения характерны секущие рудные тела канальной зоны, контролируемые разрывными нарушениями северо-западного направления.

Высокие содержания пирита в рудах месторождения коррелируются с появлением в составе рудовмещающих доломитов графитизированного углистого вещества. В жильной матрице руд всегда присутствуют доломит, кальцит, кварц, в меньших количествах встречаются анкерит, альбит, серицит, тальк, хлорит. Специфично наличие турмалина. Характерными особенностями приаргунского типа месторождений является присутствие в рудах флюорита. Перечисленные минералы образуют несколько парагенетических минеральных ассоциаций, отвечающих различным этапам и стадиям процесса рудообразования. Типоморфными для этого типа месторождений являются пирит-арсенопиритовая, пирит-марказит-сфалеритовая, сфалерит-галенитовая, сульфоантимонит-арсенопирит-карбонатная, кварц-кальцит-антимонитовая ассоциации. В составе парагенезисов отмечаются фациальные изменения, выражающиеся в вариациях содержаний и состава сульфоантимонитов свинца и количественных соотношений главных рудных минералов. По минеральному составу выделяется несколько основных типов руд. К числу минеральных типов относятся: пирит-сфалеритовый, пирит-сфалерит-галенитовый, сфалерит-галенитовый, сульфоантимонит-галенитовый, сфалерит-галенит-пирит-марказитовый, сфалеритовый, галенитовый.

На месторождении наблюдается отчетливая вертикальная и горизонтальная зональность. В частности, богатые галенитовые руды с неравномерным распределением галенита развиты преимущественно на верхних горизонтах месторождения. На средних горизонтах наблюдаются руды сложного состава с несколько увеличенными содержаниями галенита и сфалерита. На нижних горизонтах преобладают руды с переменными содержаниями пирита и сфалерита. В целом отмечается увеличение содержаний пирита в рудах нижних горизонтов месторождения.

Таким образом, серебро-свинцово-цинковые руды месторождения характеризуются большими вариациями содержаний главных и второстепенных минералов. Выделяются два генетических типа рудных тел – стратиформный (стратифицированный) и штокверковый гидротермально-метасоматический зон поводящих каналов. Месторождение формировалось синхронно с осадконакоплением. В то же время механизм формирования стратиформных или стратифицированных рудных тел мог быть принципиально различным. Комплекс факторов, в числе которых широкое развитие согласно залегающих пластовых рудных залежей, наличие слоистых и брекчиевых текстур, колломорфных и фрамбоидальных структур руд, подверженных совместно с вмещающими породами пликативным дислокациям, указывает на гидротермально-осадочный механизм их формирования. В то же время наличие признаков эпигенетичности рудообразования – жильных, прожилковых, прожилково-вкрапленных текстур, широко развитых на месторождениях, позволяет сделать вывод, что часть рудных тел была сформирована в субмаринных малоглубинных обстановках по модели придонного («subsee floor») отложения рудных залежей путем метасоматоза и выполнения полостей отслоения слаболитифицированных осадков. Значительную роль в формировании месторождения играют постседиментационные преобразования руд в результате процессов диагенеза, эпигенеза и метаморфизма (контактового и дислокационного).

Плюснин И. А., Чуйко В. А., Синкин В. А., Калинин К. П.
ООО «Алмайнинг», г. Пермь

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КРУПНООБЪЕМНОГО ОПРОБОВАНИЯ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ

Впервые в мировой практике разработана и успешно применена новая технология крупнообъемного опробования алмазоносных россыпей на основе грейферного экскаватора XCMG-480D. Технология проходки грейферных шурфов имеет ряд неоспоримых преимуществ, главным из которых является большая глубина работы – до 75 м. Это открывает возможности проведения крупнообъемного опробования на ранее недоступных глубокозалегающих россыпях алмазов.

Ключевые слова: грейфер, шурф, крупнообъемное опробование, россыпи, алмазы.

ООО «Алмайнинг» является единственной компанией, которая с 2017 года проводит поисковые работы на россыпные алмазы на территории Пермского края. В 2018 году ООО «Алмайнинг» приступило к проведению полевых работ на участке недр «Глубокий» в Александровском районе Пермского края. До начала работ на участке «Глубокий» в рамках составления Проекта геологического изучения (2017 г.) для вскрытия и крупнообъемного опробования потенциально алмазоносных отложений планировалось использовать технологию бурения скважин большого (1200 мм) диаметра (СБД). В дальнейшем при проведении картировочного бурения на линии 110 было установлено, что мощность потенциально алмазоносных отложений в пределах участка составляет 40–50 и более метров, что превышает технические возможности имевшейся установки СБД по извлечению обсадных труб (30–33 м). В этих условиях ООО «Алмайнинг» совместно с АО «Нью Граунд» (г. Пермь) была разработана новая технология ведения горных работ, которая обеспечивала выполнение крупнообъемного опробования до глубины 75 м.



Рис. 1. Грейфер и форшахта перед установкой на устье шурфа

Основа технологии – грейферный экскаватор XCMG-480D. Грейферный экскаватор устанавливается на место проходки шурфа. Непосредственно над шурфом на поверхность рельефа ставится форшахта – металлическая направляющая для грейфера (рис. 1).

Работа грейфера выполняется циклично, контроль параметров проходки осуществляется по показаниям бортового компьютера экскаватора XCMG-480D (рис. 2).

Параметры работы грейфера, его положение в пространстве, твердость пород (по давлению закрытия ковша), а также наполненность ковша породой контролируется оператором по бортовому компьютеру. Точность положения ковша по горизонтали 1 см, по вертикали около 10 см (из-за вытяжки тросов при работе).

Линейные размеры шурфа зависят от применяемого грейфера. Нами применялся грейфер размером (длина х ширина) 2800 × 800 мм. В результате фактическое сечение шурфа составляло 2850 × 850 мм, или 2,42 м^2. Проходка шурфа на всю глубину выполняется без крепи. Устойчивость стенок обеспечивается за счет использования бентонитового раствора. Бентонит в сухом виде привозится на участок работ, где при помощи специальной центрифуги производится готовый раствор. Бентонитовый раствор из емкости объемом 60 м^3 по трубопроводу подается в шурф. Уровень бентонитового раствора в процессе проходки постоянно поддерживается не ниже 0,3–0,5 м от устья шурфа.

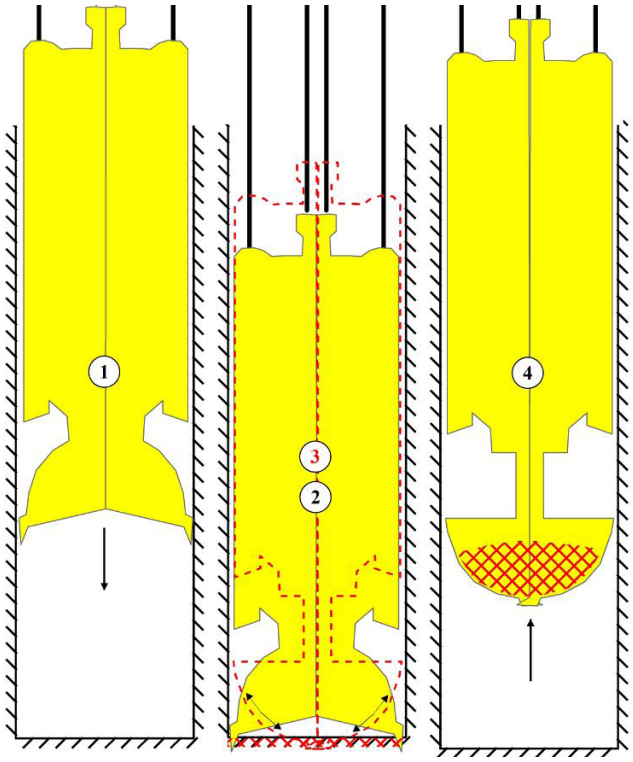


Рис. 2. Последовательность работы грейфера: фаза 1 – спуск грейфера на забой (грейфер открыт); фаза 2 – забой (грейфер открыт); фаза 3 – рыхление забоя; за счет переменного смыкания-размыкания грейфера происходит рыхление забоя примерно на высоту зубьев (около 20 см), при этом сам грейфер приподнимается над забоем при смыкании ковшей и опускается обратно при открытии; фаза 4 – подъем разрыхленного материала на поверхность (грейфер закрыт)



Рис. 3. Разгрузка грейфера в приемный бункер

Вынутая порода разгружается в приемный бункер (конструкция разработана ООО «Алмайнинг») и далее распределяется в два биг-бэга.

Каждый биг-бэг снабжается биркой стандартного образца с указанием линии, куста, шурфа, интервала опробования и транспортируется на рудный двор. Опробование ведется двухметровыми интервалами. Средний расход на 1 м^3 проходки (в плотном теле) составлял 2,5–2,6 биг-бэга.

Проходка выработок на линии выполняется кустами. В каждом кусте по 3 шурфа. Расстояние между шурфами в кусте – 1,5–2,0 м. Расстояние между кустами в линии (между центрами средних шурфов) – 40–80 м. По окончании проходки куста на рудном дворе формируются рядовые пробы. В одну пробу объединяются одинаковые по глубине интервалы из трех шурфов одного куста. Интервал опробования – 2 м. Объём рядовой пробы – 14,52 м^3 (рис. 3).

Далее материал пробы транспортируется на полевую обогатительную установку (ПОУ) где выполняется промывка с получением концентрата.

Применение указанной технологии позволило выполнить отбор крупнообъемных проб с ранее недоступных для изучения глубин. На участке «Глубокий» наибольшая глубина проходки (60 м) зафиксирована в шурфах 110/8/В и 110/21/Б (табл.).

Основные преимущества представленной технологии:

- возможность отбора крупнообъемных проб на ранее недоступных глубинах (до 60–75 м);
- высокая скорость проходки (до 450–500 п. м. / месяц);
- высокая механизация процесса, контроль глубины до 0,1 м;
- безопасность ведения горных работ;
- возможность работы в неустойчивых и обводненных породах;
- постоянство поперечного сечения шурфа по всей глубине выработки;
- исключение потерь алмазов в процессе складирования и перевозки проб;
- универсальность (пригодна практически для любых россыпных объектов).

В то же время в процессе отработки новой технологии были выявлены определен-

Сведения о проходке наиболее глубоких грейферных шурфов

Куст	Шурф	Дата		Проходка, м			Сечение, м^2
		Начало	Окончание	Без отбора проб	С отбором проб	Всего	
110/8	110/8/В	17.07.2019	22.07.2019	3,0	57,0	60,0	2,42
110/21	110/21/Б	10.08.2020	13.08.2020	18,0	42,0	60,0	2,42



Рис. 4. Уход бентонитового раствора из шурфа (июль 2019 г., участок «Глубокий»)

ные ограничения в ее применении. Некоторые шурфы не удавалось добить до плотика. Причина – аварийный уход бентонитового раствора, который объясняется наличием тектонического нарушения в *карбонатных* породах плотика россыпи и особенностями режима подземных вод участка. При приближении забоя шурфа к зоне повышенной трещиноватости в плотике россыпи происходит резкое неконтролируемое понижение уровня раствора, которое невозможно компенсировать доливом (рис. 4).

По нашим расчетам, величина поглощения раствора достигает 200–300 м^3 в час. Особенно это характерно для западной части россыпи, где продуктивные отложения залегают непосредственно на карбонатных породах девона. После ухода бентонитового раствора стенки шурфа теряют устойчивость, происходит их хаотичное обрушение, и дальнейшая проходка становится невыполнимой из-за возможного прихвата грейферного снаряда.

Несмотря на некоторые ограничения, применяемая технология показала себя с наилучшей стороны. На сегодняшний день она является практически безальтернативной при работе на глубокозалегающих россыпях Урала. Благодаря ее применению были вскрыты и опробованы алмазоносные отложения на глубинах до 50–60 м. Скорость проходки шурфов грейфером в разы выше, чем при ручной проходке и составляет до 450–500 п. м. в месяц при двухсменной работе.

Благодаря применению представленной технологии было открыто Сюзёвское месторождение россыпных алмазов в Александровском районе Пермского края. Запасы месторождения утверждены Протоколом ГКЗ Роснедра № 7139 от 18.11.2022. Специалисты ГКЗ Роснедр дали высокую оценку эффективности применения грейферной технологии крупнообъемного опробования (Протокол ГКЗ № 7139 от 18.11.2022).

Продолжение работ по крупнообъемному опробованию Сюзёвского месторождения россыпных алмазов, а также открытие аналогичных глубокозалегающих алмазоносных россыпей возможно только при условии применения данной технологии. Она также может эффективно применяться для опробования россыпей золота, платины и др., особенно в случае наличия крупного металла, который не попадает в пробу при разведке буровыми скважинами. Применение проходки грейферных шурфов также может быть рекомендовано при контрольном опробовании россыпей, разведанных буровыми скважинами.

Подмогов Ю. Г.[1], Керцман В. М.[2], Мойланен Е. В.[3]
[1] ООО «Геотехнологии», г. Москва; [2] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва;
[3] ИПУ РАН, г. Москва

ОПЕРЕЖАЮЩИЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСОМ «ЭКВАТОР» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Опережающие аэрогеофизические исследования являются стартовым этапом в процессе перехода от стадии общих поисков к стадии детальных поисковых работ. Их главной задачей является обоснованное выделение локальных перспективных участков, в пределах которых будут выполняться крупномасштабные наземные геолого-геофизические работы и последующие заверочные горно-буровые работы. Приводятся примеры таких работ по одной из перспективных площадей в Забайкальском крае. Полученные результаты позволяют существенно минимизировать объемы и сроки последующих заверочных работ.

Ключевые слова: аэроэлектроразведка, аэромагнитометрия, аэрогамма-спектрометрия, комплекс «ЭКВАТОР».

Комплекс «ЭКВАТОР» предназначен для выполнения аэрогеофизических съемок и включает в себя аэроэлектроразведочную систему «ЭКВАТОР» (временные и частотные зондирования), аэромагнитную систему GT-MAG (темп измерений 926 Гц), аэрогамма-спектрометр McPfar (1024 канала), систему сбора данных и высокоточной навигации NAVDAT, комплекс программ автоматической обработки аэрогеофизической информации [1, 3].

Результаты опережающих аэрогеофизических исследований на площади Бахтарнак. На участке работ были выполнены комплексные аэрогеофизические исследования масштаба 1 : 10 000 на площади около 250 км^2 (рис. 1). Основной целью работ являлось выделение локальных участков, перспективных на обнаружение рудного золота, в пределах которых будут выполняться геолого-геофизические исследования стадии детальных поисков с последующей заверкой горно-буровыми работами. На рис. 2 представлены основные геофизические карты и схемы результатов их интерпретации на геологической основе. Перспективные участки выделялись на основании сопоставления аномальных изменений магнитных, электрических и радиоактивных свойств среды с известными рудопроявлениями и пунктами золотой минерализации. Всего на площади работ нами выделены семь перспективных участков для дальнейшего изучения с целью установления их промышленной золотоносности. Рассмотрим более детально геофизические характеристики трех выделенных участков.



Рис. 1. Обзорная схема площади работ

Участок 1. Расположен на юге площади. Фрагменты геофизических карт по участку представлены на рис. 3. Вдоль границ раздела между рифеем и кембрием (западный фланг участка) фиксируется магнитоактивное тело, предположительно дайка первой фазы Таллаинского интрузивного комплекса. На западном контакте дайки находятся рудопроявление Бахтарнак (рудные залежи 1, 2) и пункты золотой минерализации. На восточном фланге участка на границе раздела отложений венда и рифея также фиксируется цепочка магнитоактивных тел меридионального простирания заметно меньшей интенсивности. Она сопровождается аномальными значениями доминанты калия. Выделенные магнитоактивные объекты отсутствуют на геологической карте. На контактах магнитных тел отмечаются пун-

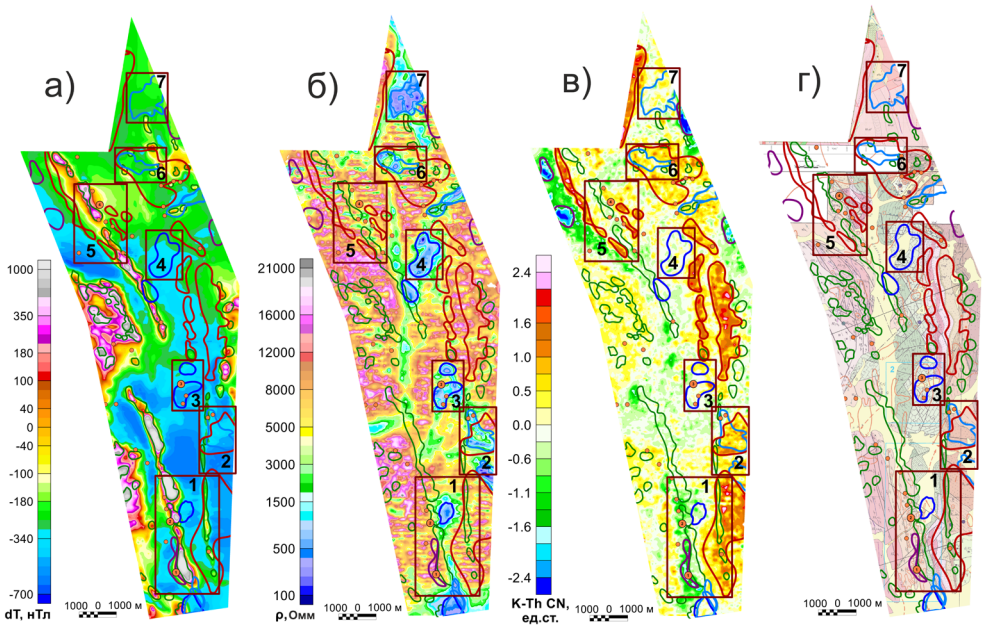


Рис. 2. Площадь Бахтарнак:
а – карта аномального магнитного поля; б – карта кажущихся сопротивлений для интервала глубин 0–300 м; в – карта центрированных и нормированных разностей калия и тория; г – результаты интерпретации на геологической основе

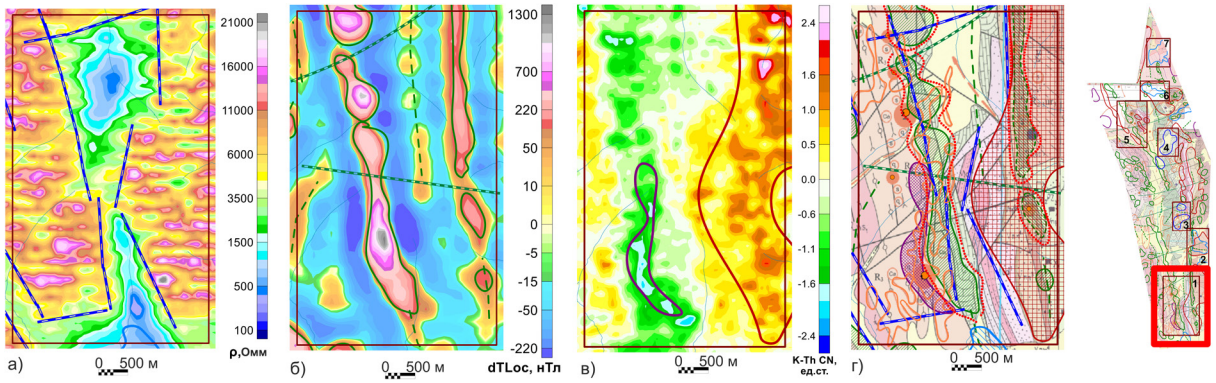


Рис. 3. Площадь Бахтарнак. Фрагменты геофизических карт по Участку 1:
а – карта кажущихся сопротивлений для интервала глубин 0–300 м, б – карта локальной составляющей аномального магнитного поля, в – карта центрированных и нормированных разностей калия и тория, г – результаты интерпретации на геологической основе и схема расположения участка

кты золотой минерализации. Между двумя магнитными объектами среди карбонатных пород кембрия в поле сопротивлений фиксируется проводник изометрической формы. Его присутствие может быть связано с процессами карстообразования или активной сульфидизации.

Участок 3. Расположен в центральной части площади. Фрагменты геофизических карт по участку представлены на рис. 4. Большую часть участка занимают карбонатные отложения (известняки, доломиты) нижней янгудской свиты кембрия. Магнитные и радиометрические аномалии в пределах участка отсутствуют, что типично для карбонатных пород. Интерес к участку связан с присутствием двух низкоомных объектов среди обычно высокоомных известняков и доломитов. На контактах южной зоны аномально низких сопротивлений с неизмененными известняками находится рудопроявление Археоциатовое и зафиксированы два пункта золотой минерализации. Возможная причина резкого понижения сопротивления карбонатных отложений – их гидротермальные изменения, сопровождавшиеся процессами сульфидизации и, возможно, графитизации. В пределах этих зон аномально низких сопротивлений возможно присутствие золотосодержащих пород.

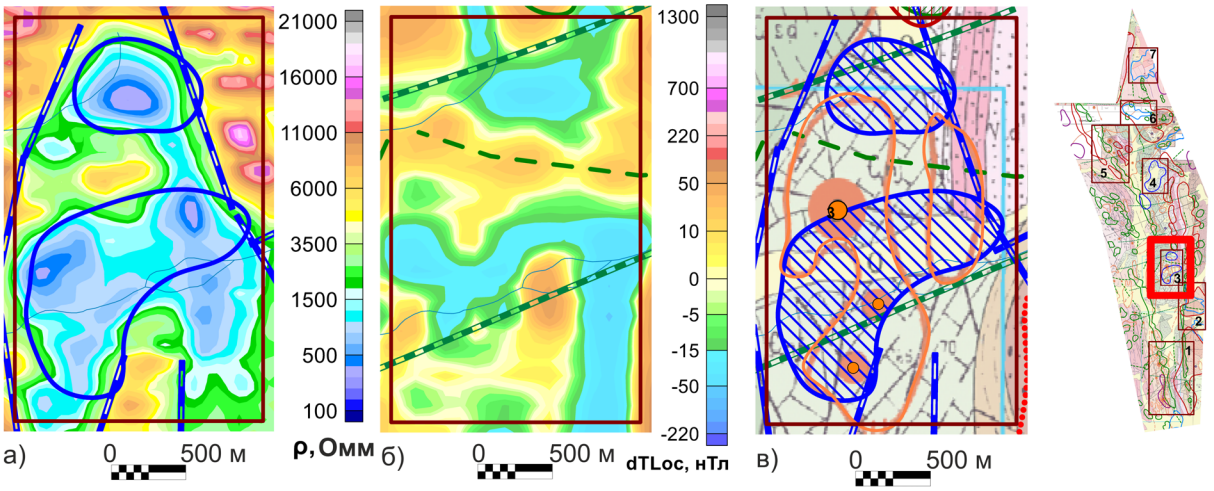


Рис. 4. Площадь Бахтарнак. Фрагменты геофизических карт по Участку 3:
а – карта кажущихся сопротивлений для интервала глубин 0–300 м; б – карта локальной составляющей аномального магнитного поля; в – результаты интерпретации на геологической основе и схема расположения участка

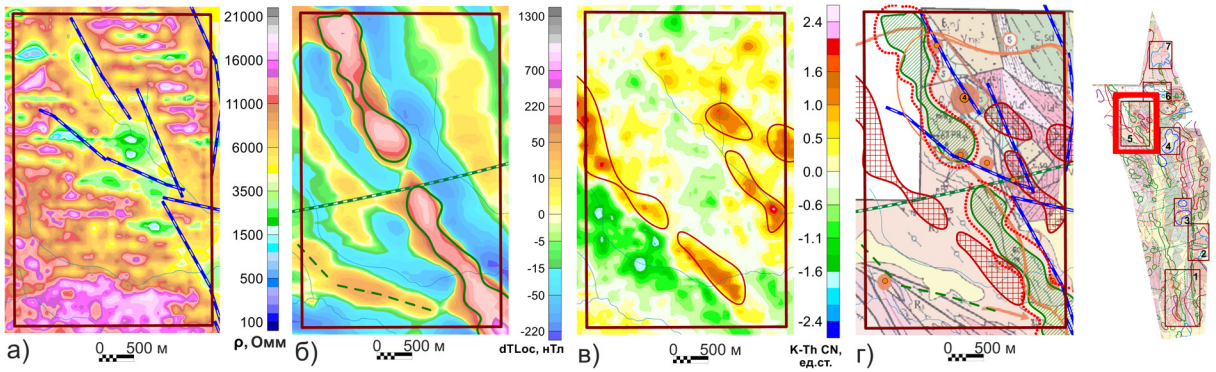


Рис. 5. Площадь Бахтарнак. Фрагменты геофизических карт по Участку 5:
а – карта кажущихся сопротивлений для интервала глубин 0–300 м; б – карта локальной составляющей аномального магнитного поля; в – карта центрированных и нормированных разностей калия и тория; г – результаты интерпретации на геологической основе и схема расположения участка

Участок 5. Расположен на северо-западе площади. Фрагменты геофизических карт по участку представлены на рис. 5. Параллельно границе раздела между рифеем и кембрием, с небольшим смещением от нее в магнитном поле фиксируется линейно вытянутая дайка основного состава первой фазы Таллаинского интрузивного комплекса. На ее восточном контакте находятся рудопроявление Золотое и пять пунктов золотой минерализации. Выделенные магнитоактивные объекты отсутствуют на геологической карте. Субпараллельно магнитной дайке основного состава со смещением на 600–700 м фиксируется узкая линейная аномалия доминанты калия над торием. Возможно, она отвечает интрузии кислого состава второй фазы Таллаинского интрузивного комплекса. В пределах узкой полосы карбонатных отложений кембрия, на контакте с рифейскими сланцами отмечается резкое уменьшение сопротивлений до 1500–2000 Ом·м на фоне 5000–10 000 Ом·м. Перспективы участка на золотоносность могут связываться с гидротермальными изменениями вдоль контактов даек основного состава.

Выводы. По данным электроразведки выделены локальные электропроводные области в пределах развития карбонатных пород кембрия и рифея. В ряде случаев области пониженных сопротивлений сопровождаются рудопроявлениями золота и пунктами его минерализации. Эти аномальные объекты могут быть обусловлены процессами гидротермальных преобразований исходных пород и содержать золоторудную минерализацию.

По данным магнитометрии выявлены и прослежены в плане магнитоактивные линейно вытянутые объекты северо-северо-западного и субмеридионального простирания, которые от-

сутствуют на геологической карте участка. К контактам этих магнитных тел с вмещающими породами тяготеют известные рудные залежи, рудопроявления и пункты золотой минерализации. Внешние контакты этих тел являются перспективными на обнаружение новых рудных золотоносных залежей.

По гамма-спектрометрии на участках 1 и 5 выделены области доминанты калия над торием.

При последующих исследованиях перспективных участков для установления геологической природы аномальных объектов в их пределах рекомендуется выполнить геохимическое опробование, профильную магнитометрию через эпицентры магнитных аномалий и электротомографию с регистрацией эффектов ВП.

По опыту аналогичных работ 2019 г. на Кондинской площади последующие геолого-геофизические исследования выявленного аэрогеофизическими методами перспективного участка привели к открытию крупного месторождения Роман, уже в 2022 г. его запасы были утверждены в ГКЗ в размере 143 т Au [2].

Список литературы:

1. Керцман В. М., Мойланен Е. В., Подмогов Ю. Г. Возможности аэрогеофизики при поисках золоторудных месторождений различного типа // Геофизика. – 2019. – № 4. – С. 52–59.
2. Потанин А. С., Чварова Н. В. Поиски и оценка рудного золота в бассейне р. Токко (Южная Якутия) // Материалы научно-практической конференции «Актуальные проблемы поисковой геологии». – 2022. – С. 18.
3. Moilanen J., Karshakov E., Volkovitsky A. Time-domain helicopter EM System «Equator»: resolution, sensitivity, universality // 13th SAGA biennial and 6th International AEM conference AEM-2013. Mpumalanga. South Africa. Expanded Abstracts. – 2013. – P. 1–4.

Пономарева Г. А.
ФГБОУ ВПО ОГУ, г. Оренбург

К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ В КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ

Рассмотрены содержания Pt, Pd, а также Au, Ag в колчеданных месторождениях Восточного Оренбуржья, определенные методом атомно-абсорбционной спектрометрии после предварительной пробоподготовки с использованием авторского патентованного способа. По количественным соотношениям наблюдается платино-палладиевая и палладиево-платиновая специализация месторождений, соответствующая западному и восточному борту Магнитогорского прогиба. Распределение платины и палладия в месторождениях уральского типа (Гайское, Блявинское и Яман-Касы), отличается, как правило, от их распределения в месторождениях домбаровского типа (Весеннее, Светлинское) и баймакского (Джусинское и Барсучий Лог) по соотношению Pt/Pd. В рудах уральского типа Pt/Pd < 1, в рудах домбаровского и баймакского типов Pt/Pd > 1. Наблюдается увеличение содержания Pt в Магнитогорском прогибе с запада на восток.

Ключевые слова: платина, палладий, колчеданные месторождения, Магнитогорский прогиб, отношение Pt/Pd.

В Оренбургской области почти все месторождения меди колчеданного типа располагаются в Магнитогорском прогибе и локализуются в различных рудных, металлогенических и вулканических районах и поясах [4, с.26–39; 2; 6, с. 8–18; 10 и др.].

Колчеданные руды залегают в среднедевонских вулканогенных породах островодужной базальт-риолитовой ассоциации, в которых широкое распространение получила зеленокаменная ступень метаморфизма. Как правило, рудные тела приурочены к верхам эффузивной пачки кислого состава, которая перекрыта андезитобазальтами или горизонтом осадочных пород и мощной андезито базальтовой пачкой. В лежачем боку колчеданной залежи наблюдается, как

правило, ореол интенсивно проявленных гидротермально-метасоматических изменений пород, которые выражены в их серицитизации, окварцевании и пиритизации, хлоритизации, рассланцевании и брекчировании.

Залежи слагаются преобладающим пиритом (до 95 %), сфалеритом и халькопиритом, второстепенными минералами являются блеклая руда, галенит, борнит, ковеллин, халькозин. Из нерудных преобладают кварц, серицит, кальцит, барит. Кроме Cu, Zn, S руды содержат в промышленных количествах Au, Ag, Se, Cd, Te, Co [4, с. 43–62; 2; 6; 10 и др.]. Интересен и комплекс сопутствующих ценных элементов, в числе которых Pt, Pd, Bi и другие [1–5, 6–8 и др.]. Их вовлечение в реальное производство является важным не только для Уральского региона, но и Российской Федерации в целом.

Одной из главных задач исследования являлось установление закономерностей распределения Pt и Pd в ассоциации с Au и Ag в колчеданных месторождениях Восточного Оренбуржья. С этой целью проанализированы 62 пробы из восьми месторождений, как разрабатываемых, так и отработанных, и законсервированных. Всего выполнено более 480 анализов по единой методике из следующих колчеданных месторождений: Гайское медно-цинковое, Яман-Касы медно-цинковое, Блявинское медно-цинковое, Джусинское баритполиметаллическое, Барсучий Лог баритполиметаллическое, Весеннее медно-полиметаллическое, Светлинское медно-колчеданное, Ишкининское кобальт-медно-колчеданное [6, 7].

Для анализа отбирали пробы руды и рудных минералов из горных выработок и керна скважин. Стандартные процедуры включали измельчение, перемешивание, сокращение проб. Масса проб для анализа составляла 30–50 г. Масса навески образцов – 10 г согласно методике (измельчение до 0,07 мм).

Пробоподготовку проводили согласно методике, разработанной во ВСЕГЕИ (№ 430-Х) с использованием авторского способа дополнительного разложения углеродистой части анализируемых образцов (Патент РФ № 2409810). Инструментальное определение благородных металлов выполнено автором методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермическим атомизатором на спектрометре МГА-915 (СПб.) в лаборатории физических методов исследования кафедры геологии Оренбургского государственного университета. Конечные растворы или суспензии сорбента анализировали на содержание золота, платины, палладия и серебра согласно условиям их определения, режиму работы атомизатора и руководству по эксплуатации спектрометра с учетом специфики образцов.

Результаты определения благородных металлов в колчеданных месторождениях Оренбургской части Южного Урала представлены в таблице [6].

Из таблицы видно, что Pt и Pd распределены крайне неравномерно как в пределах одного месторождения, так и от месторождения к месторождению, что характерно для колчеданных

Результаты определения Pt, Pd, Au, Ag в колчеданных месторождениях Восточного Оренбуржья

Месторождение	Тип	Pt	Pd	Au	Ag	Pt/Pd
Гайское (28)	Уральский	2–20 / 8	0,2–70 / 21	17–2560 / 770	13–4910 / 1778	0,4
Яман-Касы (9)	Уральский	2–43 / 20	7–93 / 33	3140–26590 / 10880	38–6850 / 3740	0,61
Блявинское (3)	Уральский	34–75 / 55	56–95 / 75	-	-	0,73
Ишкининское (3)	Домбаровский	7–130 / 67	81–4747 / 1896	5–54 / 24	2000–5030 / 3393	<< 1
Джусинское (6)	Баймакский	15–50 / 39	6–21 / 9	4372–6650 / 5452	190–4355 / 2180	4,3
Барсучий Лог (5)	Баймакский	80–680 / 300	2–14 / 8	940–3070 / 1860	930–2650 / 1880	>> 1
Весеннее (5)	Домбаровский	78–210 / 142	7–41 / 17	1081–6340 / 3672	3460–6330 / 4978	8
Светлинское (3)	Домбаровский	101–387 / 247	2–4 / 3	4310–5335 / 5138	970–2481 / 1489	>> 1

Примечание. В числителе указан размах содержаний, в знаменателе – среднее значение, мг/т.

месторождений Урала [3]. Максимальное количество Pt установлено в рудах месторождения Барсучий Лог – 300 мг/т, а Pd – 1896 мг/т – в рудах Ишкининского месторождения (здесь и далее приводятся средние значения содержаний металлов). Минимальное количество Pt – 8 мг/т содержится в рудах Гайского, а Pd – 3 мг/т – в рудах Светлинского месторождений. В среднем месторождения западной части Магнитогорского прогиба содержат на порядок ниже Pt и больше Pd по сравнению с восточными районами. Из минералов наиболее обогащен Pt и Pd халькопирит (Гайское, Яман-Касы, Весеннее, Барсучий Лог).

В то же время при сравнительно низком содержании Pt и Pd в пирите, с учетом количественных соотношений, основная масса Pt и Pd (как Au и Ag) приурочена именно к этому преобладающему минералу. Пирит, широко развитый в рудопроявлениях, необходимо рассматривать как потенциальный источник Pt и Pd.

По количественным соотношениям Pt и Pd колчеданные месторождения подразделяются на два типа: платино-палладиевые при Pt/Pd < 1 (Гайское, Яман-Касинское, Блявинское, Ишкининское) и палладиево-платиновые, Pt/Pd > 1 (Весеннее, Джусинское, Барсучий Лог, Светлинское). Они расположены, как правило, в западном и восточном бортах Магнитогорского прогиба соответственно.

Согласно данным М. Б. Бородаевской, Д. И. Горжевского, А. И. Кривцова, Г. А. Твалчрелидзе, Г. Ф. Яковлева и др. принято выделять типы колчеданоносных провинций, которые различаются рядом признаков: геотектоническими условиями образования, рудоносными геологическими формациями, минеральным типом и другими характеристиками. Рассматриваемые в статье колчеданные месторождения Оренбургской области представлены следующими геологическими типами (согласно Твалчрелидзе Г. А. (1977, 1981) с учетом уточнений Прокина В. А. с соавторами (1985, 1988, 1992):

- уральским – Гайское, Яман-Касы, Блявинское;
- баймакским-малокавказским – Джусинское, Барсучий Лог;
- кипрским-домбаровским – Весеннее, Ишкининское, Светлинское (см. табл.).

Месторождения указанных выше типов, образующие, по мнению И. Б. Серавкина [12], закономерный ряд (который согласно Д. В. Рундквисту и И. А. Неженскому [11] прямо коррелирует с рядом геохимической зональности), автор дополнил сведениями по платине и палладию. Этот ряд с некоторыми упрощениями выглядит так:

Pd>>Pt Pd>Pt (У) Pd<Pt (Д) Pd<<Pt
Fe (Co) → Fe Cu (Au) → Zn Pb Au Ag
|Ивановский тип|
|Домбаровский|
| Уральский тип |
|← Баймакский тип →|

При переходе от ивановского типа, в котором наблюдается резкое преобладание Pd над Pt, к уральскому (У) отношение Pt/Pd возрастает и становится больше единицы в домбаровском (Д) и более контрастным в баймакском типе (см. табл.). Однако подтверждение этой мысли нуждается в дополнительных исследованиях.

Распределение платиноидов в месторождениях уральского типа (Гайское, Блявинское и Яман-Касы) отличается, как правило, от распределения их в месторождениях Домбаровского типа (Весеннее, Светлинское, Ишкининское) и Баймакского (Джусинское и Барсучий Лог) по соотношению Pt/Pd. В рудах уральского типа Pt/Pd<1, в рудах домбаровского (исключение – Ишкининское месторождение) и баймакского типов – Pt/Pd>1. Следует отметить, что Ишкининское кобальт-медноколчеданное месторождение представляет собой крайнюю ветвь месторождений домбаровского типа – ивановский тип (Серавкин, 2010 г.) [12, с. 88, 122–123]. Месторождение занимает нетипичную позицию и связано с офиолитами Главного Уральского разлома (В. В. Зайков, И. Ю. Мелекесцева). Разлом располагается к западу от Магнитогорского прогиба, возможно, поэтому соотношение Pt/Pd в его рудах меньше единицы, как у Гайского и др. Месторождения уральского типа, как правило, приурочены к западному борту Магнитогорского прогиба или находятся вблизи него, а месторождения домбаровского и кипрского типа – к восточному борту. Данные автора согласуются с литературными данными. У В. Г. Лазаренко-

ва с соавторами (2006) и Т. Н. Грейвера с соавторами (1994) уральский тип месторождений характеризуется платино-палладиевой специализацией при соотношении Pt/Pd, равном 0,85 и 0,4 соответственно [5, с. 141–142]. У К. К. Золоева и др. (2001) для баймакского типа соотношение Pt/Pd составляет примерно 2–6 [2, с. 142].

В целом в колчеданных месторождениях с запада на восток возрастает содержание Pt в рудах и одновременно уменьшается содержание Pd. Следует отметить, что и концентрации Au в колчеданных месторождениях восточной зоны выше по сравнению с западной, что согласуется с мнением Ю. А. Волченко и В. А. Коротеева (2000): степень платиноносности уральских колчеданных месторождений «сопряжена не только со степенью медности, но и с уровнем золотоносности» [3]. Месторождения восточной зоны по сравнению с западной зоной отличаются и повышенным соотношением Pt/Pd [6, 7].

Список литературы:

1. Викентьев В. И., Молошаг В. П., Юдовская М. А. Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала // Геология рудных месторождений. – 2006. – Т 48, № 2. – С. 91–125.
2. Волченко Ю. А., Золоев К. К., Коротеев В. А., Малахов И. А., Мардиросьян А. Н., Хрыпов В. Н. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. – Екатеринбург, 2001. – 199 с.
3. Волченко Ю. А., Коротеев В. А. Платинометалльное оруденение палеоостроводужных комплексов Урала: платиноносные и палладиеносные пояса // Тезисы доклада III Всеуральского металлогенического совещания. – Екатеринбург, 2000. – С. 94–98.
4. Гайский ГОК: геология Гайского и Подольского медно-цинковых колчеданных месторождений на Урале. – Екатеринбург : ИГиГ Уро РАН, 2004. – 148 с.
5. Лазаренков В. Г., Таловина И. В., Белоглазов И. Н., Володин В. И. Платиновые металлы в гипергенных никелевых месторождениях и перспективы их промышленного извлечения. – М. : Недра, 2006. – 188 с.
6. Пономарева Г. А. Металлогеническая зональность платиноидной специализации Оренбургской части Южного Урала // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург : ОГУ, 2015. – № 6. – С. 197–201.
7. Пономарева Г. А. Платиноиды медно-колчеданных месторождений восточного Оренбуржья // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. – Оренбург, 2022. – С. 2116–2121.
8. Пономарева Г. А. Технологии выщелачивания цветных и благородных металлов из отвалов и отходов медноколчеданных месторождений // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. – Оренбург, 2022. – С. 2122–2126.
9. Прокин В. А. Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале. – М. : Недра, 1977. – 174 с.
10. Прокин В. А., Буслаев Ф. П., Исмагилов М. И. [и др.]. Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение. – Свердловск [Екатеринбург] : УрО АН СССР, 1988. – 241 с.
11. Рундквист Д. В., Неженский И. А. Зональность эндогенных рудных месторождений. – Л. [СПб.]: Наука, 1975. – 224 с.
12. Серавкин И. Б. Металлогения Южного Урала и Центрального Казахстана. – Уфа : Гилем, 2010. – 284 с.

Попов И. В., Алексеев Я. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

«ЗАЯВИТЕЛЬНЫЙ ПРИНЦИП», ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДСТВА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАСЛЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И РЕСУРСОВ

Приведены результаты деятельности недропользователей на АБЦМ в рамках действия механизма «заявительного принципа» на территории России. Рассмотрены объемы лицензирования, объемы планируемых и фактических затрат недропользователей, прирост запасов АБЦМ. Отмечены основные проблемы реализации механизма «заявительного принципа».

Ключевые слова: лицензии, «заявительный принцип», геологическое изучение, воспроизводство, финансирование, инвестиции, прирост запасов, недропользователи.

Механизм «заявительного принципа» по предоставлению в пользование участков недр с низким уровнем геологической изученности был введен в действие на территории Российской Федерации в 2014 г. с целью повышения инвестиционной привлекательности в сфере недропользования и повышения показателей воспроизводства минерального сырья. С момента введения в действие механизма по 2022 г. неоднократно совершенствовалась нормативно-правовая база и изменялись условия реализация механизма: в 2019 г. было расширено действие механизма «заявительного принципа» на категории P_1 и P_2 для территорий Дальневосточного ФО, Арктической зоны РФ и Иркутской области; в 2020 г. увеличена площадь для участков недр для ГИН на алмазы со 100 до 500 км^2, а также введен запрет на предоставление участков недр, которые полностью или частично расположены в границах проведения ГИН за счет средств федерального бюджета, если работы прекращены менее чем за год до подачи заявки; с 2022 г. увеличены предельное количество участков недр с 3 до 5 и их площадь со 100 до 500 км^2, предоставляемых в пользование на одного заявителя в течение календарного года для всех видов ТПИ. В настоящее время действует приказ Минприроды России и Роснедр от 28.10.2021 г. № 802 / 20, вступивший в силу с 1 января 2022 г. [1].

Повышенный интерес со стороны недропользователей к механизму «заявительного принципа» подтверждается большим количеством ежегодно подаваемых заявок на ГИН на АБЦМ, а также количеством выдаваемых лицензий данного вида (рис. 1). По данным ФГИС «АСЛН» [3] на начало 2023 г. за период действия механизма «заявительного принципа» на АБЦМ было подано 16 975 заявок, что составляет 90 % от общего количества заявок на ТПИ. При этом стоит отметить, что порядка 94 % от заявок на ГИН с целью поисков и оценки месторождений АБЦМ приходится на золото.

Почти 78 % всех действующих лицензий на АБЦМ в России, выданных по «заявительному принципу», приходятся на регионы, входящие в Дальневосточный ФО, что подтверждает высокий ресурсный потенциал данной территории для геологического изучения.



Рис. 1. Динамика удовлетворенных заявок и выдачи лицензий по механизму «заявительного принципа» на АБЦМ



Рис. 2. Динамика фактического финансирования ГРР на АБЦМ по лицензиям «заявительного принципа», млн руб.

Фактическое финансирование геологоразведочных работ (ГРР) на АБЦМ по лицензиям «заявительного принципа» ежегодно увеличивается, с 2019 г. дважды отмечено удвоение затрат в годовом выражении (рис. 2). Основной причиной увеличения объемов финансирования работ является рост интереса со стороны недропользователей к данному механизму и, соответственно, увеличение количества действующих лицензий данного вида. При этом большая часть финансирования ГРР на АБЦМ по лицензиям «заявительного принципа» приходится на золото – 70 %.

По данным протоколов ГКЗ/ТКЗ по состоянию на 01.01.2023 г. прирост балансовых запасов ($АВС_1 + С_2$) АБЦМ от деятельности недропользователей на участках недр, полученными ими в рамках действия механизма «заявительного принципа», составил:

- золото – 272 т, в том числе:
  золото коренное – 222,8 т,
  золото россыпное – 49,2 т;
- серебро (как попутное ПИ) – 1591,5 т;
- платина – 4649,7 кг;
- палладий – 4939,3 кг;
- медь – 608,7 тыс. т;
- алмазы – 430,5 тыс. карат.

По остальным видам АБЦМ, никелю, кобальту, свинцу и цинку прирост балансовых запасов пока отсутствует.

Для платиноидов прирост запасов обеспечен тремя объектами, расположенными в Свердловской области и Республике Карелия. Прирост запасов меди получен на 2 объектах – в Республике Карелия и Забайкальском крае. Поставленные на госбаланс запасы алмазов получены на одном объекте в Пермском крае.

Для золота прирост запасов по лицензиям «заявительного принципа» получен на территории 21 субъекта РФ. Наибольшая доля прироста – 51 % – обеспечена на территории Забайкальского края, далее следуют Республика Саха (Якутия) – 30 %, Хабаровский край – 3,5 %, Иркутская область – 3,5 %. При этом прирост запасов коренного золота на начало 2023 г. обеспечен 14 объектами в рамках 10 лицензионных участков на территории шести субъектов РФ.

Участки недр, где осуществлялись работы в рамках действия механизма «заявительного принципа», были выявлены, и поставлены на баланс объекты коренного золота, характеризуются наличием либо ранее проводимых работ различных стадий, либо непосредственной близостью к известным месторождениям. Следующей особенностью является весомый вклад в наращивание запасов рудного золота – 124,1 т, или 55,7 % – комплексного медно-порфирового месторождения Лугокан, содержащего также медь и серебро (протокол ГКЗ 7093 от 27.09.2022).

Для россыпного золота в результате пространственного анализа установлено, что наиболее востребованными для лицензирования и продуктивными в части прироста запасов металла являются объекты площадью до 25 км^2, на данные участки приходится 41 % от полученного

прироста запасов россыпного золота и более половины от количества лицензий, по которым утверждены запасы россыпного золота. Далее, по мере увеличения площади лицензионных участков отмечено уменьшение количества лицензий и соответственно их результативности по приросту запасов россыпного золота. На объекты с площадью от 25 до 50 км^2 приходится 35 % от полученного прироста запасов россыпного золота, а участки недр с площадями от 50 до 75 км^2 и от 75 до 100 км^2 имеют доли по 12 %.

Исходя из представленных данных по объектам россыпного золота можно предположить, что с введением в действие механизма «заявительного принципа» недропользователи получили правовую возможность взять в пользование участки недр с достоверной информацией о локализации запасов полезных ископаемых, обладая дополнительными сведениями о возможной продуктивности на таких участках недр [2].

С момента начала действия механизма «заявительного принципа» отмечается высокая инвестиционная активность недропользователей, нормативно-правовая база реализации механизма регулярно совершенствуется, объем фактического финансирования ГРР на АБЦМ ежегодно растет, прирост запасов по золоту и серебру находится в положительной динамике, и в ближайшие несколько лет данная тенденция не изменится. Стоит отметить, что основной интерес недропользователей сосредоточен на поиске месторождений золота, остальные виды АБЦМ существенно уступают по всем показателям. Однако в перспективе по мере исчерпания задела объектов, по которым имеется информация о локализации запасов полезных ископаемых, существует риск снижения результативности реализации механизма «заявительного принципа».

Список литературы:

1. Приказ Минприроды России и Роснедра от 28 октября 2021 года № 802/20 «Об утверждении порядка предоставления права пользования участками недр для геологического изучения недр, включающего поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, на участке недр, не включенном в перечень участков недр для геологического изучения недр, за исключением недр на участках недр федерального значения и участках недр местного значения».
2. Алексеев Я. В., Попов И. В. «Заявительный принцип», основные результаты работ на алмазы, благородные и цветные металлы // Отечественная геология. – 2021. – № 3–4. – С. 3–10.
3. ФГИС «АСЛН». : URL: https://asln.rosnedra.gov.ru/. (дата обращения: 03.04.2023)

Похиленко Н. П., Афанасьев В. П.
ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ С ПРОМЫШЛЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБУН ИГМ СО РАН.

Основные перспективы выявления новых кимберлитовых полей, включающих тела с промышленной алмазоносностью на территории Сибирской платформы (СП), связаны со среднепалеозойским этапом кимберлитового магматизма. Для различных полей данного этапа установлена отрицательная связь между интенсивностью проявлений кимберлитового магматизма и средним для поля содержанием алмазов в его телах. Признаки присутствия новых кимберлитовых полей среднепалеозойского возраста с высокоалмазоносными телами установлены в различных частях территории СП, но наиболее очевидными перспективы их выявления представляются для северной и центральной частей платформы.

Ключевые слова: Сибирская платформа, кимберлиты, алмазоносность, средний палеозой.

Выявление характера и природы возможных причин, контролирующих существование явной обратной связи между масштабом проявлений среднепалеозойского этапа кимберлитового магматизма для различных полей Сибирской платформы (общее количество и объем тел)

и доли среди них высокоалмазоносных кимберлитов, имеет особое значение. Оно позволит повысить эффективность методов прогнозирования кимберлитовых полей с промышленной алмазоносностью и разделить эти поля на типы: 1) мало тел, но высокая доля высокоалмазоносных; 2) много тел, но низкая доля среди них высокоалмазоносных; 3) промежуточный вариант поля в пределах изучаемых перспективных территорий. Известные в пределах Сибирской платформы проявления кимберлитового магматизма с промышленным уровнем алмазоносности и вовлеченные в разработку добывающей промышленностью имеют среднепалеозойский возраст (D_3) и сосредоточены в пяти кимберлитовых полях: Мирнинском, Накынском, Далдынском, Алакит-Мархинском и Верхне-Мунском. Мирнинское и Накынское поля имеют незначительное количество кимберлитовых тел, большинство из которых имеют промышленную алмазоносность: 5 из 7 для Мирнинского и 3 из 3 для Накынского поля. В то же время для Далдынского и Алакит-Мархинского полей, в сумме насчитывающих более 250 кимберлитовых трубок, доля тел с промышленной алмазоносностью не превышает 3 %. Верхне-Мунское поле по количеству кимберлитовых тел и соотношению среди них богатых и бедных алмазами (5 из 28) занимает в этом ряду промежуточное положение. Весьма вероятно, что интенсивность и характер проявлений кимберлитового магматизма связаны с особенностями метасоматических процессов в корневых частях литосферы под конкретными полями [5, 6]. Вариант регионального силикатного метасоматоза перидотитов нижних уровней литосферной мантии, включая зону взаимодействия литосфера – астеносфера, в которой, по-видимому, и проистекают процессы генерации протокимберлитовых расплавов, является предпочтительным, а вариации его интенсивности, вероятно, прямо связаны с масштабами генерации протокимберлитовых расплавов в зоне взаимодействия литосфера – астеносфера и интенсивностью уничтожения алмазов в истощенных перидотитах менее глубинных уровней литосферной мантии [6]. Поиск связей между характером процессов мантийного метасоматоза, масштабом проявлений кимберлитового магматизма и уровнем их алмазоносности может быть успешным на основе детального изучения ксеногенного материала мантийного происхождения.

Анализ результатов проведенного нами изучения состава пироповых гранатов из разновозрастных кимберлитов и терригенных пород Сибирской платформы с использованием Cr-Ni термобарометра [7] показал наличие существенных различий в мощности литосферы различных блоков не только на разное время (среднепалеозойское и мезозойское), но и для одного времени, причем наибольшие различия мощности отдельных блоков литосферы характерны для среднепалеозойского времени. Мощность литосферы под кимберлитами Мало-Ботуобинского и Далдыно-Алакитского районов на время их внедрения составляла 240–260 км. Для северо-восточной части платформы в среднем палеозое мощность литосферы под Чомурдахским полем (Среднеоленекский район) составляла около 180 км, под Толуопкинским и Мерчиндемским полями – 160–180 км. В то же время получены прямые признаки существования на это же время блоков гораздо более мощной литосферы (до 230–240 км) под южным обрамлением Оленёкского поднятия (участки к северу и югу от Кютюнгдинского прогиба), а также под западным и восточным обрамлением Уджинского поднятия [1]. На основании анализа результатов изучения пиропов, обнаруженных вместе с алмазами в промежуточных коллекторах среднепалеозойского возраста (C_1–C_2), признаки мощной (240–250 км) литосферы на время внедрения среднепалеозойских кимберлитов установлены также и для отдельных блоков юго-западной части Сибирской платформы (территория низовьев бассейна р. Тычаны и ряд участков к юго-востоку от нее).

Нами изучены особенности состава представительных коллекций пироповых гранатов, несущие важную информацию о характере метасоматических процессов, происходивших во вмещающих эти гранаты породы, а также ксенолитов перидотитов корневых частей литосферы из кимберлитов полей среднепалеозойского возраста. Поиск связей между мощностью, особенностями состава разных уровней литосферной мантии, характером процессов мантийного метасоматоза, масштабом проявлений кимберлитового магматизма и уровнем их алмазоносности нами проведен на основе детального изучения содержащихся в кимберлитах пиропов мантийного происхождения. Методом электронного микроанализа были изучены более 20 тысяч зерен пиропов из 114 кимберлитовых трубок из 10 разновозрастных полей 5 кимберлитовых районов Сибирской платформы: 1) 10 737 зерен – из 42 трубок трех районов с кимберлитами среднепа-

леозойского возраста: Мало-Ботуобинский – 3270 зерен из 7 трубок; Далдыно-Алакитский – 6726 зерен из 32 трубок; Средне-Оленёкский – 741 зерно из трех трубок; 2) 5341 зерно из 26 трубок 3 полей триасового возраста Анабарского района; 3) 3834 зерна из 26 трубок полей верхнеюрского возраста Нижне-Оленёкского района. Этим же методом были также изучены более 3 000 зерен пиропов из промежуточных коллекторов палеозойского возраста северо-восточной и юго-западной окраин платформы. Актуальность темы проведенных исследований определяется научной и прикладной значимостью выяснения характера причин, контролирующих масштабы и уровень алмазоносности проявлений кимберлитового магматизма на территории Сибирской платформы. Особую значимость эта информация имеет для территорий арктических и субарктических районов Сибирской платформы, где имеются широко развитые россыпные месторождения алмазов, однако их коренные источники до сих пор не установлены. В то же время в этих районах имеются выявленные кимберлитовые поля среднепалеозойского возраста, однако высокоалмазоносные тела в их пределах не обнаружены. Результаты проведенных нами ранее в Лено-Анабарском междуречье геологических исследований, совмещенных со шлиховым опробованием аллювия речной сети и промежуточных коллекторов, прямо показали на наличие в регионе еще не найденных кимберлитовых полей среднепалеозойского возраста, в которых с весьма высокой вероятностью имеются тела высокоалмазоносных кимберлитов [1–4]. Проведение подобных исследований также актуально для южных районов Сибирской платформы, где также имеются перспективы обнаружения новых полей среднепалеозойских кимберлитов с промышленной алмазоносностью.

Обнаружение в промежуточных коллекторах популяций пироповых гранатов из перидотитов мощной (> 230 км) литосферной мантии с признаками минимального силикатного метасоматоза дает основание прогнозировать поля, аналогичные Мирнинскому либо Накынскому. Такими признаками обладает ореол участка Улахан-Курунг-Юрях, расположенный примерно в 70 км северо-западнее Мирнинского поля. Обнаружение в ореолах пиропов из перидотитов такой же мощной литосферы, но с признаками интенсивного силикатного метасоматоза, дает основание прогнозировать поля, аналогичные Далдынскому. Таким вполне может оказаться Хомпу-Майское поле, особенности состава пироповых гранатов из трубок которого указывают на: 1) наличие мощной (240–250 км) литосферы под этим полем на время внедрения кимберлитов; 2) интенсивного силикатного метасоматоза, наложенного на истощенные перидотиты; 3) присутствие в вертикальном разрезе литосферной мантии под этим полем блоков перидотитов, практически не затронутых силикатным метасоматозом.

Оценка мощности литосферы Сибирской платформы на средне- и верхнетриасовое время (150–170 км) произведена на основе изучения пиропов из кимберлитов Лучакан-Куранахского и Харамайского полей (юго-восточное и юго-западное обрамление Анабарского щита соответственно).

Вариации составов пиропов из разновозрастных кимберлитов показывают, что минимальные интенсивности силикатного метасоматоза истощенных перидотитов литосферной мантии фиксируются в блоках литосферы под среднепалеозойскими Мирнинским и Накынским полями, а также триасовым Харамайским полем. Оценка вариаций мощности литосферы и особенностей состава литосферной мантии под кимберлитовыми полями верхнеюрского возраста проведена нами на основании изучения пиропов Куойкского и Беенчиминского полей. Максимальная мощность литосферы здесь не превышала 150 км (блок под трубкой Дьянга, Беенчиминское поле), на это время под изученными полями фиксируются максимальные интенсивности силикатного метасоматоза истощенных перидотитов (до 70 % пиропов из рефертилизованных перидотитов в трубках Токур, Муза, Ирина). Но в этой же части СП на верхнеюрское время присутствуют блоки мантии сравнительно слабо затронутых силикатным метасоматозом (под трубками Дьянга, Второгодница).

Основные перспективы коренной алмазоносности Сибирской платформы (СП), включая ее арктические территории, нами связываются с проявлениями кимберлитового магматизма домезозойского возраста [1–4]. Кимберлиты протерозойского возраста в пределах СП пока не выявлены, хотя имеются определенные предпосылки их присутствия по крайней мере на ее северо-восточной части [3, 4]. В полях домезозойского возраста арктической части СП – Чомурдахском, Западно-Укукитском, Восточно-Укукитском, Мерчимденском и Огонер-Юряхском –

кимберлиты с промышленными уровнями алмазоносности пока не установлены, несмотря на обилие выявленных тел. Тем не менее для ряда площадей северо-востока СП выявлены надежные признаки присутствия еще не найденных высокоалмазоносных кимберлитов палеозойского возраста. К таким площадям относятся: 1) правобережная часть р. Анабар (бассейны рек Маят, Биллях, Уджа); 2) южное обрамление Оленёкского поднятия (верховья бассейна р. Молодо, бассейны правых притоков р. Кютюнгдэ). Помимо упомянутых на северо-востоке СП имеются и другие перспективные участки. На этой территории в разновозрастных терригенных породах обнаружены значительные количества алмазов кимберлитового типа и пиропов, особенности состава которых указывают на большую мощность и низкие степени метасоматической проработки истощенных перидотитов литосферной мантии на глубинах, отвечающих области стабильности алмазов, под выносившими их кимберлитами. В целом территория имеет хорошие перспективы выявления новых полей кимберлитов палеозойского возраста, включающих тела с промышленной алмазоносностью.

Оценивая в целом перспективы промышленной алмазоносности России, можно с уверенностью утверждать, что в большей мере они относятся к северо-востоку Сибирской платформы. На этой территории надежно обоснованы перспективы коренной алмазоносности целого ряда площадей, на которых бесспорно имеются новые поля среднепалеозойских кимберлитов с промышленными содержаниями алмазов. ИГМ СО РАН (до 1991 г. – ИГиГ АН СССР), начиная с конца 1970-х годов, систематически проводил на этой территории тематические исследования, результаты которых давали нам основания высоко оценить перспективы ее коренной алмазоносности. В то же время мы существенно скорректировали подход к поискам, поскольку это площадь полихронного кимберлитового магматизма. На ней имеются преобладающие юрско-меловые кимберлиты (уже выявлены многие десятки тел), заведомо не алмазоносные, и среднепалеозойские, которые являются коренными источниками высококачественных алмазов россыпей р. Молодо и должны быть объектом поиска. Эта площадь важна в том плане, что позволит определить характер и количество коренных источников, обеспечивших формирование богатейших россыпей Верхнего и Среднего Молодо с высококачественными алмазами. Одной только этой площадью не исчерпываются перспективы данного района. Среднепалеозойские кимберлиты прогнозируются нами также в бассейне р. Кютюнгдэ, где в нижнекарбоновых гравелитах нами обнаружена россыпь алмазов достоверно из среднепалеозойских кимберлитов. Весьма перспективной является также площадь Анабаро-Уджинского междуречья, где имеются богатейшие аллювиальные россыпи и минералогическая обстановка указывает на наличие на этой площади высокоалмазоносных кимберлитов среднепалеозойского возраста. Район привлекателен относительно простой поисковой обстановкой, и невнимание к данному району в прежнее время было вызвано ошибочной датировкой прогнозируемых кимберлитов, которые относили к непродуктивным юрско-меловым.

Список литературы:

1. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Вавилов М. А. [и др.]. Перспективы коренной алмазоносности правобережья реки Анабар (северо-восток Сибирской платформы) // Отечественная геология. – 2019. – № 6. – С. 3–16.
2. Добрецов Н. Л., Похиленко Н. П. Минеральные ресурсы Российской Арктики и проблемы их освоения в современных условиях // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 126–141.
3. Похиленко Н. П., Афанасьев В. П., Агашев А. М. [и др.]. Перспективы выявления новых коренных месторождений алмазов на северной части Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. – Якутск : СВФУ, 2015. – С. 376–379.
4. Afanasiev V. P., Pokhilenko N. P. Approaches to the Diamond Potential of the Siberian Craton: A New Paradigm // Ore Geology Reviews. – 2022. – V. 147. – P. 1–12. – https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.
5. Pokhilenko N. P., Agashev A. M., Litasov K. D., Pokhilenko L. N. Carbonatite metasomatism of peridotite lithospheric mantle: implications for diamond formation and carbonatite-kimberlite magmatism // Russian Geology and Geophysics. – 2015. – V. 56, I. 1–2. – P. 280–295.

6. Pokhilenko N., Sobolev N., Kuligin S., Shimizu N. 1999. Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle, Proc. of the 7th Intern. Kimberlite Conf. – Cape Town, 1999. – P. 689–698.
7. Ryan C. G., Griffin W. L., Pearson N. J. Garnet geotherms: pressure-temperature data from Cr-pyrope garnet xenocrysts in volcanic rocks // Journal of Geophysical Research. – 1996. – V. 101. – P. 5611–5625.

Поцелуев А. А.[1, 2], Ананьев Ю. С.[2], Житков В. Г.[2, 3]
[1] ООО «КосмоГеопро», г. Томск; [2] НИТПУ, г. Томск; [3] НИТГУ, г. Томск

СТРУКТУРЫ БЕЗЫМЯНСКОГО РУДНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО УЗЛА (АРХИПЕЛАГ НОВАЯ ЗЕМЛЯ) В МАТЕРИАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

Изучены структуры Безымянского рудно-полиметаллического узла по космоматериалам Landsat-7 и Landsat-8 и ряда участков развития Pb-Zn оруденения по материалам WorldView-1, -2, GeoEye-1 и RapidEye. Установлены широкое развитие линейных разрывных, кольцевых структур, пликативных дислокаций, элементов слоистости, блоковое строение рудного узла и рудоносных участков. Выделены участки развития площадных и локальных метасоматических образований. Сформулирован комплекс критериев оруденения.

Ключевые слова: Безымянский рудно-полиметаллический узел, остров Южный, архипелаг Новая Земля, материалы космических съемок, геологические структуры, рудоконтролирующие факторы.

Безымянский рудный узел, в пределах которого выявлено одно из крупнейших в России Павловское свинцово-цинковое месторождение, расположен на острове Южный архипелага Новая Земля. Изучаемая площадь характеризуется расчлененным рельефом, многоэтажным геологическим строением, удовлетворительной обнаженностью, широким развитием ледников и, соответственно, флювиогляциальных и аллювиальных отложений и вечной мерзлоты. Именно высокая обводненность и вечная мерзлота наложили негативный отпечаток на отражательные характеристики горных пород площади, что потребовало применения нестандартных технологий обработки материалов космических съемок для получения контрастных препаратов [1, 4, 5].

Исследование всей площади рудного узла выполнено по материалам космических съемок среднего пространственного разрешения Landsat-7 и Landsat-8 (рис. 1) с более детальным из-

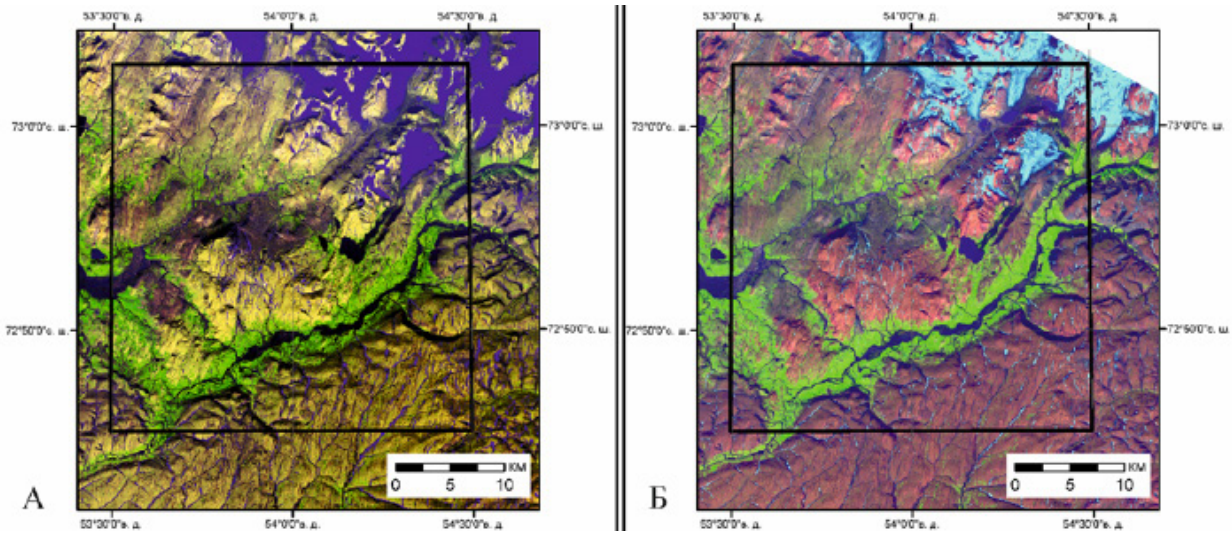


Рис. 1. Синтезированное спектрозональное изображение Безымянского рудного узла:
А – Landsat-7, Б – Landsat-8

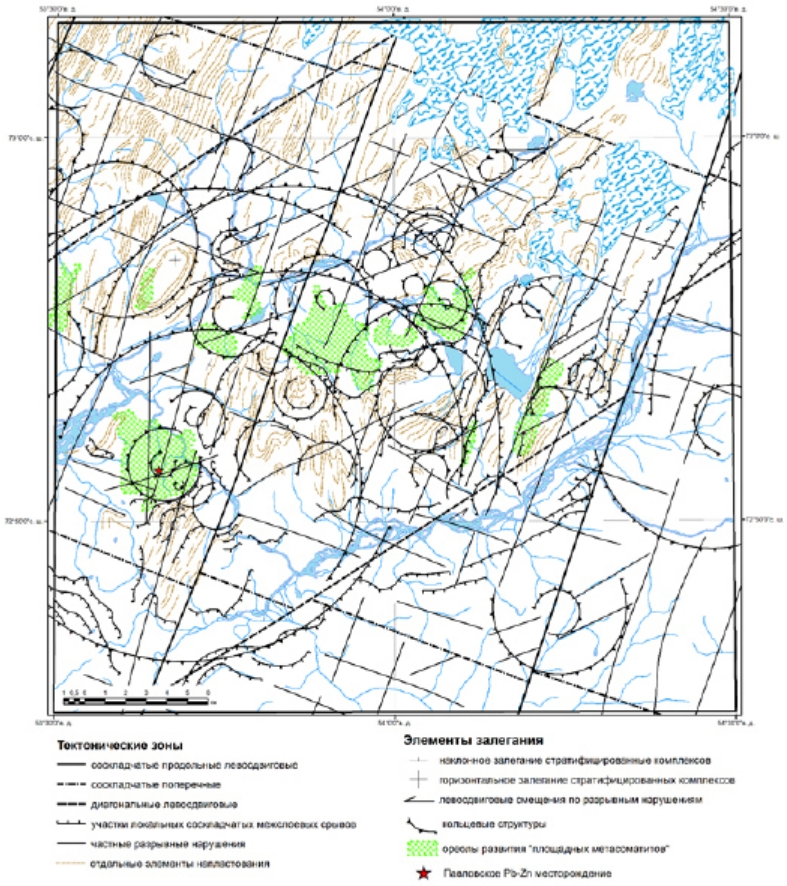


Рис. 2. Космоструктурная схема Безымянского рудно-полиметаллического узла

учением отдельных участков по данным съемок высокого пространственного разрешения WorldView-1, -2, GeoEye-1 и RapidEye.

На площади Безымянского рудного узла выделяются линейные, кольцевые и площадные космогеологические структуры (рис. 2). В качестве линейных структур выделены разрывные нарушения и их зоны, а также отдельные элементы слоистости стратифицированных комплексов.

Главные разрывные нарушения площади – структуры северо-северо-восточного, северо-восточного и северо-западного простирания. Они являются определяющими (первого порядка) для площади Безымянского рудного узла.

Представляется, что все эти разрывные нарушения относятся к одному структурному парагенезису и были заложены в момент формирования складчатых структур площади. Среди них выделяются:

1) соскладчатые продольные, с признаками левосдвиговых смещений. Они унаследовали направление осевого кливажа и представляли собой структуры скола в момент формирования;

2) соскладчатые поперечные, образовавшиеся в момент формирования складчатости как компенсационные структуры, ортогональные направлению общего сжатия. По своей морфологии они соответствуют трещинам отрыва;

3) диагональные левосдвиговые структуры возникли в момент соответствующих подвижек по продольным соскладчатым структурам. Они представляют собой трещины скола.

К этому складчатому структурному парагенезису следует также отнести локальные соскладчатые межслоевые срывы, которые достаточно широко проявлены на площади Безымянского рудного узла. Такие межслоевые срывы формировались в участках сопряжения компетентных и некомпетентных толщ, и в момент рудообразования могли играть роль специфических структурных экранов. На площади рудного узла устанавливается пространственная связь Павловского месторождения с одним из участков проявления этих срывов.

Кроме вышеописанных разрывных нарушений первого порядка, на площади рудного узла развиты структуры более высоких порядков. Они имеют преимущественно близкие ориенти-

ровки и кинематику. При этом следует отметить наличие единичных структур более высокого порядка субширотного и субмеридионального простирания.

Выявленные элементы слоистости стратифицированных толщ хорошо отражают общую пликативную структуру Безымянского рудного узла. Отмечаются три зоны размещения складчатых структур:

1) северо-западная, в пределах которой развиты складки первого порядка. Складки линейные, конгруэнтные (синклинали и антиклинали развиты в равной мере), ширина складок достигает 4 км. Простирание осей северо-восточное. Крылья сложены компетентными породами. По механизму образования отвечают изгибу с концентрическим скольжением при общем сжатии;

2) центральная, в пределах которой развиты складки более высокого порядка. Складки острые, с погружающимися осями, часто изоклинальные, конгруэнтные, ширина их не превышает 1,2 км. Простирание осей северо-восточное, согласное со складками первого порядка северо-западной зоны, и субмеридиональное. По механизму формирования отвечают изгибу с пластическим течением;

3) юго-восточная, в пределах которой на космических снимках среднего пространственного разрешения складчатых деформаций не установлено, однако при изучении участка одного из рудопроявлений установлено наличие пликативных дислокаций высокого (вероятно, третьего) порядка. Здесь, в алевролитах захаровской свиты, проявлена изоклинальная складчатость. Ширина складок не превышает 150 м, преобладает субмеридиональное простирание осей, хотя встречается и северо-северо-западное.

В пределах Безымянского рудного узла выявлено и закартировано более 60 кольцевых и дуговых структур. По величине радиуса все они отнесены к малым структурам. Классифицировать выделенные структуры по генезису не представляется возможным в связи с отсутствием достоверного геологического материала. Однако, исходя из опыта работ [1, 3], предполагается, что они имеют магматогенно-гидротермальный генезис.

В некоторых случаях кольцевые и дуговые структуры образуют телескопированные (очаговые) системы. Такие системы, как правило, образованы сочетанием структур различного размера и имеют сложное длительное происхождение. На изученной площади эти системы кольцевых структур обнаруживаются только в центральной части площади, где они пространственно ассоциируют с зонами диагональных левосдвиговых нарушений.

Общеизвестным фактом является установленная парагенетическая связь месторождений золота, полиметаллов, вольфрама, олова и других полезных ископаемых с подобными очаговыми структурами [2, 3, 6]. На площади Безымянского рудного узла такая связь с кольцевыми структурами однозначно фиксируется для Павловского месторождения.

В качестве площадных космогеологических структур выделены ореолы развития «площадных метасоматитов» (см. рис. 2). Основанием для их выделения послужили специфические спектральные характеристики пород, проявленные в среднемасштабных космических снимках Landsat-7 и Landsat-8. В других рудных районах [1, 5] такие особенности свойственны участкам проявления хлорит-эпидотового площадного метасоматизма. Выделенные тела «площадных метасоматитов» пространственно располагаются в пределах зоны диагональных левосдвиговых нарушений. Необходимо отметить, что Павловское Pb-Zn месторождение располагается в ореоле развития этих «метасоматитов».

Выполнение детальных исследований на отдельных рудоносных участках позволило выявить ряд рудоконтролирующих факторов известного в рудном узле свинцово-цинкового оруденения. Основными из них являются:

- линейные структуры, которые представляют собой одиночные разрывные нарушения, зоны разрывных нарушений, локальные зоны трещиноватости, участки интенсивного кливажирования, локальные участки послойных срывов;
- кольцевые структуры, отражающие, вероятно, надынтрузивные участки разуплотнения пород, с одной стороны, и пути возможной миграции магматогенно-гидротермальных рудоносных флюидов, с другой;

• ореолы распространения площадных метасоматитов, положение которых контролируется зонами разрывных нарушений различного простирания, осями преимущественно антиформных структур;

• блоковое строение изученных площадей с неравномерным развитием пликативной и дизъюнктивной тектоники.

Список литературы:

1. Ананьев Ю. С. Золото-концентрирующие системы южного складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты (на примере Западной Калбы) : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых»: дисс. на соискание учён. степ. д-ра. геол.-минерал. наук / Юрий Сергеевич Ананьев. – Томск, 2018. – 509 с.
2. Аэрокосмические методы геологических исследований / под. ред. А. В. Перцова. – СПб. : Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. – 316 с.
3. Житков В. Г., Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С. Структурно-вещественные модели рудных районов Алтая по материалам современных космических съемок / XI Международная научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» : сборник. тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 71 – 73.
4. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г. Дистанционные методы геологических исследований, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых: учебное пособие для вузов / под ред. докт. геол.-минерал. наук, проф. А. А. Поцелуева. – 3-е изд. – Томск, 2019. – 192 с.
5. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г., Назаров В. Н., Кузнецов А. С. Дистанционные методы геологических исследований, прогнозирования и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая). – 2-е изд., доп. и испр. – Томск : STT, 2010. – 228 с.
6. Томсон И. Н., Полякова О. П. Особенности локализации, строения и состава крупных и уникальных месторождений цветных и благородных металлов // Отечественная геология. – 1994. – № 11–12. – С. 24–30.

Прокопьев И. Р.[1], Дорошкевич А. Г.[1], Старикова А. Е.[1], Проскурнин В. Ф.[2], Кошкарев Д. А.[3], Серов И. В.[3]

[1] ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; [2] ФГУП ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург; [3] АК «АЛРОСА», п. Мирный, Республика Саха (Якутия)

ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ ЩЕЛОЧНО-КАРБОНАТИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ СИБИРИ И АРКТИКИ (ЧАДОБЕЦ, ХУШМА, ТАЙМЫР)

Геология района изучена в рамках госзадания НИР ИГМ СО РАН (FWZN-2022-0024). Петрологические исследования выполнены за счет средств проекта РНФ 19-77-10004-П (https://rscf.ru/project/22-77-41005/).

Щелочно-карбонатитовые комплексы на сегодняшний день являются главным источником крупнейших в мире месторождений ряда критических и стратегически важных металлов. Исследуемые карбонатитовые комплексы Сибирского кратона – чадобецкий и хушминский (Красноярский край), а также озеротаймырский щелочно-карбонатитовый комплекс на Таймыре образовались преимущественно на рубеже перми–триаса, в период активной деятельности Сибирского суперплюма. Потенциальная рудоносность интрузий чадобецкого комплекса определяется перспективами доразведки и последующей отработки комплексных редкометалльных руд Чуктуконского месторождения, переоценки бокситовых руд, а также возможном выявлении потенциально алмазоносных тел. На территории Таймыра установлены ареалы развития карбонатитовых тел (озеротаймырский комплекс), сопровождающиеся золотосодержа-

щим медно-полиметаллически-сульфидным и флюорит-барит-редкоземельным оруденением. По текстурно-структурным характеристикам и особенностям минерального состава брекчии флюорит-барит-бастнезитовых карбонатитов имеют сходство с мезозойскими карбонатитовыми брекчиями Карасугского комплексного барит-флюорит-редкоземельно-железорудного месторождения (Центральная Тува) и редкоземельного карбонатитового проявления Южное (Юго-Западное Забайкалье), что однозначно повышает потенциал рудных объектов Арктики.

Ключевые слова: редкие земли, редкие металлы, золото, полиметаллы, медь, флюорит, барит, алмазы.

Щелочно-карбонатитовые комплексы на сегодняшний день являются главным источником крупнейших в мире месторождений ряда критических и стратегически важных элементов, таких как редкие земли, ниобий и цирконий. Порядка 80 % месторождений редких земель связано с карбонатитами и корами выветривания. Кроме того, карбонатитовые комплексы промышленно-рудоносны на апатит (P), глинозем (Al), флюорит (F), барит (Ba) и стронций (Sr), содержат повышенные концентрации черных (Fe, Mn), благородных (Au, Ag, Pt) и радиоактивных (Th, U) металлов, а также концентрируют промышленные запасы медных (Cu) и полиметаллических (Pb-Zn) руд. Широкий спектр полезных компонентов сегодня остро востребован в машино- и кораблестроении, авиации, оборонной промышленности, оптике, металлургии и химической промышленности, медицине, сельском хозяйстве и многих других областях. Таким образом, современные петрологические исследования щелочно-карбонатитовых комплексов России позволяют быть конкурентоспособными не только в фундаментально-научном плане на международной арене, но и напрямую влияют на развитие геологоразведочной и технологической отраслей производства.

Исследуемые щелочно-карбонатитовые комплексы Сибирского кратона – чадобецкий и хушминский, а также озеротаймырский умеренно-щелочно-карбонатитовый комплекс на Таймыре образовались преимущественно на рубеже перми – триаса, в период активной деятельности Сибирского суперплюма, сформировавшего крупную изверженную провинцию в юго-восточной Сибири и Арктическом регионе. С деятельностью Сибирского суперплюма связано образование обширных по выходу полей базальтовых траппов, щелочно-карбонатитовых комплексов и меймечитов Маймеча-Котуйской провинции, лампрофиров Алтая и Норильска, а также триасовых кимберлитов Анабарского щита. Исследуемые щелочно-карбонатитовые комплексы чадобецкий, хушминский и мооровский образовались и выходят на поверхность соответственно в пределах южной и крайней северной границ деятельности Сибирского плюма, имеют разную металлогеническую специфику, а также содержат промышленные по запасам рудные объекты и разведанные месторождения.

Чадобецкий щелочно-ультраосновной карбонатитовый комплекс (Богучанский район, Красноярский край) расположен в пределах купольного поднятия 35 × 45 км и локализован в пределах двух выступов (массивов щелочных пород) – Териновского на севере и Чуктуконского на юге. Чадобецкое поднятие находится на пересечении двух неопротерозойских грабенов, которые расположены в пределах Ангаро-Котуйской крупномасштабной рифтогенной системы. Комплекс представлен несколькими фазами внедрения щелочных силикатно-карбонатных пород. В первую фазу образуются щелочно-ультраосновные лампрофиры семейства айлликитов-мела айлликитов, содержащие в своем составе порфировые вкрапленники оливина и флогопита, погруженные в матрицу флогопит-карбонатного (кальцит-доломитового) состава с зернами хромистой шпинели, отороченной титаномагнетитом, вкрапленниками ильменита, перовскита, фторапатита и редких сульфидов. Вторая фаза внедрения чадобецкого комплекса представлена редкометалльными кальцитовыми карбонатитами, содержащими рудные фазы: фторкальциопирохлор, риппит, Nb-рутил, анкилит-(Ce), циркон, а также тайниолит, фторапатит, стронцианит и редкие сульфиды. Кора выветривания по карбонатитам варьирует от 10–20 м по периферии и до первых сотен метров к центру, в пределах которой сформировано крупное разведанное месторождение Чуктукон. Третья фаза внедрения чадобецкого комплекса представлена трубками взрыва щелочно-ультраосновных («кимберлитоподобных») лампрофиров – дамтьернитов, содержащих вкрапленники оливина, флогопита и ксенолитов ранних щелоч-

ных фаз и карбонатитов, погруженных в матрицу флогопит-доломитового состава, с микрозернами титаномагнетита, перовскита, фторапатита, ильменита и хромсодержащей шпинели.

В пределах той же Ангаро-Котуйской рифтогенной структуры, в районе пос. Куюмба в лево- и правобережной частях р. Подкаменная Тунгуска в бассейне рек Куюмба, Рассолка и Нижний Баладакит отмечаются выходы пород интрузий хушминского щелочно-ультраосновного карбонатитового комплекса, приуроченных к зоне пересечения Куюмбинского и Подкаменно-Тунгусского региональных разломов. Карбонатитовые тела впервые были выделены и изучены в верхнем течении бассейна р. Хушма на южном окончании Хушминского инъективного поднятия (1987 г.), вместе с тем, комплекс остается крайне слабоизученным петрологически и в плане рудоносности. В зоне Кординского разлома в левом борту р. Таимба установлены выходы трубки Белая Горка, сложенной скарнированными щелочно-ультраосновными породами. Минералогическим анализом ранее в составе трубки установлены незначительные переменные содержания ильменита, хромшпинелида, апатита, перовскита, редко пикроильменита и альмандина.

Современные изотопно-геохронологические исследования (Ar-Ar, слюда) пород Белой Горки подтвердили их позднепалеозойский возраст 259,7 ± 3,1 млн лет. В районе выхода хушминского комплекса нами установлены тела долеритов, скарнов и апатит-карбонатных пород. Предварительные минералогические исследования показали, что интрузии сложены темно-бурыми оливин-содержащими долеритами. Состав метасоматитов представлен пироксеном (Dy-Hed), гранатом (шорломит), апатитом и перовскитом. В качестве рудных минералов в скарнах установлены: магнетит, пирит, титанит, кобальтин, никелин и сульфиды с Pt-Pd-Ni. Апатит-карбонатные тела содержат фторапатит ($LREE_2O_3$ – первые мас. %) и кальцит, встречаются микрозерна фторкарбонатов LREE. Изучение близковозрастных щелочно-карбонатитовых комплексов чадобецкого и хушминского, на наш взгляд, сегодня является перспективным в плане выявления новых потенциально рудоносных объектов на комплексное редкометалльное сырье, при этом установленные признаки наличия хромшпинелидов в составе щелочно-ультраосновных пород могут косвенно указывать на возможность образования родительских магм в зоне стабильности алмаза, но для этого требуются дополнительные исследования. В случае положительных результатов данные породы комплексов можно будет рассматривать как потенциально алмазоносные.

Потенциальная рудоносность интрузий чадобецкого комплекса определяется перспективами доразведки комплексных редкометалльных руд Чуктуконского месторождения, переоценки бокситовых руд, а также выявления потенциально алмазоносных тел. В связи с этимм рекомендуется доразведка флангов и последующая отработка Чуктуконского месторождения, проведение поисково-оценочных работ на бокситы (преимущественно Териновский выступ, участок Центральный), а также возможна своевременная постановка прогнозно-поисковых работ на алмазы. Согласно фондовому отчету за 2016 г. перспективы наращивания запасов, а также разработка технологий извлечения рудного концентрата позволяют рекомендовать Чуктуконское месторождение к рентабельной эксплуатации комплексных редкометалльных руд (Махнева Н. А., Махнева Г. Г. и др. [1]).

При проведении мелкомасштабных геолого-съемочных и ревизионно-поисковых работ на территории Восточного Таймыра в 2006–2007 гг. и Центрального Таймыра в 2010 г. сотрудниками ВСЕГЕИ установлены ареалы развития карбонатитовых тел (озеротаймырский комплекс), сопровождающиеся золотосодержащим медно-полиметаллически-сульфидным и флюорит-барит-редкоземельным оруденением. Карбонатиты представлены флюидно-эксплозивными карбонатными брекчиями, интрузивными, приповерхностными (лавообразными) и рудоносными жильно-прожилковыми телами (из пояснительной записки к геологической карте листа S-46 Таймырско-Североземельская серии, 2016 г.). Возраст карбонатитов Таймыра составляет 247–238 млн лет.

В результате детальных прогнозно-поисковых работ в пределах Подкаменно-Кульдимского потенциального полиметаллического рудного района (В. Таймыр) установлены рудопро-

[1] «Поисковые и оценочные работы на Чуктуконском рудном поле (Красноярский край)» Лицензия КРР № 02629 ТП от 30.10. 2014 г. Государственный контракт от 09.09. 2014 г. № 198 с ДС №№ 1-6.

явления с оцененными прогнозными ресурсами по кат. P_2 [1]: полиметаллическое Кошка (Zn + Pb – 41 тыс. т, Cd – 425 т при среднем содержании Zn + Pb – 4,33 %, Cd – 402 г/т) и баритовое Нагорное (ресурсы 5,2 млн т при среднем содержании $BaSO_4$ – 56,8 %). Содержание в сульфидизированных карбонатитах составляет (в г/т): Au 0,1–0,4, Ag – 40, Pt – 0,04 и Pd – 0,024. В пределах Центрального Таймыра установлены карбонатиты отчетливо флюидно-эксплозивного генезиса, представленные брекчиями кальцитовых карбонатитов с флюоритом, бастнезитом и баритом. Содержание флюорита в брекчии в среднем составляет 15–20 % объема, но может достигать 35–40 %; среднее содержание гематита 5–15 %, барит местами содержится в количестве до 30–40 %, бастнезит – 5–10 %. По текстурно-структурным характеристикам и особенностям минерального состава брекчии карбонатитов имеют сходство с мезозойскими карбонатитовыми брекчиями Карасугского комплексного барит-флюорит-редкоземельно-железорудного месторождения (Центральная Тува) и карбонатитового редкоземельного проявления Южное (Юго-Западное Забайкалье).

Список литературы:

1. Проскурнин В. Ф., Гавриш А. В., Салтанов В. А., Громов П. А., Петрушков Б. С., Алексеев Д. А., Шманяк А. В. Поиски свинцово-цинковых руд нетрадиционного типа на Восточном Таймыре в связи с карбонатитами-кульдимитами (комплексная модель барит-полиметаллического оруденения для целей прогноза и поисков) // Научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы : сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2015. – С. 78–79.

Прокопьев И. Р.[1], Изох А. Э.[1], Наумов Е. А.[2]
[1] ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; [2] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПЕТРОГЕНЕЗИС И ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА РУД МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ МАКСУТ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

Медно-никелевое месторождение Южный Максут расположено в Восточном Казахстане и входит в ареал развития раннепермского медно-никелевого оруденения, связанного с Таримской крупной изверженной провинцией. Главный объем Южно-Максутского массива сложен оливиновыми долеритами первой фазы. Среди оливиновых долеритов располагается вторая фаза внедрения – меланократовые оливиновые монцогаббронориты, содержащие медно-никелевое оруденение. Минералогические исследования показали, что базитовая магма второй фазы уже до внедрения содержала капли сульфидной жидкости. В глубинной промежуточной камере происходила дифференциация первичной базитовой магмы, контаминация этого расплава серой, что способствовало сульфидно-силикатной ликвации. На месторождении Южный Максут выделяются три типа рудной минерализации: магматические Cu-Ni-(ЭПГ) руды, постмагматическая гидротермальная сульфидная минерализация и Co-As минерализация в скарнах. Полученные минералого-геохимические данные показывают перспективу выявления комплексного магматического и гидротермального оруденения, в том числе и на контакте массива. В этом аспекте повышаются перспективы потенциальной рудоносности интрузий всего Максутского ареала в Восточном Казахстане.

Ключевые слова: медь, никель, кобальт, ЭПГ.

Медно-никелевое месторождение Южный Максут находится в Восточном Казахстане, в 80 км от г. Семипалатинска, и входит в ареал развития раннепермского медно-никелевого оруденения, связанного с Таримской крупной изверженной провинцией. В Синьцзян-Уйгурском автономном округе КНР в аналогичных по возрасту и составу базитовых интрузиях обнаружено большое количество Cu-Ni-ЭПГ рудных объектов и месторождений: Калатонг, Хонглинг, Хуангшань, Джавхлант, Побей и т. д. В геологическом плане интрузия Южный Максут расположена в северо-западной части Зайсан-Гобийского рифтогенного пояса, в пределах Жарма-Са-

урской структурно-формационной зоны Максутского ареала пермских ультрабазит-базитовых интрузий в области герцинид Восточного Казахстана. В составе Максутского ареала выделяют Южно-Максутский и Северо-Максутский интрузивы. По геофизическим данным предполагается также невскрытое тело в западной части ареала. Наиболее изученным является Южно-Максутский интрузив, с которым связано Cu-Ni оруденение, в связи с чем он был детально разбурен и исследован в середине 1970-х гг.

Главный объем Южно-Максутского массива сложен оливиновыми долеритами первой фазы, в которых отмечается дифференциация за счет отсадки раннего оливина. Пикриты, описанные П. В. Ермоловым в западной части интрузива, являются кумулятами раннего оливина в придонной, наиболее глубинной, части; там же бурением зафиксирован подводящий канал первой фазы. В оливиновых долеритах не отмечено значительной по масштабу сульфидной вкрапленности. Среди оливиновых долеритов располагается отдельное субсогласное тело (вторая фаза) меланократовых оливиновых монцогаббронноритов. В верхней контактовой зоне этого тела имеются такситовые габброиды с каплями сульфидов, а в его нижней части меланократовые оливиновые монцогаббронориты с обильной сульфидной вкрапленностью. По скважинам зафиксирован подводящий канал для этой фазы, в котором наблюдаются зоны закалки, содержащие сульфидную магматическую вкрапленность.

Медно-никелевое оруденение в массиве Южный Максут обнаружено в 1973 г. в результате работ, выполнявшихся В. А. Денисенко с сотрудниками. В 1974–1976 гг. здесь проводились поисковые и поисково-оценочные работы, при которых оруденение было оконтурено и прослежено на глубину до 300 м. На сегодняшний день на месторождении Южный Максут выделяются три типа рудной минерализации: магматические Cu-Ni-(ЭПГ) руды, постмагматическая гидротермальная сульфидная минерализация и Co-As минерализация в скарнах на контакте массива. Рудные тела на месторождении Южный Максут имеют вкрапленную, прожилково-вкрапленную, реже массивную текстуру. Основными рудными минералами на месторождении являются халькопирит, пирротин и пентландит. Во вкрапленных рудах содержание зерен сульфидов варьирует в диапазоне 30–40 %, в прожилково-вкрапленных рудах количество сульфидов колеблется от нескольких до 45 %, сплошные руды содержат 80–95 % сульфидов. Среднее содержание Cu в рудных телах варьирует от 0,3 до 0,5 г/т, Ni – 0,1–0,4 г/т и Co – 0,0*n* г/т. Согласно проведенным нами химическим анализам содержание золота в породах и рудах месторождения Южный Максут варьирует от 0,01 до 0,5 г/т, содержание серебра составляет 0,1–13 г/т, содержание Pt в образцах низкое – 0,0*n* г/т. Среднее содержание Pd в исследуемых образцах составляет 0,0*n* г/т, повышенные содержания до 1 и 4,6 г/т характерны для Cu-Ni рудной минерализации в меланократовых монцогаббронноритах.

Изучение рудных минералов показало, что на ранних стадиях из силикатного расплава кристаллизовались редкие вкрапленные зерна Ti-магнетита. Избыток титана в Ti-магнетите выделяется в виде пластинок ильменита. Продукты распада располагаются параллельно отдельности титаномагнетита. Зерна ильменита образуют также редкие отдельные зерна-вкрапленники во вмещающей породе, пластинчатые выделения, округлые зерна, капли, весьма тонко сросшиеся в виде «графических» агрегатов, которые образовались за счет распада ульвошпинели. В пирротине магматических руд наблюдаются «пламеневидные» выделения пентландита, представляющие продукт распада твердого раствора. Для халькопирита характерно образование ланцетовидных двойников превращения (трансформационных), образовавшихся при переходе кубической модификации в тетрагональную и отчетливо различимых в скрещенных николях. Магматические руды в основном сложены пентландит-пирротин-халькопиритовым агрегатом, образующим прожилки и каплевидные выделения, зональные агрегаты во вмещающей породе.

В гидротермальную стадию на месторождении образуются редкие идиоморфные зерна магнетита с микровкрапленниками халькопирита. Пирит образует вкрапленные зерна, кубические кристаллы, прожилки и скелетные кристаллы во вмещающей породе. Халькопирит с пирротином образуют микрозернистые агрегаты во вмещающей породе: прожилки и вкрапленники неправильной формы. Среди рудных минералов гидротермальной стадии распространены структуры распада и замещения. Примером может послужить замещение пирита пирротином, что указывает на уменьшение концентрации серы в ходе процесса минералообразования. В гипергенных условиях происходит обратный процесс: пирротин переходит в тонкозернистую

смесь пирита и марказита с образованием небольшого количества магнетита. На границах зерен пирротин замещается виоларитом. В некоторых случаях виоларит замещает по краям зерна Ni-пирита. По пентландиту редко развиваются игольчатые зерна миллерита.

Галенит и сфалерит образуют отдельные микрозерна и микропрожилки во вмещающей породе, сфалерит также наблюдается в виде мелких включений в халькопирите как продукт распада твердого раствора. Кроме сульфидов на месторождении установлены теллуриды Pb и Ag – алтаит и гессит. Зерна теллуридов имеют изометрическую форму, чаще всего образуются в виде вкрапленников в халькопирите или пирротине и кристаллизуются на поздних стадиях гидротермального процесса. Детальные минеральные исследования позволили выявить наличие Pd-содержащих минеральных фаз: фрудита ($PdBi_2$) и майченерита (PdBiTe) в медно-никелевых рудах месторождения Южный Максут. Минералы образуют отдельные зерна, сростки неправильной формы, размеры которых не превышают 20 мкм.

Южно-Максутский интрузивный комплекс прорывает и метаморфизует вмещающие алевролито-песчаниковые породы (C_1s) и интрузивные тела саурского комплекса (C_1). Вмещающие породы ороговикованы и скарнированы. Преобладают кварц-биотит-плагиоклазовые, кварц-амфибол-плагиоклазовые и биотит-плагиоклазовые метасоматиты. Мощность зоны метасоматоза не превышает 120 м. Скарновая минерализация представлена карбонатом, гранатом, кварцем, клинопироксеном, эпидотом и сфеном. Присутствует актинолит, роговая обманка, хлорит, цоизит, тальк, серпентин. Постскарновая наложенная гидротермальная Co-As минерализация представлена сульфоарсенидами Co, Ni и Fe, сульфидами Pb, Cu, Fe и Zn, небольшим количеством теллуридов. Рудные минералы образуют вкрапленные агрегаты неправильной формы, микропрожилки с кварцем и хлоритом. Содержание рудных минералов в скарнах в среднем составляет 5–10 %. Основные рудные минералы представлены Ni-кобальтином. халькопиритом и пирротином. Пирит, галенит, сфалерит и алтаит образуют отдельные вкрапленные микрозерна, агрегаты и микропрожилки среди вмещающей породы и основной рудной минерализации.

Морфологические соотношения сульфидов и вкрапленников оливина и плагиоклаза в интрузивных породах свидетельствуют, что базитовая магма второй фазы уже до внедрения содержала капли сульфидной жидкости. Таким образом, отделение сульфидной жидкости от базитового расплава происходило, по всей вероятности, до начала кристаллизации оливиновых монцогаббронноритов, что привело к формированию сплошных сульфидных руд. В глубинной промежуточной камере происходила дифференциация первичной базитовой магмы, контаминация этого расплава серой, что способствовало сульфидно-силикатной ликвации. Детальные минералогические исследования рудной минерализации показывают перспективу выявления комплексного Cu-Ni-Co-(ЭПГ) магматического и гидротермального оруденения, в том числе и на контакте изучаемого массива. В этом аспекте по-иному необходимо рассматривать перспективы потенциальной рудоносности интрузий Максутского ареала в контексте аналогичных рудных объектов северо-западного Китая.

Проскурнин В. Ф.[1], Пальянова Г. А.[2], Багаева А. А.[1], Боровиков А. А.[2], Петров О. В.[1], Бортников Н. С.[3]

[1] ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург; [2] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск;
[3] ИГЕМ РАН, г. Москва

ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТАЙМЫРО-СЕВЕРОЗЕМЕЛЬСКОГО (КАРСКОГО) ОРОГЕНА

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Роснедр от 14.01.2022 г. № 049-00018-22-0. и в рамках гранта Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018.

Приведена геолого-генетическая типизация золоторудных орогенных образований Таймыра и Северной Земли, связанных с аккреционными процессами в докембрии и коллизионными –

в позднем палеозое. Изучены золотоносные минеральные ассоциации и флюидные включения золотокварцевых и золото-сульфидно-кварцевых рудопроявлений аккреционных образований докембрия Центрально-Таймырской (Ясненское, Малиновское) и коллизионных Хутудинско-Большевисткой (Нижнелиткенское, Видимое, Нерпичье, Конечнинское) минерагенических мегазон. Полученные данные свидетельствуют о возможности выявления в Центральном секторе Арктики России двух новых золотоносных геолого-экономических районов.

Ключевые слова: Карский ороген, аккреция, коллизия, золоторудная минерализация, самородное золото, флюидные включения.

В арктической зоне Российской Федерации сосредоточена уникальная минерально-сырьевая база, способная на многие десятилетия обеспечить развитие высокотехнологичного производства страны [2]. Таймыро-Североземельский (Карский) ороген является новой золотоносной провинцией в Центральном секторе Арктики России [5, 6, 10, 16 и др.]. К настоящему времени выявлены многочисленные проявления золота, которые в соответствии с классификацией ЦНИГРИ отнесены к двум группам геолого-промышленных объектов [10]: экзогенной – россыпей, кор выветривания и эндогенной – золоторудных, золотосодержащих формаций. Среди последних выделяются ведущие (золотокварцевая, золото-сульфидно-кварцевая, золотосульфидная, золото-редкометалльная, медно-молибден-порфировая и др.) и второстепенные формационные типы.

Признанной геолого-генетической классификации месторождений золота не существует [14]. В большинстве своем они основаны на вещественном (формационном) составе и связи с рудообразующими системами. Главным связующим звеном между рудогенерирующей геологической формацией (интрузивной, вулканической и т. п.) и образованием собственно месторождения являются магматогенно-гидротермальные или гидротермально-метасоматические системы [9].

Среди зарубежных геологов [17–19 и др.] широко распространено понятие об орогенных месторождениях золота зон субдукции и основной роли метаморфогенно-деформационной модели формирования крупных и суперкрупных месторождений золота. В российской литературе [4, 8 и др.] под орогенным поясом понимается совокупность деформационных структур, возникающих на месте и (или) окраине океанического бассейна в результате аккреции террейнов (в частности дуг) к континенту (кратону) или при столкновении (коллизии) континентальных блоков. То есть орогенные месторождения золота могут быть приурочены к аккреционным образованиям различных дуг, коллизионным и позднеколлизионным процессам. Ю. С. Савчук и А. В. Волков [13] на основе структурного анализа крупных и суперкрупных орогенных месторождений разделили их на две крупные группы, сформированные в конвергентных субдукционных и коллизионно-транспрессионных условиях.

Формирование Карского орогена считается следствием косой коллизии Карского микроконтинента с Сибирским кратоном в позднем палеозое [20]. Тем не менее ряд фактов, в том числе изотопно-геохронологических, свидетельствует о более сложной полихронной коллизионной истории развития начиная с границы раннего и позднего венда [10]. В соответствии с полями развития син- и позднеколлизионных гранитов контур собственно Карского орогена ограничен двумя минерагеническими мегазонами (МГЗ): Хутудинско-Большевистской (край Карского микроконтинента) и Центрально-Таймырской (аккреционный край Сибири). В составе Центрально-Таймырской МГЗ выделяется Шренк-Фаддеевский допоздневендский орогенический пояс, сложенный преимущественно рифейскими осадочно-вулканогенными отложениями, включая офиолиты и комплексы палеоостровных дуг с реликтовыми блоками континентальной коры, которые аккретировали к Сибирскому континенту в несколько этапов: в позднем рифее [3, 10] и раннем венде [15, 20]. Таким образом, намечаются две главные минерагенические эпохи (аккреционная в докембрии и коллизионная в позднем палеозое), определяющие формирование орогенных золоторудных образований на Таймыре и Северной Земле.

В таблице приведены геолого-генетические типы золоторудных и золотосодержащих проявлений Карского позднепалеозойского орогена Центрально-Таймырской и Хутудинско-Большевистской МГЗ.

Геолого-генетические типы золоторудных и золотосодержащих проявлений Карского орогена

Эпоха	Орогенический этап	Рудогенерирующий процесс	Рудовмещающие образования (геодинамический режим)	Региональная гидротермально-метасоматическая формация (по [9])	Рудная формация	Примеры типовых рудопроявлений
Орогенно-коллизионная (PZ_3)	Позднеколлизионный, гранитоиды магнетитового ряда (PZ_3)	Плутоногенный монцогранит-гранит-порфировый магнетитового ряда внутриинтрузивный	Многофазные штоки порфировидных гранитов и гранит-порфиров	Феллизитовая (Аксугского типа)	Золото- медно-молибден-порфировая	Порфировое, Оленьинское, Шумящее, Зееберговское [12]
		Плутоногенный диорит-гранодиоритовый кордильерского типа околоинтрузивный	Турбидиты зеленосланцевой фации (пассивно-окраинные континентального склона)	Калишпатолит-пропилит-березит-аргиллизитовая (по [10])	Золото-кварцевая	руч. Основного, Лагернинское, Конечнинское [10, 11, 16]
	Синколлизионный, гранитоиды ильменитового ряда (315–295 млн лет)	Плутоногенный гранит-лейкогранитовый внутриинтрузивный	Многофазные штоки в турбидитах зеленосланцевой фации метаморфизма	Фельдшпатолит-грейзеновая	Золото-редкометалльная	Оловяннинское, Никитинское, Мартовское [6, 10, 16]
		Плутоногенно-метаморфогенный мигматит-гранитовый с зональным метаморфизмом андалузит-силлимонитовой серии	Турбидиты с углеродистыми сланцами зеленосланцевой фации (пассивно-окраинные континентального подножья)	Кремнещелочно-березит-карбонатная (Наталкинского типа) (по [4, 10])	Золото-кварцевая и золото-сульфидная	Нерпичье, Нижнелиткенское, Голышевское [10, 11, 16]
Орогенно-аккреционная ($RF–V_1$)	Позднеаккреционный (до 555 млн лет ?)	Регионально-дислокационный метаморфизм зеленосланцевый	Вулканогенно-плутоногенные (энсиматических и энсиалических дуг)	Тектоногенная пропилит-березитовая	Золото-сульфидно-кварцевая и золото-сульфидная	Малиновское, Верхнемамонтавское Кунарское, Борзовское [10, 16]
			Карбонатно-терригенные углеродистые (пассивноокраинные)	Апокарбонат-кремнистая (Сухоложского типа)		Жильнинское, Продольнинское Унгинское [10, 16]
	Раннеаккреционный (860–820 млн лет)	Регионально-дислокационный метаморфизм зеленосланцевый	Вулканогенно-плутогенные (энсиматических дуг и вулкано-плутонических поясов)	Тектоногенная пропилит-серицитолитовая (Попутнинского типа)		Ясненское, Дачное, Коралловое [10, 11]
			Карбонатно-терригенные углеродистые (пассивноокраинные)	Апокарбонат-кремнис-тая (Олимпиадинского типа)		Среднеясненское, Барковское, Незабудка [10, 11]

Рифейско-ранневендский орогенно-аккреционный Шренк-Фаддеевский пояс сформирован в два этапа регионального дислокационного метаморфизма зеленосланцевой фации: раннеаккреционный (860–820 млн лет) и позднеаккреционный (допоздневендский, 555 (?) млн лет). В соответствии с этим в составе пояса выделяются две зоны: ранне-позднерифейская Колосовско-Дорожнинская и позднерифейско-ранневендская Мамонтовско-Лаптевская. В зависимости от вмещающих пород рудоносность орогенно-аккреционных этапов определяется формированием золото-сульфидно-кварцевых и золотосульфидных проявлений в вулкано-плутонических комплексах и карбонатно-терригенных углеродистых комплексах. Гидротермально-метасоматические изменения пород представлены окварцеванием, пропилитизацией, хлоритизацией, альбитизацией, березитизацией, лиственитизацией, баритизацией, сульфидизацией, карбонатизацией и графитизацией. Эти изменения (по [9]) отвечают тектоногенным пропилит-серицитолитовым, пропилит-березитовым и апокарбонат-кремнистым региональным гидротермально-метасоматическим образованиям.

С позднепалеозойской орогенно-коллизионной минерагенической эпохой связано образование двух серий рудоносных орогенных интрузивных пород: синколлизионной гранит-лейкогранитовой (ильменитовой) – «двуслюдяных» гранитоидов и позднеколлизионной кварцеводиорит-гранодиорит-монцогранитовой (магнетитовой). *Синколлизионная серия гранитоидов* преимущественно развита в пределах позднерифейско-раннекембрийской (?) Мининско-Большевистской флишоидно-турбидитовой зоны Хутудинско-Большевистской МГЗ. В зависимости от глубинности становления и морфологии гранитоидных тел намечаются три типа рудогенерирующих систем: плутоногенно-метаморфогенная с зональным метаморфизмом андалузит-силлиманитовой серии и золотокварцевыми, золотосульфидными проявлениями в зеленосланцево метаморфизованных черносланцевых отложениях; плутоногенная аллохтонная абиссальная с мусковит-редкометалльными (Be, Sn) пегматитами и плутоногенная аллохтонная мезо-гипабиссальная с проявлениями золоторедкометалльной (granitoid related) формации (Sn, W, Mo, Be, Bi и др.). *Позднеколлизионная серия гранитоидов* характеризуется батолитами и массивами магматического замещения диорит-гранодиоритовой формации и многофазными штоками монцогранит-гранит-порфировой. С первыми связаны рудопроявления золото-(сульфидно)-кварцевой формации, приуроченные к удаленным от гранодиоритов (600–2000 м) экзоконтактовым зонам зеленосланцевой фации. Умереннощелочные гранитоиды характеризуются проявлением внутриинтрузивных филлизитов штокверкового типа, сопровождающихся рудопроявлениями золотосодержащей медно-молибден-порфировой формации [12]. Возраст серии, по современным геохронологическим данным, растянут во времени от раннего карбона (343–330 млн лет) на о. Большевик до ранней–поздней перми (282–252 млн лет) на Центральном Таймыре и п-ве Челюскин.

В последние годы установлены рудопроявления с самородным золотом. Изучение золотоносных продуктивных минеральных ассоциаций, состава самородного золота и РТХ-параметров рудоотложения позволяют значительно увеличить достоверность прогнозной оценки территории [1, 7, 11]. В пределах *Шренк-Фаддеевской аккреционной зоны докембрия* на рудопроявлениях золото-сульфидно-кварцевой формации (Ясненское, Малиновское) самородное золото средней пробности (820–920 ‰), в реликтах на Ясненском проявлении выявлено медистое золото, главные минералы – пирит, халькопирит, иногда борнит, второстепенные – арсенопирит, сфалерит, теллуриды серебра. В пределах *Мининско-Большевистской флишоидно-турбидитовой зоны* на рудопроявлениях золотокварцевой формации Нижнелиткенское видимое самородное золото – высокопробное (940–980 ‰), главные минералы – кварц и пирит, второстепенные–арсенопирит и теллуриды висмута. В рудопроявлениях золото-сульфидно-кварцевой формации штокверкового типа Нерпичье, Конечнинское самородное золото более низкопробное (960–830 до 550 ‰), главные минералы – пирит, арсенопирит, халькопирит, второстепенные – сфалерит, галенит, ютенбогардтит, редко встречаются минералы висмута.

Данные изучения флюидных включений в рудном кварце свидетельствуют о типичном для орогенных месторождений золота гетерофазном состоянии рудообразующих флюидов проявлений Таймыра, связанном с процессами дегазации и кипения. Выявлено существенное различие в составе газовой фазы рудообразующих флюидов рудопроявлений: орогенно-аккреци-

онных (Малиновское Конечнинское и Ясненское) – CO_2, N_2 и CH_4 и орогенно-коллизионных (Нижнелиткенское, Видимое и Нерпичье) – N_2 и CH_4. Основными солевыми компонентами флюидов являются NaCl и KCl. Температуры гомогенизации флюидных включений охватывают интервал от 310 до 105 °С. Первые результаты расчетов давления показывают, что образование золоторудных проявлений в аккреционных и орогенных условиях могло происходить при близком давлении (Малиновское, 100 МПа и Конечнинское, 96 МПа). Данные КР-спектроскопического изучения флюидных включений позволяют говорить, что рудообразующие флюиды золото-сульфидно-кварцевых рудопроявлений в орогенно-аккреционных вулканогенно-плутонических комплексах являются более окисленными и менее солеными по сравнению с проявлениями орогенно-коллизионной эпохи в терригенных флишоидно-турбидитовых образованиях.

Предварительная геолого-генетическая типизация орогенных рудопроявлений золота Таймыро-Североземельского региона и полученные данные по золотоносным минеральным ассоциациям и флюидным включениям в рудном кварце свидетельствуют о возможности выявления в Центральном секторе Арктики России двух новых золотоносных геолого-экономических районов.

Список литературы:

1. Боровиков А. А., Проскурнин В. Ф., Пальянова Г. А., Петров О. В., Бортников Н. С. Физико-химические условия образования продуктивных минеральных ассоциаций золоторудных объектов Таймыро-Североземельского орогена // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2023. – Т. 508, № 2. – С. 185–192.
2. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В., Галямов А. Л., Викентьев И. В., Тарасов Н. Н., Дистлер В. В., Лаломов А. В., Аристов В. В., Мурашов К. Ю., Чижова И. А., Чефранов Р. М. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 6. – С. 3–25.
3. Верниковский В. А., Метелкин Д. В., Верниковская А. Е., Сальникова Е. Б., Ковач В. П., Котов А. Б. Древнейший островодужный комплекс Таймыра: к вопросу формирования Центрально-Таймырского аккреционного пояса и палеогеодинамических реконструкций в Арктике // ДАН. – 2011. – Т. 436, № 5. – С. 647–653.
4. Горячев Н. А. Золоторудообразующие системы орогенных поясов // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2006. – № 1. – С. 2–16.
5. Забияка А. И., Сердюк С. С. Металлогеническое районирование Карской (Северо-Таймырской) провинции // Геология и закономерности эндогенного оруденения западного обрамления Сибирской платформы. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1978. – С. 30–37.
6. Кузьмин В. Г., Оболонский Г. Н., Гавриш А. В. Минералого-геохимические особенности редкометального оруденения // Геохимия и минералогия рудных формаций Норильского региона. – Л. [Спб.]. : Наука, 1988. – С. 101–103.
7. Пальянова Г. А. Минералы золота и серебра в сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. – 2020. – №5. – С. 426–449.
8. Парфенов Л. М., Берзин Н. А., Ханчук А. И., Бадарч Г., Беличенко В. Г., Булгатов А. Н., Дриль С. И., Кириллова Г. Л., Кузьмин М. И., Ноклеберг У., Прокопьев А. В., Тимофеев В. Ф., Томуртогоо О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. –С. 7–41.
9. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2012. – Т. 354. –560 с.
10. Проскурнин В. Ф. Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых»: дисс. на соискание учен. степ. д-ра. геол.-минерал. наук / Проскурнин Василий Федорович. – СПб., 2013. – 40 с.
11. Проскурнин В. Ф., Пальянова Г. А., Гавриш А. В., Петрушков Б. С., Багаева А. А, Бортников Н. С. Геология, минеральные ассоциации и состав самородного золота минеральных месторождений Таймыро-Североземельского орогена // ДАН. – 2019. – Т. 484, № 1. – С. 71–76.

12. Проскурнин В. Ф., Петров О. В., Романов А. П., Курбатов И. И., Гавриш А. В., Проскурнина М. А. Центрально-Арктический золотосодержащий медно-молибден-порфировый пояс // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 85. – С. 31– 49.
13. Савчук Ю. С., Волков А. В. Крупные и суперкрупные орогенные золотые месторождения: геодинамика, структура, генетические следствия // Литосфера. – 2019. – 19 (6). – С. 813–833.
14. Сафонов Ю. Г., Попов В. В., Волков А. В., Злобина Т. М., Чаплыгин И. В. Актуальные проблемы металлогении золота // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 48, № 12. – С. 1257–1275.
15. Уфлянд А. К., Натапов Л. М., Лопатин В. М. О тектонической природе Таймыра // Геотектоника. – 1991. – № 6. – С. 76–93.
16. Шануренко Н. К., Кузьмин В. Г., Русаков Г. А., Фокин В. И. Золоторудные формации Таймыро-Североземельской провинции // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. – СПб. : ВНИИОкеангеология, 2002. – С. 559–571.
17. Goldfarb R. J., Snee L. W., Pikthorn W. J. Orogenesis, high-T thermal events, and gold vein formation within metamorphic rocks of the Alaskan Cordillera // Mineralogical Magazine. – 1993. – V. 57. – P. 375–394.
18. Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M., Hagemann S. G., Robert F. Orogenic gold deposits – a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // Ore Geology Reviews – 1998. – V. 13. – P. 7–27.
19. Kerrich R., Goldfarb R., Groves D. et al. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces // Science in China (ser. D). – 2000. 43. Supp. – P. 1–68.
20. Vernikovsky V. A., Vernikovskaya A., Proskurnin V., Matushkin N., Proskurnina M., Kadilnikov P., Larionov A., Travin A. Late Paleozoic–Early Mesozoic granite magmatism on the Arctic margin of the Siberian Craton during the Kara-Siberia oblique collision and plume events // Minerals. – 2020. – V. 10 (6). 571. – P. 1–39.

Прусакова Н. А., Голубев Ю. К., Громцев К. В., Антащук М. Г.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

О ПЕРСПЕКТИВАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ НА КОРЕННУЮ АЛМАЗОНОСНОСТЬ

Представлены полученные к настоящему времени результаты работ ФГБУ «ЦНИГРИ» по ревизионной оценке по перспективам обнаружения в Красноярском крае коренных месторождений алмазов. Были выявлены благоприятные для коренной алмазоносности региональные глубинные геофизические предпосылки. С использованием комплекса этих предпосылок выделена Тейская алмазоперспективная область. По результатам анализа данных по вещественному составу осадков, вмещающих россыпепроявления алмазов и ореолы МИК, сделан вывод о том, что эти россыпепроявления являются дальноприносными. Предполагается, что алмазы снесены с запада, где по глубинным геофизическим предпосылкам выделена Тейская алмазоперспективная область. Предложены направления дальнейших более детальных работ.

Ключевые слова: Красноярский край, алмазы, россыпепроявления, геолого-геофизические предпосылки, алмазоперспективная область, кимберлиты, коренные месторождения алмазов, поиски.

Красноярский край, по мнению различных авторов, рассматривается в качестве одного из регионов РФ, перспективных на обнаружение месторождений алмазов. Здесь известны россыпные проявления алмазов в четвертичных (наиболее крупное из них – Тычанское) и нижне-, средне-, верхнекаменоугольных отложениях, а также находки минералов-индикаторов кимберлитов (МИК), в том числе алмазной ассоциации. Вскрыты неалмазоносные тела кимберлитов мезозойского возраста Тайгикун-Нембинского и Чадобецкого рудных полей. По данным исследований россыпных алмазов [1], в пределах Красноярского края выделены два типа алмазов (1-й, 2-й), связанных с разными предполагаемыми коренными источниками. Первый тип вклю-

чает алмазы, соответствующие алмазам из среднепалеозойских кимберлитов Сибирской платформы. Второй связан с неизвестным коренным источником.

В пределах рассматриваемой территории в разные годы различными организациями для постановки поисковых работ на коренную алмазоносность был выделен ряд перспективных площадей. Для четырех из них оценены прогнозные ресурсы алмазов категории P_3: коренных алмазов в количестве 400 млн кар (для Вельминской, Хушмуканской, Тарыдакской площадей) и россыпных алмазов в количестве 5 млн кар (для Тычанской площади). Однако проводимые в пределах Красноярского края поиски коренных месторождений алмазов не дали положительных результатов. В сложившейся ситуации актуальной стала задача о ревизионной оценке перспектив Красноярского края на коренную алмазоносность, а в случае положительного результата и по выделению площадей для поисков коренных алмазных месторождений.

Исследования в этом направлении были начаты ФГБУ «ЦНИГРИ» в рамках выполнения госзадания 2022 г. При этом были использованы методические подходы и комплекс геолого-геофизических критериев прогнозирования коренной алмазоносности, разработанные (с учетом данных других организаций и исследователей) ФГБУ «ЦНИГРИ» и изложенные в «Методических рекомендациях по ведению алмазопоисковых работ». В качестве информационной базы использовались ретроспективные геолого-геофизические данные из различных публикаций и отчетов.

На первоначальном этапе этих исследований решалась задача о возможности выявления и локализации на территории Красноярского края алмазоперспективных площадей с использованием комплекса геолого-геофизических предпосылок (косвенных критериев) коренной алмазоносности [2]. При этом был задействован комплекс региональных глубинных геофизических предпосылок, адаптированный к условиям изученности и обеспеченности территории Красноярского края материалами глубинных геофизических съемок. Результаты изучения закономерностей локализации алмазоносных полей в различных регионах мира [2] показали, что региональные предпосылки, проявленные в элементах морфологии подошвы литосферы, в характеристиках кристаллической земной коры (в целом и в отдельных ее горизонтов), в аномальных особенностях теплового поля являются «сквозными, устойчивыми», т. к. в большинстве случаев участвуют в контроле локализации региональных площадей, вмещающих алмазоносные поля независимо от их тектонической позиции и возраста проявленного алмазоносного магматизма. Они позволяют предварительно, уже на начальном этапе ГРР, выявить региональные алмазоперспективные территории (называемые нами алмазоперспективные области), в пределах которых целесообразно проводить более детальные исследования, направленные на выделение площадей под постановку ПМР и далее – более локальных площадей непосредственно под поиски коренных месторождений алмазов.

В результате выполненных прогнозных построений на территории Красноярского края были выявлены региональные глубинные геофизические предпосылки для коренной алмазоносности (наличие площадей с повышенными мощностями литосферы (более 130–150 км) и кристаллической коры с относительно пониженными значениями поверхностного теплового потока и др.). С использованием комплекса данных предпосылок была выделена Тейская алмазоперспективная область площадью порядка 22 тыс. км^2. В системе рассмотренных глубинных геофизических факторов (предпосылок) позиция Тейской алмазоперспективной области в наибольшей степени соответствует позиции площадей, вмещающих промышленно алмазоносные кимберлитовые поля Якутии (Мирнинское, Накынское, Алакит-Мархинское, Верхне-Мунское). Однако в системе дополнительных глубинных геофизических факторов, характерных именно для площадей Якутии с промышленной алмазоносностью, подобные аналогии не просматриваются.

Тейская алмазоперспективная область расположена на западе Байкитской антеклизы Сибирской платформы на территории, для которой характерно развитие вендско-нижнепалеозойских терригенно-карбонатных пород, перекрытых маломощными (преимущественно до 3 м.) четвертичными отложениями. Данная обстановка наиболее благоприятна для проведения поисковых работ, направленных в первую очередь на вскрытие алмазоносных тел среднепалеозойского возраста.

Важно отметить, что известные россыпепроявления алмазов в составе дочетвертичных терригенных толщ и в современных аллювиальных отложениях (в том числе и Тычанское) расположены вне (восточнее) выделенной по комплексу глубинных геофизических предпосылок Тейской алмазоперспективной области. За пределами данной области находятся и прогнозируемые предшественниками площади ранга рудного поля с оцененными прогнозными ресурсами алмазов категории P_3 (Вельминская, Тычанская, Хушмуканская, Тарыдакская), а также известные кимберлитовые поля мезозойского возраста с неустановленной алмазоносностью (Тайгикуно-Нембинское и Чадобецкое). Основные объемы поисковых работ на коренные месторождения алмазов (выполненные и планируемые) сосредоточены на значительном удалении (восточнее) от рассмотренной Тейской алмазоперспективной области в непосредственной близости от установленных россыпепроявлений алмазов.

В связи с этим нами был проведен анализ имеющихся данных с целью выявления потенциальной связи известных россыпепроявлений алмазов и ореолов МИК с выделенной Тейской областью. Данные исследования касались в первую очередь оценки потенциальной связи известных россыпепроявлений алмазов, ореолов МИК с алмазоперспективной областью, выделенной с использованием комплекса глубинных геофизических предпосылок. С этой целью проводился анализ имеющихся данных по особенностям вещественного состава дочетвертичных терригенных толщ и современных аллювиальных отложений, вмещающих известные россыпепроявления алмазов и ореолы МИК. На основании этого были сделаны следующие некоторые **предварительные выводы**:

1. Содержащиеся в аллювиальных отложениях рек Вельмо и Тунга алмазы являются, вероятнее всего, дальнеприносными, поскольку аллювий практически не содержит минералов-индикаторов кимберлитов.

2. Источниками алмазов кайнозойских россыпных проявлений с наибольшей степенью вероятности являются верхнепалеозойские терригенные коллектор. Об этом же свидетельствует гранулометрический состав алмазов в современных русловых отложениях.

3. По комплексу типоморфных свойств алмазы Тычанской аллювиальной россыпи более близки к уральским, а из якутских россыпей – к кристаллам рек Большая Куанамка и Молодо, коренные источники которых не установлены.

4. В пределах Тычанского района выделен локально распространенный нижне-среднекаменноугольный терригенный коллектор, содержащий в значимых количествах алмазы и их парагенетические спутники, что является прямым признаком кимберлитового магматизма позднедевонского-раннекаменноугольного возраста. При этом следует отметить, что трактовка генетической принадлежности осадков тычанского коллектора как связанного с заполнением пресноводных озерных котловин всхолмленной равнины не вполне корректна. В составе тяжелой фракции данных отложений присутствует глауконит. Этот минерал является диагенетическим и формируется в солоноводных водных бассейнах. Следует заметить, что по представлениям, которые развивались еще в пору деятельности Красноярскгеолсъемки, данная россыпь алмазов была отнесена к категории ложковых. Этот вывод основывался на особенностях гранулометрического состава осадков, вмещающих алмазы. Однако подобный состав осадков также характерен для отложений подводной дельты, реки и в этом отношении алмазы тычанского коллектора могут рассматриваться как дальнеприносные. При этом можно предположить, что алмазы снесены с запада, где по глубинным геофизическим предпосылкам выделена Тейская алмазоперспективная область.

Для подтверждения сделанных выводов необходимо проведение дополнительных исследований, которые целесообразно провести в рамках опережающих геолого-геофизических работ (ПМР). Эти работы должны включать оценку особенностей вещественного состава дочетвертичных терригенных отложений: минералогический состав тяжелой фракции, наличие дальнеприносного грубообломочного материала, гранулометрический состав отложений терригенных коллекторов, входящих в состав осадков, перекрывающих ожидаемые срезы кимберлитовмещающих пород. Данный материал позволит оценить особенности осадконакопления в период формирования конкретной осадочной толщи и оценить как направление, так и потенциальную дальность переноса обломочного материала, в том числе МИК и алмазов. То же направление

исследований касается особенностей формирования и развития современной речной сети. Результатом этих исследований является локализация площади возможного положения коренных источников алмазов.

Список литературы:
1. Афанасьев В. П., Лобанов С. С., Похиленко Н. П. [и др.]. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 3. – С. 335–353.
2. Прусакова Н. А., Громцев К. В., Лаптев М. М. Геолого-геофизические предпосылки выделения площадей для постановки поисковых работ на коренные месторождения алмазов // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 23–46.

Пушкарев Е. В.
ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург

ЧТО МЫ ЗНАЕМ ОБ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ХРОМ-ПЛАТИНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ УРАЛЬСКОГО ТИПА И ПОЧЕМУ ДО СИХ ПОР НЕ НАЙДЕНЫ КРУПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ?

Исследования выполнены в рамках Госзадания ИГГ УрО РАН № г/р 123011800009-9.

Обобщены результаты исследований по геологии, структурно-морфологическим особенностям, составу и редокс-условиям формирования хром-платинового оруденения в комплексах Урало-Аляскинского типа. Предложена модель образования хром-платинового оруденения, согласно которой руды формируются после завершения твердопластических деформаций дунитов в результате перераспределения рудных компонентов при участии флюида, что вносит существенные ограничения для образования крупных коренных месторождений.

Ключевые слова: комплексы Урало-Аляскинского типа, дунит, типы хромититов, зональность рудных тел, редокс-условия, генезис хром-платиновых месторождений.

Первые в России платиновые россыпи были открыты на Урале почти два века тому назад в 1824 г. и уже более 130 лет известны коренные рудопроявления и месторождения хром-платиновых руд в дунитах Платиноносного пояса Урала (ППУ). За 200 лет, по оценкам экспертов, на Урале было добыто более 600 т платины [4]. Только в системе рек Ис-Тура было добыто более 500 т платины. Главным источником россыпей являются дунит-клинопироксенит-габбровые (ДКГ) комплексы Урало-Аляскинского типа (УАТ), которые на Урале входят в структуру Платиноносного пояса, протянувшегося с севера на юг вдоль 60-го меридиана более чем на 900 км, и включают 14 массивов площадью от 40 до 800 км^2. Во второй половине XX века на востоке России, в Хабаровском крае, Приморье и Корякско-Камчатском регионе были открыты новые платиновые россыпи и целые платиноносные провинции [6, 7 и др.], связанные с массивами сходного с уральскими генетического типа. Уникальные запасы россыпей побуждают геологов к поиску сопоставимых по продуктивности коренных месторождений. Эта история длится уже более ста лет, но пока не привела к открытию крупных коренных месторождений. Почему?

Чтобы ответить на этот вопрос, требуется более глубокое понимание условий и механизмов формирования концентраций минералов платиновой группы (МПГ) в комплексах УАТ. Если мы знаем, как, где, когда и при каких условиях происходит образование руды, то можем лучше прогнозировать вероятность формирования месторождений. Изучение, разведка и отработка коренных хром-платиновых проявлений на Урале начались с конца XIX века. Главные результаты были систематизированы и представлены в монографиях Н. К. Высоцкого [2], А. Н. Заварицкого [3], А. Г. Бетехтина [1], К. К. Золоева с соавторами [8], Л. Дюпарка, М. Тихонович [14] и в многочисленных публикациях других авторов. Все это позволило выделить нижнетагильский промышленно-генетический тип позднемагматических собственно плати-

новых месторождений, вошедший в учебники по рудным месторождениям [12]. Новые данные по составу и условиям образования хром-платиновых руд нижнетагильского типа были изложены нами в [9].

Геологическое положение платиноносных хромититов. В упрощенном варианте ДКГ массивы имеют концентрически-зональное строение в плане и коническую или цилиндрическую форму в разрезе [5]. Дуниты формируют внутреннее ядро, а клинопироксениты и тылаиты окружают их по периферии. Дуниты в ядре имеют структурно-вещественную зональность. Центр дунитовых тел сложен крупнозернистыми форстеритовыми дунитами с признаками частичной или полной перекристаллизации [5]. Они окружены мелкозернистыми, более железистыми и слабоперекристаллизованными дунитами, которые и контактируют с клинопироксенитами. На примере Нижнетагильского массива (Средний Урал) исследователями [2, 3, 5, 9, 13] было показано, что платиноносные хромитовые шлиры и месторождения локализованы в центральной части дунитового тела, в зоне перехода между крупнозернистыми и мелкозернистыми дунитами. Хромитовые шлиры и рудные зоны обычно имеют крутое падение, субсогласное с ориентировками твердопластических деформаций. Такие же закономерности устанавливаются для других массивов Урала и Сибири.

Форма и размеры рудных тел и взаимоотношения с вмещающими дунитами. Все разнообразие морфологии рудных тел, по данным А. Н. Заварицкого [3], можно свести к трем основным типам: изометрические, столбообразные и жилообразные тела. Большая часть рудных тел месторождения Госшахта (Средний Урал) согласно описаниям А. Г. Бетехтина [1] представлена уплощенными линзами или «струями», круто падающими на восток, длиной до 2 м по падению и от полуметра до 1 м по простиранию при мощности в первые сантиметры. Тела залегают либо группами, либо в виде изолированных линз и гнезд неправильной формы, не связанных друг с другом. Изредка рудные тела могут достигать в длину 10–20 м с площадью сечения около 0,5 м^2.

По характеру взаимоотношений с вмещающими дунитами А. Н. Заварицкий [3] предложил выделять сингенетические и эпигенетические хромититы. Сингенетические хромититы формируют струи и «облачные» сегрегации с постепенными переходами к вмещающим дунитам. Они синхронны с ультрамафитами по времени и условиям образования. Вместе с дунитами хромититы участвуют в пластических деформациях. Эпигенетические руды формируют жильные и линзовидные тела с резкими, секущими контактами с дунитами. Они не несут следов высокотемпературных пластических деформаций. Для эпигенетических руд типичны брекчиевые текстуры, в которых обломки дунитов сцементированы хромититовым агрегатом. Несмотря на признаки более позднего образования, эпигенетические хромиты никогда не выходят за пределы дунитовых тел. Сингенетические хромититы могут содержать мелкие включения МПГ или рассеянную платиновую минерализацию, но главным концентратором крупной интерстициальной платины являются эпигенетические хромититы [1, 3].

Состав хромшпинелидов и структурно-вещественная зональность рудных тел. Состав хромшпинелидов сингенетических сегрегаций практически такой же, как и состав акцессорного хромита вмещающих дунитов [9]. И акцессорный, и шлировой хромит представлен мелкими зернами до 0,5 мм. Размер зерен в эпигенетических хромититах в несколько раз крупнее, чем акцессорный хромит дунитов. Иногда в эпигенетических хромитах заметно укрупнение размера зерен от зальбандов к центру рудных тел параллельно с увеличением пористости минеральных агрегатов. Состав рудных хромшпинелидов из эпигенетических хромититов резко отличается от акцессорных более высокими содержаниями Cr, Mg и меньшими – Ti и Fe [9, 10]. Это свидетельствует о неравновесности эпигенетических руд по отношению к вмещающим ультрамафитам. Изучение состава хромшпинелида в крест небольших рудных тел выявило существование в них зональности. Она выражается в увеличении содержаний хрома, алюминия, магния и величины $Fe^{3+}/Fe_{Общ}$ в хромшпинелиде от краев рудных тел к их центру на фоне падении содержаний общего железа [9]. При этом величина Cr/(Cr+Al) в хромшпинелидах практически не изменяется. Сохранение такой зональности свидетельствует об относительно низкой температуре формирования эпигенетических руд, ниже *T* прекращения диффузии и обменных реакций между Fe и Mg.

***T*-fO_2 условия формирования платиноносных хромититов.** Редокс-условия оливин-хромитового равновесия в сингенетических хромититах и мелкозернистых дунитах периферических зон дунитовых тел соответствуют субсолидусным условиям T = 1050–1150 °С, fO_2 на 1–2,5 единицы выше буфера QFM [13]. В перекристаллизованных крупнозернистых дунитах в центре дунитовых тел T на 180–200 °С ниже этих значений при тех же значениях fO_2. Обогащенные платиной эпигенетические хромиты соответствуют температуре 700–800 °С при fO_2на 3–4 порядка выше буфера QFM [13]. Вариации редокс-условий в рудных телах показывают, что в зальбандах T Ol-Chr равновесия примерно равна 790–800 °С, что на 50–100 °С выше, чем в центральных частях рудных тел. Фугитивность кислорода, напротив, в центральных частях руд примерно на 0,5 единицы логарифма fO_2 выше, чем в краевых. Окситермобарометрические данные показывают относительно низкотемпературный характер платинового оруденения нижнетагильского типа, формирование которого сопровождается ростом окисленности минералообразующей среды.

Онтогения рудных хромшпинелидов как индикатор пневматолито-гидротермального образования платиноносных хромититов. Характерной чертой рудных хромшпинелидов является широкое развитие искаженных, кривогранных форм, приближающихся по морфологии к сферическому габитусу. Хромшпинелиды часто демонстрируют структуры скелетного или дендритного роста совместно с серпентином, хлоритом, флогопитом и другими гидроксилсодержащими минералами. В этих случаях хромшпинелид образует нехарактерные для него формы – тонкие пластинки или иглы, срастающиеся со слоистыми силикатами. Рудный хромшпинелид нередко содержит газово-жидкие включения [10] либо октаэдрические включения хлорита или серпентина. Эти данные показывают равновесный характер рудного хромшпинелида с относительно низкотемпературными минералами пневматолито-гидротермальной стадии.

Состав родоначального расплава и его потенциал для формирования хром-платиновых руд. При решении этого вопроса следует учитывать высокую долю клинопироксенитов в составе комплексов Урало-Аляскинского типа. Так, в Платиноносном поясе Урала доля дунитов не превышает 5–6 %, а на клинопироксениты и тылаиты приходится до 40 %. Наши исследования показывают, что в качестве родоначального расплава могут выступать анкарамиты [11]. Они обладают высоким $CaO/Al_2O_3 > 1$, соответствуют Ol-Cpx котектике и способны фракционировать клинопироксен, количество которого в 6–10 раз превышает количество оливина. Содержание Cr в анкарамитах составляет 600–800 г/т, а элементов платиновой группы (ЭПГ) – 20–40 мг/т при преобладании платины. Это позволяет кристаллизовать на ликвидусе анкарамитов хромшпинелид и железоплатиновые сплавы в акцессорных количествах [15]. Формирование кумулятивных дунитов и клинопироксенитов приводит к незначительному обогащению этих пород Cr (1000–2000 г/т) и ЭПГ (50–100 мг/т), но не обеспечивает формирование богатых хром-платиновых руд.

Модель формирования эпигенетического хром-платинового оруденения нижнетагильского (уральского) типа [9]. Модель основана на нескольких установленных фактах:

1) Геологическое положение руд и крутая ориентировка рудных зон в дунитах,
2) Морфология и изолированный характер рудных тел,
3) Зональность рудных тел,
4) Неравновесность минеральных ассоциаций руд и вмещающих дунитов,
5) Относительно низкотемпературный характер минеральных ассоциаций руд,
6) Высокая окисленность рудных ассоциаций.

Можно предположить, что формирование платиноносных хромититов начинается на заключительной стадии твердопластичных деформаций дунитов при их диапироидном выжимании в верхние горизонты земной коры. Ранние акцессорные хромшпинелиды могут испытывать истирание и милонитизацию и совместно с остаточным межзерновым расплавом, нано- или микрокластерами МПГ и флюидом приобретать способность к миграции в области пониженного давления в дунитах. В этих структурных ловушках на постдеформационной стадии эволюции дунитов происходит формирование хром-платиновых руд. Расчеты показывают, что степень концентрирования компонентов из вмещающих дунитов в руды составляет пример-

но два порядка. Установленные ранее негативные аномалии платины в околорудном пространстве подтверждают, что механизм перераспределения рудных компонентов в твердых дунитах может играть важную роль в формировании хром-платиновых руд. Масштаб такого перераспределения в практически твердых дунитах только за счет собственного флюида ограничен. Этот процесс может приводить к формированию большого количества мелких и разобщенных рудных тел с высокими содержаниями МПГ. В случае площадной денудации ультраосновных массивов такие сегрегации могут обеспечить образование крупных и уникальных россыпных месторождений. Однако такой процесс имеет серьезные ограничения для формирования крупных рудных объектов.

Список литературы:

1. Бетехтин А. Г. Платина и другие минералы платиновой группы. – М. : ОНТИ, 1935. – 148 с.
2. Высоцкий Н. К. Месторождения платины Исовского и Нижне-Тагильского районов на Урале // Труды Геологического комитета. Новая серия. – СПб., 1913. – Вып. 62. – 694 с.
3. Заварицкий А. Н. Коренные месторождения платины на Урале // Материалы по общей и прикладной геологии. – Л. [СПб.], 1928. – Вып. 108. – С. 1–51.
4. Золоев К. К., Коротеев В. А., Волченко Ю. А., Новиков И. Н. Рудно-россыпные ансамбли месторождений платиноидов Урала // Платина России. – М. : Геоинформмарк, 2004. – Т. 5. – С. 118–143.
5. Иванов О. К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. – Екатеринбург : УрГУ, 1997. – 488 с. – (Минералогия, петрология, генезис).
6. Корякско-Камчатский регион – новая платиноносная провинция России. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2002. – 383 с.
7. Малич К. Н. Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири (геохимия, минералогия, генезис). – СПб. : ВСЕГЕИ, 1999. – 296 с.
8. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала / К. К. Золоев, Ю. А. Волченко, В. А. Коротеев, И. А. Малахов [и др.]. – Екатеринбург : ДПР, ОАО «УГСЭ», УрО РАН, УГГГА, 2001. – 199 с.
9. Пушкарев Е. В., Аникина Е. В., Гарути Дж., Заккарини Ф. Хром-платиновое оруденение Нижнетагильского типа на Урале: структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса // Литосфера. – 2007. – № 3. – С. 28–65.
10. Пушкарев Е. В., Каменецкий В. С., Морозова А. В., Хиллер В. В., Главатских С. П., Родеманн Т. Онтогения рудных хромшпинелидов и состав включений как индикаторы пневматолито-гидротермального образования платиноносных хромититов массива Кондер (Алданский щит) // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 5. – С. 394–423.
11. Пушкарев Е. В., Рязанцев А. В., Готтман И. А. Дегтярев К. Е., Каменецкий В. С. Анкарамиты – новый тип магнезиальных, высоко-кальциевых примитивных расплавов в Магнитогорской островодужной зоне на Южном Урале // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 479, № 4. – С. 433–437.
12. Рудные месторождения СССР. Т. 3 / под ред. В. И. Смирнова. – М. : Недра, 1978. – 496 с.
13. Чащухин И. В., Вотяков С. Л., Пушкарев Е. В., Аникина Е. В. Миронов А. Б., Уймин С. Г. Окситермобарометрия ультрамафитов Платиноносного пояса Урала // Геохимия. – 2002. – № 8. – С. 846–863.
14. Duparc L., Tikhonowitch M. Le platine et les gites platiniferes de l’Oural et du Monde. – Geneve, 1920. – 542 p.
15. Kamenetsky V. S., Park J-W., Mungall J. E., Pushkarev E. V., Ivanov A. I., Kamenetsky M. B., Yaxley G. M. Crystallization of platinum-group minerals from silicate melts: Evidence from Cr-spinel–hosted inclusions in volcanic rocks // Geology. – 2015. – V. 43, № 10. – P. 903–906.

Радько В. А.
ООО «НН «Технические сервисы», г. Санкт-Петербург

ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ СУЛЬФИДНЫХ Cu-Ni РУД МЕТОДОМ ПРОДУКТИВНОСТЕЙ

Для локального прогноза сульфидных медно-никелевых руд в рамках модели динамической дифференциации (МДД) интрузивных траппов северо-запада Сибирской платформы [5] предлагается метод продуктивностей [4, 6]. Аналогичный метод удельной продуктивности [1] всегда используется при большом дефиците данных. Предлагаемый метод, напротив, работает как с данными по единичным скважинам, так и со многими скважинами, которые даже в принципе невозможно воспринять физически из-за очень большого количества информации. При этом парадигмой метода является не повышение достоверности прогноза, учитывающего кондиции, экономику, цены на металлы и пр. [2, 3], а выявление генетических закономерностей распределения вещества в зональной рудно-магматической системе, необходимых для обоснования прогноза новых рудных тел, интерполяции и экстраполяции рудных зон.

Ключевые слова: прогноз, сульфидные Cu-Ni руды, метод продуктивностей.

Основу сырьевой базы Норильского промышленного района составляют сульфидные Cu-Ni с платиноидами руды Талнахского (ТРУ) и Норильского (НРУ) рудных узлов. На ТРУ оруденение связано с Талнахским и Хараелахским интрузивами. В пределах интрузивов в начале 1960-х гг. были открыты многочисленные рудные тела богатых, медистых и вкрапленных руд, объединенных, соответственно, в Талнахское и Октябрьское месторождения. Разведочные работы, продолжавшиеся непрерывно более четверти века, выявили уникальные по количеству и качеству Cu-Ni с платиноидами руды. В 1987 г. после подсчета запасов на северных флангах разве-

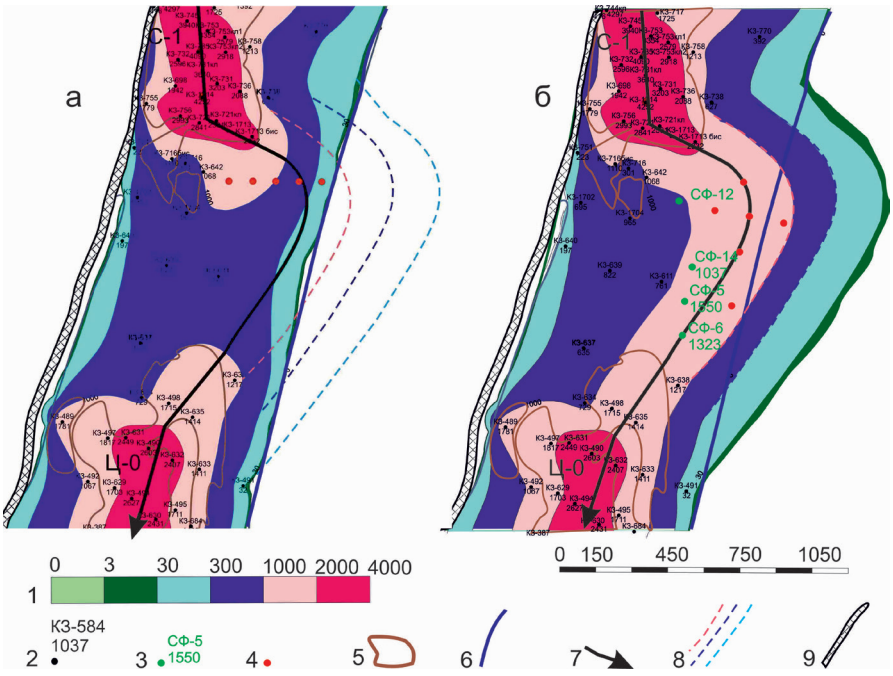


Рис. 1. Сопоставление схем локального прогноза методом продуктивностей 2012 г. (а) и 2014 г. (б) на перспективном участке, выделенном на юге рудника Скалистый:
1 – шкала продуктивности меди в тыс. т на 1 км^2, типы: 0–3 – оганерский, 3–30 – круглогорский, 30–300 – зубовский, 300–1000 – масловский, 1000 и более – талнахский; скважины: 2 – ранее пробуренные: в числителе – номер, в знаменателе продуктивность меди тыс. т/км^2, 3 – пробуренные в 2014 г., 4 – рекомендованные для продолжения работ; 5 – контур распространения богатых руд по данным детальной и эксплуатационной разведки; 6 – контур Талнахского интрузива по данным предшественников; 7 – осевая зона максимального потока магмы над элементарными площадками осаждения; 8 – области предполагаемого распространения богатых, кондиционных и некондиционных вкрапленных руд относительно осевой зоны; 9 – главный шов Норильско-Хараелахского разлома

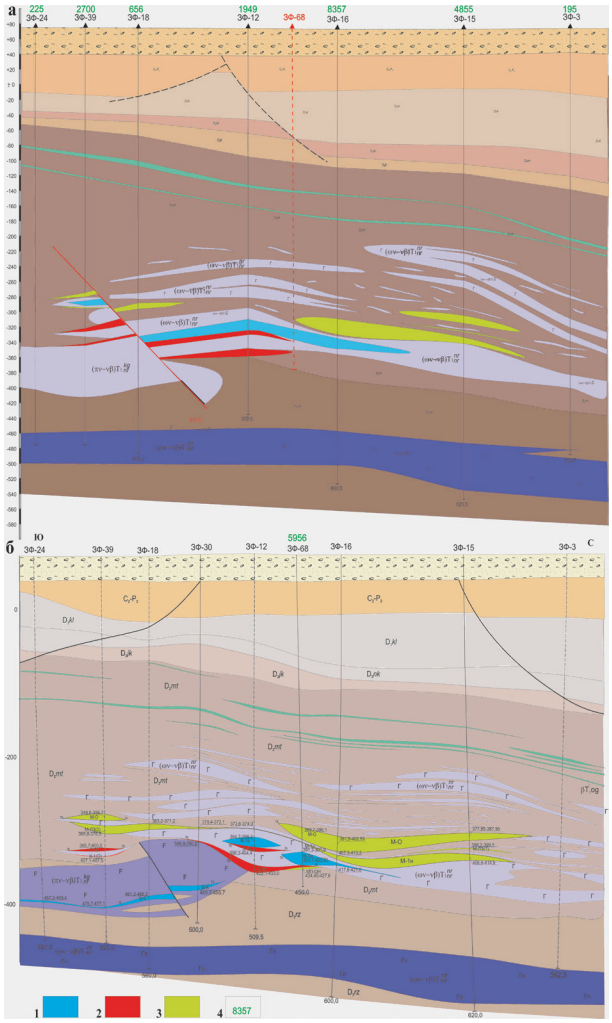


Рис. 2. Сопоставление разрезов при оперативном подсчете запасов на западном фланге Октябрьского месторождения в 2010 г. (а) и после него в 2014 г. (б):
руды: 1 – вкрапленные, 2 – богатые, 3 – медистые; 4 – продуктивность меди, тыс. т / км^2

дочные работы были прекращены, производство было обеспечено запасами руды более чем на 50 лет.

Сейчас можно констатировать, что за более чем 50-летний период эксплуатации Октябрьского и Талнахского месторождений ни разу не задавались поисковые подземные выработки, выходящие на 50 м и более в неизвестность за пределы контура утвержденных запасов. Все планы и экономика отработки залежей богатых и медистых руд рассчитываются исключительно в контуре залежей. Все современные блочные модели, используемые для подсчета запасов, повышают достоверность подсчета количества руды, но не имеют прогнозного модуля и не дают основания для прослеживания залежей богатых и медистых руд за пределами фактической разведочной сети. В результате все разговоры о том, что из-под земли бурение скважин намного дешевле, свидетельствуют о непонимании говорящими того факта, что на рудниках нет геологов и горняков, способных взять на себя ответственность за затраты на проходку горной выработки, в частности штольни, в целях поиска рудных тел за контуром утвержденных запасов.

Казалось бы, современным геологам осталось только изучать материалы предшественников, однако в рамках МДД был разработан математический алгоритм метода продуктивностей, главные закономерности и первые результаты применения этого метода приведены в более ранних публикациях [4, 6]. В результате была построена модель продуктивностей ТРУ с выделением фаций рудоносности и осевых зон, связанных в рамках парадигмы модели динамической дифференциации с максимальным потоком магмы над элементарными площадками осаждения [4, 6]. Самыми перспективными и первоочередными участками осевых зон считаются места, расположенные в поле высоких значений продуктивностей, в частности продуктивность более 1 млн т (1000 тыс. т) на 1 км^2 гарантирует подсечение поисковой скважиной богатых или высокоценных медистых руд. Например, на юге рудника Скалистый, восточнее ствола ВСС-9, в 2012 г. был выделен участок, расположенный между залежами богатых руд Ц-О и С-1 (рис. 1).

Ранее разведочная сеть была жестко привязана к трассе Норильско-Хараелахского разлома (НХР), в результате чего по профилю скважин КЗ-640, КЗ-639, КЗ-611 был установлен разрыв в сплошности богатых и медистых руд. Методом продуктивностей была выявлена ундуляция осевой зоны Северо-Восточной ветви Талнахского интрузива и отход ее от НХР почти на 600 м. В связи с чем предполагается наличие богатых и медистых руд между залежами Ц-О и С-1. В 2014 г. были пробурены 4 скважины (см. рис. 1, б), которые подтвердили наличие осевой зоны, позднее богатые руды были вскрыты в скважинах СФ-13, СФ-19, СФ-20 и др.

На западном фланге Октябрьского месторождения в 2010 г. при оперативном подсчете запасов в скважине ЗФ-12 выделены два тела богатых руд, а в соседней скважине ЗФ-16 – два тела медистых руд (рис. 2, а). Согласно правилам оконтуривания ни богатых, ни медистых руд

на месте скважины ЗФ-68 быть не могло. Однако продуктивность ЗФ-12 составляет 1949 тыс. т/км^2, а продуктивность ЗФ-16 – 8357 тыс. т/км^2, и согласно методу продуктивностей это место пустым быть не может. После долгих уговоров в 2014 г. скважина ЗФ-68 была пробурена. В ней оказалось 3 тела медистых и одно тело богатых руд (см. рис. 2, б), продуктивность составила 5956 тыс. т/км^2, что намного выше среднего.

Список литературы:
1. Быховер Н. А. Количественная оценка прогнозных запасов твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. – 1972. – № 10. – С. 16–21.
2. Геолого-экономическая оценка месторождений твердых полезных ископаемых на ранних стадиях изучения. – М. : ВИЭМС, 1975. – 102 с.
3. Методическое руководство по оценке твердых полезных ископаемых. Вып. 1. Принципы и методы оценки. – М. : ВИЭМС, 1986. – 44 с.
4. Радько В. А. Локальный прогноз сульфидных Cu-Ni с платиноидами руд методом продук-тивностей в пределах Хараелахского рудоносного интрузива // Природные ресурсы Красноярского края. – 2014. – № 20. – С. 75–79.
5. Радько В. А. Модель динамической дифференциации интрузивных траппов северо-запада Си-бирской платформы // Геология и геофизика. – 1991. – № 11. – С. 19 – 27.
6. Радько В. А. Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 226 с.

Раков Л. Т.
ФГБУН «ИГЕМ» РАН, г. Москва

СТРУКТУРНЫЕ ДЕФЕКТЫ В КВАРЦЕ КАК ПОКАЗАТЕЛИ ИСТОЧНИКОВ СНОСА И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В кварце осадочных пород обнаружено присутствие изоморфных примесей Al, Ti и Ge, радиационных дефектов, а также других парамагнитных центров, обладающих генетической информативностью. Установлено, что распределение изоморфных примесей в обломочном кварце близко к их первоначальному распределению, сложившемуся в момент образования минерала. Это создает предпосылки для выявления генетически близких образцов кварца и отнесения их к определенным источникам сноса. Показана целесообразность применения в этих целях радиационных центров с разной термической стабильностью. Для случая осадочных пород Центральных Кызылкум получено подтверждение, что их формирование происходило за счет двух основных источников сноса терригенного материала. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о перспективности использования структурных свойств кварца для выяснения условий формирования осадочных месторождений благородных и цветных металлов.

Ключевые слова: кварц, структурные дефекты, ЭПР, осадочные месторождения, источники сноса.

Выяснение условий формирования осадочных толщ и реконструкция источников сноса важны для изучения генезиса россыпных и экзогенных эпигенетических месторождений полезных ископаемых. Проведенные нами исследования показали, что в качестве критериев для определения областей сноса могут выступать наноразмерные дефекты кристаллической структуры кварца: изоморфные примеси, кислородные вакансии, кластеры. В частности, было установлено, что высокой информативностью обладают концентрации изоморфных примесей Al (C_{Al}), Ti (C_{Ti}) и Ge (C_{Ge}), а также других точечных дефектов, регистрируемых методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

До сих пор закономерности распределения изоморфных примесей рассматривались только для кварца кристаллических горных пород. В них кварц после остывания вмещающих пород

находится в постоянных физико-химических условиях, что благоприятно для формирования изоморфных примесей в кварце и стабильного существования их в течение длительного времени [4]. Кварц осадочных пород за свою предысторию претерпевает большее влияние окружающей среды, что может отразиться на распределении изоморфных примесей. Выяснение характера их поведения в этих условиях являлось одной из основных задач наших исследований.

Кварц отбирался из образцов песка и песчаника, полученных из керна двух скважин, пробуренных на северо-восточном склоне Кенимехского артезианского бассейна (Западный Узбекистан). Скважины вскрыли отложения неогена, палеогена и мела, залегающие почти горизонтально на глубинах до 600 м. К исследованию было привлечено 12 проб, каждая из которых имела размеры не более 1–2 см и характеризовала определенный стратиграфический уровень осадочных толщ.

Из исследуемых проб выделялись недробленые зерна кварца разной формы и цвета, сохранившие естественную поверхность и имеющие крупность -0,5+0,25 мм. Регистрация структурных дефектов в них осуществлялась на спектрометре ЭПР после специальной терморадиационной обработки. Изучение пространственного распределения структурных дефектов в кварцевых зернах проводилось после обработки кварца в плавиковой кислоте.

Обнаружено, что основная часть спектра ЭПР кварца осадочных отложений связана с сигналами изоморфных примесей Al, Ti и Ge [7]. В ряде образцов были обнаружены *T*-центры, локализованные в кластерах β-фазы [3]. Их появление свидетельствовало о высоких температурах образования минерала. Отдельные образцы обломочного кварца содержали в спектре ЭПР линию, обусловленную радикалом в органическом веществе животного происхождения [5]. Кроме того, в изученных образцах был выявлен целый ряд радиационных центров, возникающих при контакте кварца с радиоактивными элементами [2].

Результаты анализа графиков зависимостей $N_{Al}(N_{Ti})$ и $N_{Ge}(N_{Ti})$ свидетельствуют, что структурные дефекты, связанные с изоморфными примесями, в кварце осадочных пород сохраняются по крайней мере в течение 90 млн лет. Их концентрации претерпевают некоторые изменения лишь в приповерхностном слое кварцевых зерен. Высокой стабильностью обладают и кластеры β-фазы. Они концентрируются преимущественно в глубине зерен и несут информацию о температурных условиях формирования кварца.

На основе полученных результатов были выделены две группы образцов, имеющие разные распределения структурных дефектов. Их возникновение объясняется принадлежностью образцов к различным генетическим группам кварца. Каждая из них может быть приурочена к определенным областям сноса при формировании осадочных отложений. Данная гипотеза согласуется с известными представлениями о двух основных источниках сноса терригенного материала – местных поднятиях и горных поднятиях Тянь-Шаня, изложенными в ряде работ [1, 6].

Использование параметров распределения структурных дефектов в кварце могут оказаться полезными при реконструкции палеообстановок древних эпох россыпеобразования. Диапазон их изменений шире, а точность измерения выше, чем для морфологических показателей. Поэтому применение таких признаков обеспечит более надежное определение местоположения коренных источников.

Особую актуальность использование структурных критериев в качестве индикаторов литогенеза приобретает при изучении россыпей дальнего сноса, часто не имеющих видимой связи с коренными источниками. Убедительным доказательством такой связи может явиться совпадение их значений для кварца материнских пород и осадочных отложений.

Высокая информативность свойственна и распределению радиационных дефектов в обломочном кварце. Их концентрации резко возрастают при контакте кварца с урановой минерализацией, что позволяет оценивать время и место такого контакта. Это дает возможность фиксировать изменения природного радиационного поля на различных этапах седиментации, которые могут быть обусловлены формированием экзогенных месторождений. Использование радиационных дефектов, обладающих разной стабильностью, позволяет определять момент их возникновения в кварце, что весьма важно при выяснении первичной картины рудообразования.

Таким образом, проведенные исследования позволили разработать методологию изучения осадконакопления с помощью метода ЭПР и выявления новых признаков источников сноса при

формировании осадочных толщ. Их применение повысит надежность и достоверность результатов изучения образования осадочных отложений и связанных с ними месторождений благородных и цветных металлов.

Список литературы:
1. Миркамалова С. Х., Беленький Г. А., Морозов С. Д., Беленькая И. Г., Расулов У. М. Палеоген Западного Узбекистана. – Ташкент : ФАН, 1972. – 116 с.
2. Моисеев Б. М. Природные радиационные процессы в минералах. – М. : Недра, 1985. – 174 с.
3. Раков Л. Т., Плескова М. А., Моисеев Б. М. Парамагнитный центр в термообработанном кварце // Доклады Академии наук СССР. – 1986. – Т. 289, № 4. – С. 962−965.
4. Раков Л. Т., Прокофьев В. Ю., Зорина Л. Д. Элементы-примеси в кварце месторождений золота Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье, Россия): данные электронного парамагнитного резонанса // Геология рудных месторождений. – 2019. – Т. 61, № 2. – С. 72–92.
5. Хасанов Р. Р., Галеев А. А. Эволюция сингенетического органического вещества в палеозойских отложениях центральной части Волго-Уральской антеклизы // Ученые записки Казанского государственного университета. – 2008. – Т. 150, кн. 3. Естественные науки. – С. 152−161.
6. Чедия О. К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. – Фрунзе [Бишкек]: Илим, 1986. – 314 с.
7. Weil J. A. A review of electron spin spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz // Physics and Chemistry of Minerals. – 1984. – V. 10, № 4. – P. 149–165.

Раткин В. В.[1], Тихомиров Д. В.[1], Чугаев А. В.[2], Елисеева О. А.[1]
[1] ФГБУН «ДВГИ ДВО РАН», г. Владивосток; [2] ФГБУН «ИГЕМ РАН», г. Москва

Pb-Zn СКАРНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДАЛЬНЕГОРСКОГО ТИПА: ГЕОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПОРОД И РУД

Выполнено региональное обобщение геологических и петрологических данных и результатов изотопно-геохимического изучения Pb-Zn месторождений дальнегорского типа в южном Сихотэ-Алине (РФ). На основе комплекса Sm-Nd-Pb изотопных исследований пород и руд и U-Pb датирования интрузивных и эффузивных образований показано, что месторождения связаны с центрами магматизма дальнегорской вулкано-плутонической ассоциации. Рудообразование и магматизм реализуются в палеоцене в узком временном интервале (60 ± 2 млн лет) в процессе завершения субдукции океанической плиты Изинаги и перехода к режиму трансформной континентальной окраины. Формирование рудоносных интенсивно контаминированных верхнекоровым материалом интрузий происходило в режиме активного мантитйно-корового взаимодействия.

Ключевые слова: Pb-Zn скарны, Sm-Nd-Pb изотопия, U-Pb датирование, Дальнегорск, Сихотэ-Алинь.

Скарновые месторождения, определяющие Pb-Zn специализацию Таухинской металлогенической зоны южного Сихотэ-Алиня, сконцентрированы в Дальнегорском рудном районе. Их изучение продолжается уже более полувека. Привлечение современных данных изотопно-геохимических исследований руд и породного комплекса выступает основой для создания региональной модели, описывающей поэтапное развитие территории с финалом в виде формирования Pb-Zn скарновых месторождений дальнегорского типа.

Модель представляется как смена взаимосвязанных событий, обеспечивающих накопление и последовательное концентрирование рудного вещества:

• образование Таухинского регионального геохимически специализированного свинцово-изотопного резервуара;

• реализация магматических процессов, обеспечивающих переработку пород геохимического резервуара и возникновение рудоносной вулкано-плутонической ассоциации;

• формирование локальных вулкано-плутонических центров с характерными структурными неоднородностями и геохимическими барьерами, на уровне которых реализуются процессы рудообразования.

1. Таухинский региональный Pb-Zn рудно-геохимический резервуар и одноименная металлогеническая зона (металлотект) конформны Таухинскому террейну – сегменту новообразованной мезозойской континентальной коры Сихотэ-Алиня. Террейн сформирован как аккреционная призма на океаническом основании в Сино-Корейском секторе раннемеловой континентальной окраины. В альб-раннесеноманское время террейн транслирован океанической плитой на север и занял современное положение в структуре Сихотэ-Алиня [3].

В составе призмы пространственно совмещены аккретированные толщи палеозойских, триасовых и юрских карбонатных и кремнисто-терригенных пород океанического происхождения и толщи раннемеловых терригенных пород континентального происхождения с горизонтами олистостромовых образований. Преобладают аркозовые породы, сформированные при доминирующем участии раннемезозойского гранитогенного кварц-полевошпатового материала эродируемого гранитно-метаморфического комплекса Сино-Корейской раннепротерозойской бор-полиметаллической металлогенической провинции [5]. Как результат, терригенные породы аномально обогащены, по данным [4], рудными элементами, включая свинец (31–158 ppm) и цинк (52–194 ppm).

По нашим данным, изототопно-геохимическая специфика аркозовых пород Таухинской призмы наследует Sm-Nd и Pb-изотопную характеристику синокорейских гранитно-метаморфических комплексов при доминирующих значениях εNd около -15,0 и верхнекоровых значениях свинцово-изотопных отношений в интервалах: $^{206}Pb/^{204}Pb$ 18,2899–18,3123; $^{207}Pb/^{204}Pb$ 15,6614–15,6554; $^{208}Pb/^{204}Pb$ 38,8126–38,9725.

2. В позднем мелу (93–65 млн лет) в обстановке субдукции плиты Изинаги был сформирован постаккреционный окраинно-континентальный Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс андского типа. Возникла гигантская (до 3,5 км мощностью) толща игнимбритов, туфов риолитового состава и одновозрастный комплекс гранитоидов *I*- и *S*-типа ольгинской серии. Sr-Nd-Hf изотопные характеристики гранитоидов указывают на их формирование в условиях парциального плавления базальтов литосферной мантии и верхнекорового мезозойского субстрата. Доля последнего достигает 40 % [7]. В металлогеническом отношении позднемеловой магматизм практически лишен рудной продуктивной составляющей. Как исключение, с гранитами субдукционного импульса магматизма связываются магнетитовые скарны и образование единственного Дальнегорского скарнового бессульфидного боросиликатного месторождения. Но, по нашим данным [6], эти скарны проявлены лишь как зона переотложения моских бороносных эвапоритов, ассоциированных с фрагментами триасовых океаничес- ких гайотов в составе раннемелового субдукционного меланжа.

В палеоцен-раннеэоценовое время вулкано-плутонические процессы реализуются в сменившем субдукцию режиме трансформного левостороннего проскальзывания континентальной и океанической плит.

В интервале 60–53 млн лет формировалась толща с абсолютным доминированием субщелочных вулканитов риолитового состава с субвулканическими аналогами в виде интрузий гранитов и гранит-порфиров [3]. Характерной особенностью субщелочных вулканических и интрузивных пород является преобладание магматитов *A*-типа. Рудообразование ограничено проявлениями флюоритовых руд.

В восточной части Сихотэ-Алиня, в границах сформированного пояса, в непосредственном предшествии танет-раннеэоценового субщелочного вулканизм (в узком интервале 60 ± 2 млн лет) возникают локальные центры с так называемым дальнегорским контрастным антидромным вулканизмом, при доминировании андезитов. По данным текущего U-Pb датирования, фиксируется одновозрастность проявления в центрах вулканизма базитового магматизма (интрузии габбро – 59,5 ± 1,1 млн лет; андезиты – 62,0 ± 1,9 млн лет), гранитоидов (60,45 ± 0,65) [1] и Pb-Zn скарнообразования. Характерной особенностью дальнегорского вулкано-плутони-

ческого комплекса является присутствие наряду с *I*-типами гранитоидов интрузий гранитов *A*-типа. Ориентируясь на значения εNd в интервале от -1,4 до -6,7, соотношение верхнекоровой и мантийной составляющих в формирующем рудоносные интрузии расплаве оценивается на уровне 50 : 50. Изотопный состав свинца полевых шпатов интрузивных образований фиксирован в интервалах указанных значений: $^{206}Pb/^{204}Pb$ 18,3862–18,4891; $^{207}Pb/^{204}Pb$ 15,6151–15,6296; $^{208}Pb/^{204}Pb$ 38,6614–38,7378 и близок характеристике пород верхнекорового геохимического резервуара и изотопному составу свинца галенита скарновых руд ($^{206}Pb/^{204}Pb$ 18,3701–18,3904; $^{207}Pb/^{204}Pb$ 15,6189–15,6292; $^{208}Pb/^{204}Pb$ 38,6471–38,6934).

3. Специфика условий локализации Pb-Zn скарновых месторождений определяется их связью с вулканическими постройками дальнегорской вулкано-плутонической ассоциации. Николаевское месторождение представляется как типовое.

Месторождение локализовано в позднемеловой вулканической кальдере, в прибортовой части которой в толще турон-кампанских вулканитов присутствуют гравитационно перемещенные фрагменты олистостромовой толщи в виде глыб глинисто-кремнистых пород, песчаников и известняков. Зона рудообразования сопряжена с жерловиной палеоценового вулкана – трубообразным телом габброидов, просекающим позднемеловые вулканиты с «плавающими» в туфах глыбами известняков. Морфологически рудные тела проявлены как зоны геденбергитовых скарнов с сульфидами, сформированные в виде плащеобразных залежей на контакте тел известняков и облекающих их позднемеловых вулканитов. Здесь же наблюдаются субмеридиональные жилообразные тела, где присутствуют гидротермально переработанные андезибазальтовые дайки с характерными признаками интрарудности. Выполненное U-Pb датирование по цирконам из дайки свидетельствует о синхронности вулканизма и рудообразования, указывая на среднепалеоценовый возраст скарновых руд – 59,0 ± 0,4 млн лет.

Список литературы:

1. Аленичева А. А., Сахно В. Г. U-Pb датирование экструзивно-интрузивных комплексов рудных районов южной части Сихотэ-Алинского-вулкано-плутонического пояса (Россия) // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 419, № 1. – С. 81–85.
2. Голозубов В. В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 239 с.
3. Гребенников А. В., Касаткин С. А., Федосеев Д. Г., Ханчук А. И. Среднепалеоцен-раннеэоценовый (60,5–53,0 млн лет) этап магматизма на юге Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. – 2020. – Т. 39, № 5. – С. 34–40.
4. Костин А. Я., Королев В. Н., Пеженина Л. А., Лосив В. Н., Голозубов В. В. Государственная геологическая карта масштаба 1 : 200 000. Второе издание. Лист L-53-XXXIV, XXXV (Дальнегорск). – СПб. : ВСЕГЕИ, 2006.
5. Раткин В. В., Гвоздев В. И., Карась О. А. Бор-полиметаллическая металлогения северной и северо-восточной части Сино-Корейского кратона // Тихоокеанская геология. – 2014. – Т. 33, № 5. – С. 66–76.
6. Ханчук А. И., Раткин В. В., Елисеева О. А. О природе скарново-боросиликатных месторождений гигантов Сихотэ-Алиня и Памира // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 498, № 1. – С. 32–37.
7. Jahn B. M., Valui G., Kruk N, Gonevchuk V., Usuki M., Wu J. T. J. Emplacement ages, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic characterization of Mesozoic to Early Cenozoic granitoids of the Sikhote-Alin Orogenic Belt, Russian Far East: Crustal growth and regional tectonic evolution // Journal of Asian Earth Sciences. – 2015. – № 111. – P. 872–918.

Рахматуллаев Ж. Ф., Бегалиев Н. С.
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

ПЕРСПЕКТИВЫ ОЛОВОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ УЗБЕКИСТАНА

В работе рассмотрены оловорудные формации Узбекистана. Предложена классификация оловорудных формаций, которая учитывает возможность образования моноформационного и полиформационного месторождений олова.

Ключевые слова: олово, формации, Узбекистан, месторождения, рудопроявления, классификация, закономерности размещения.

Оловорудные объекты Узбекистана, размещенные в узбекистанском сегменте Тянь-Шаньской складчатой системы, представляют научный и практический интерес. В Узбекистане известны более 100 рудопроявлений и 3 месторождения олова. Все они мелкие со сложной морфологией. Геолого-экономическая оценка объектов олова Узбекистана за последние 20 лет не проводилась. В связи с изменившимися условиями конъюнктуры мирового рынка олова реальные промышленные запасы и рентабельность отработки узбекистанских месторождений нуждаются в серьезной геологической и экономической оценке.

Мировые месторождения олова находятся в основном в Китае и Юго-Восточной Азии Индонезии, Малайзии и Таиланде. Также есть крупные месторождения в Южной Америке (Боливии, Перу, Бразилии) и Австралии. Из общего количества мировых запасов олова около 70 % заключено в россыпных месторождениях [4].

Месторождения олова Узбекистана являются коренными. Они обнаружены в 3-х сегментах Тянь-Шаньской складчатой системы: Северном, Южном, Срединном.

В. Н. Ушаков (1987) выделил две оловорудные формации: редкометалльно-оловянную и полиметалльно-оловянную с четырьмя промышленно-генетическими типами: касситерит-скарновым, касситерит-грейзеновым, силикатно-касситеритовым и сульфостаннатным.

Касситерит-скарновый тип представлен вольфрамоносными (Кызкурган, Чашмазар, Сиоб) или магнетитовыми (Чуянкан, Янгикан) скарнами и околоскарновыми породами, приуроченными к эндо-экзоконтакту гранитоидных интрузивов C_3–P_1 с карбонатными породами D_{1-2}–C_1. Морфологический тип пластовый и секущий прожилковый вдоль продольных и поперечных контакту зон повышенной трещиноватости. Промышленное значение – мелкие объекты.

Касситерит-кварцево-грейзеновый (кварц-касситеритовый) тип генетически связан с гранитоидным комплексом двуслюдяных и лейкократовых гранитов (P_1), который обладает отчетливой геохимической специализацией на олово. Объекты этого типа приурочены к апикальным выступам интрузивов кислых гранитоидов, частично захватывают и вмещающие их гранодиориты (Баркрак, Алтынтау, Чангалли, рудные точки в Каратюбинском интрузиве). Морфологически – это кварцевые жилы с зонами грейзенизации, развитые по системам поясов повышенной трещиноватости. Околорудные изменения – окварцевание, мусковитизация, альбитизация. Геохимическая ассоциация – олово, бериллий (с вольфрамом, медью и висмутом). Среди зарубежных аналогов известны средние объекты (Онон, Корнуэлл, Цинвальд) с богатыми рудами, а также крупные (Сарыджаз).

Силикатно-касситеритовый тип парагенетически связан с монцонитоидным комплексом даек пестрого состава P_2 (Ф. К. Диваев и др., 2022 г.). Морфологически представлен сложной ветвящейся системой кварц-турмалиновых жил и прожилков, а также метасоматических тел, приуроченных к сочленениям трещинных зон продольного и диагонального направления в различных по литологическому составу породах: гранитоидах (Карнаб, Аймаклы), сланцах (Семизкудук, Кармана), карбонатных породах (Сукайты, Лапас). Петрополя изменений: серицит-кварц-турмалиновые метасоматиты, карбонат-кварц-серицито-пиритовые березитоиды. Геохимическая ассоциация: олово со свинцом, медью, цинком, серебром, мышьяком, висмутом, вольфрамом, золотом.

Силикатно-касситеритовый тип является основным в добыче олова за рубежом. Средние и крупные объекты сосредоточены в основном в Малайзии и Боливии; на территории России это Эге-Хая (Якутия), Хапчеранга (Восточное Забайкалье), Тигриное (Дальний Восток).

В пределах Восточного Узбекистана силикатно-касситеритовый промышленно-генетический тип представлен слабоизученными жильно-штокверковыми проявлениями кварц-хлорит-

касситеритового минерального типа (Шаваз, Наугарзан) с полиметалльной (свинец, цинк, медь) геохимической специализацией.

Сульфостаннатный тип (P_2–T_1?) в качестве самостоятельного выделяется в Западном Узбекистане впервые. На месторождениях Кармана и Карнаб он относится к минеральному типу силикатно-касситеритовой формации в качестве продуктов поздних стадий рудообразования (Павловский, 1985 г.).

На месторождениях олова Карнаб, Лапас и Чангалли подсчитаны запасы по промышленным категориям (Отрощенко и др., 1982 г.).

Месторождение Карнаб относится силикатно-касситеритовому типу и находится в восточном окончании Зирабулак-Зиаэтдинских гор. Административно входит в Самаркандскую область. Карнабское рудное поле приурочено к юго-западному эндоконтакту интрузива биотитовых гранитов C_3–P_1, прорывающих ядро крупной антиклинальной складки, на крыльях которой обнажаются мраморизованные известняки девона и терригенные породы ордовика.

Нижняя часть разреза вмещающих пород представлена филлитовидными сланцами, кварцевыми алевролитами и песчаниками с прослоями гравелитов, кремнистых пород, глинистых известняков и туфов андезидацитов (алтыаульская свита $O_{2–3}$). Мощность более 500 м. Карбонатная толща, имеющая тектонические взаимоотношения с подстилающими породами, сложена двумя пачками. Нижняя (D_1) – существенно известняковая (мощностью 350–400 м) с редкими прослоями доломитовых известняков и доломитов. Верхняя пачка представлена углистыми, часто глинистыми известняками с линзами и желваками кремней.

Карнабский интрузив, вмещающий оруденение, представляет гранитоидный комплекс C_3–P_1. Контакты интрузива со складчатой структурой секущие.

Выводы. Перспективы минерально-сырьевой базы олова Узбекистана определяются следующими обстоятельствами.

Оловоносные месторождения и рудопроявления Зирабулак-Зиаэтдинского рудного района требуют надежного геолого-экономического обоснования для вовлечения в промышленное освоение. Предлагаются к детальному изучению две рудные зоны – Карнаб-Лапасская и Саппен-Кутчинская с развитием силикатно-касситеритового геолого-промышленнного типа. В пределах этих зон оконтурены и изучены на глубину рудные поля Карнаб, Семизкудук, Лапас, а также перспективные площади – Кармана, Кочкарли, Акмазар, Кошкудук, Турытау, Южный Карнаб, Аймахаль, Южный Тым. По своим индикаторным геолого-геохимическим характеристикам эти площади представляют рудные поля мелкого-среднего ранга, суммарные ресурсы которых дают возможность увеличить более чем в 2 раза их потенциальные минеральные ресурсы.

В Восточном и Южном Узбекистане известны рудопроявления с ограниченными перспективами. В то же время статистический металлогенический анализ баз данных результатов поисково-съемочных работ с ранее известными фрагментарными данными и в сопоставлении с крупными промышленными объектами в соседних странах (Кыргызстан, Таджикистан) позволяют наметить ряд потенциальных зон и площадей в Западном Узбекистане.

Сульфостаннатный тип олова в Узбекистане мало изучен, хотя на продолжении Зарафшано-Алайской зоны в Центральном Таджикистане в последние годы выявлены крупные объекты подобного типа – Мушистон и Казнок. Идентичные этим объектам минералого-геохимические ассоциации и точки минерализации с высокими параметрами (с содержанием до 1,0 % и выше) обнаружены на Захкудукской площади в Центальных Кызылкумах. Наличие кварц-турмалинового штокверка свидетельствует о полиформационном характере объекта и, возможно, высоких перспективах.

Список литературы:

1. Акбаров Х. А. [и др.] Геолого-структурные типы полиметаллических рудных полей и месторождений Средней Азии и некоторые вопросы их поисков и разведки. – Ташкент : Фан, 1975. – 200 с.
2. Королев В. А. Структурные типы рудных полей и месторождений Средней Азии. – М. : Недра, 1983. – 215 с.
3. Миркамалов Р. Х., Чирикин В. В., Диваев Ф. К. Геодинамические реконструкции орогенного пояса Западного Тянь-Шаня и прогнозирование эндогенных месторождений в породах фун-

дамента : методические рекомендации. – Ташкент : ГП «Институт минеральных ресурсов», 2019. – 162 с.
4. Рундквист Д. В. Критерии прогнозной оценки территрий на твердые полезные ископаемые. – Л. [СПБ.]: Недра, 1986. – 751 с.
5. Турапов М. К., Акбаров Х. А., Дулабова Н. Ю., Жанибеков Б. О., Умматов Н. Ф., Хамроев Ж. З. Геодинамическая обстановка формирования золотого оруденения Центральных Кызылкумов : научная конференция «Актуальные проблемы геологии, геофизики и металлогении». (5–6 мая 2015 г.). – Ташкент. – С. 54–56.
6. Усманов Ф. А., Марипова С. Т., Юлдашев О. А. Новые методы и компьютерные технологии для количественного прогнозирования рудных месторождений // Условия формирования, закономерности размещения и прогнозирование месторождений полезных ископаемых. – Ташкент : ТашГТУ, 2006. – С. 217–221.
7. Шихин Ю. С. Геологическое картирование и оценка рудоносности разрывных нарушений. – М. : Недра, 1991. – 227 с.
8. Razikov O. T., Akbarov Kh. A., Zhuraev M. N. Metallogy of the Zeravshano A lay Belt (South Tianshan) // fSSN (Online): 2689-0992 The American Journal if applied Sciences December 27, 2020 Impact Factor 2020:5.276. – P. 44–49.

Рахмонова Н. Б.
ГУ «ИМР», г. Ташкент

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАУЛЬДЫ

В статье приведены геолого-структурные позиции, закономерности размещения золотого оруденения, морфо-структурная характеристика рудных тел, основные рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры месторождения Каульды.

Ключевые слова: рудоносная зона, позиция, разрывные нарушения, секущий, морфоструктурная, гидрослюда, метасоматиты.

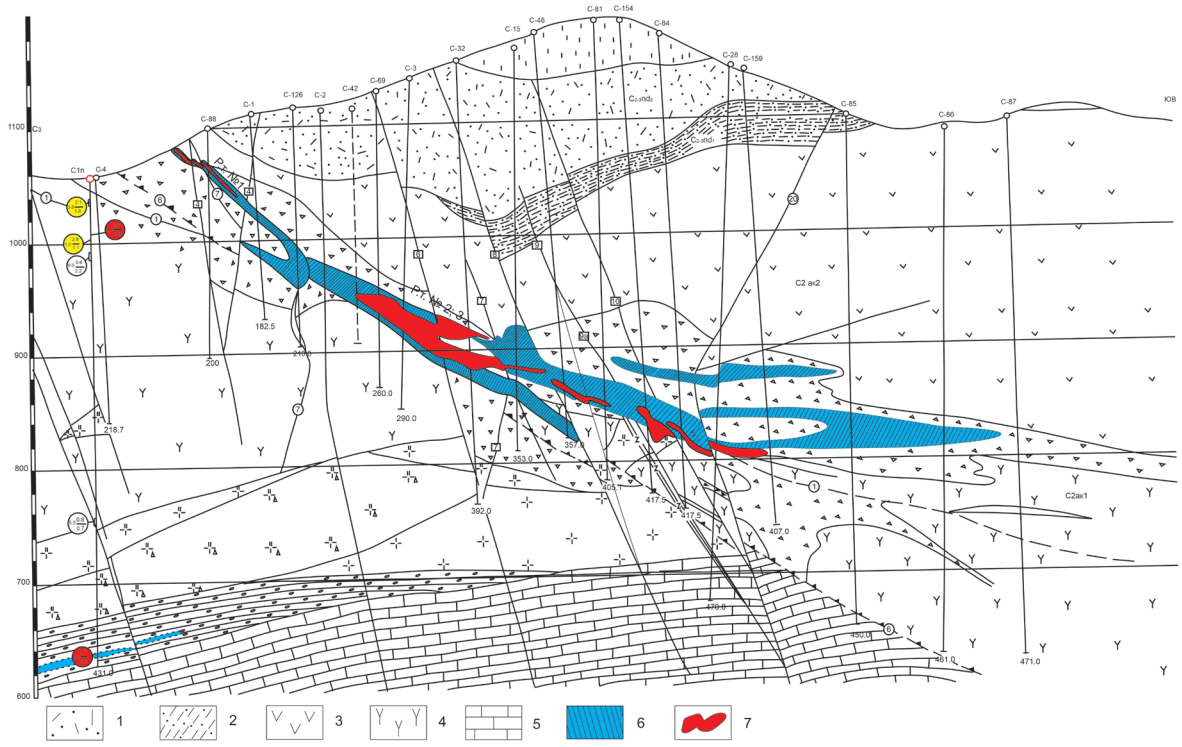
Для научного обоснования методики и направления разведочных работ необходимо знать условия формирования и закономерности пространственного размещения полезных ископаемых в структурах земной коры. Совокупность этих знаний представляет собой геологические основы разведки месторождений полезных ископаемых. Без знания структур рудных полей и связей полезных ископаемых с элементами строения минерализованных участков недр нельзя создать геологическую основу для научного направления геологоразведочных работ, обеспечить максимальную вероятность обнаружения новых промышленных скоплений и их правильную оценку [1].

Месторождение Каульды расположено в Центральном тектоническом блоке Алмалыкского рудного района, ограниченном с севера Бургундинским, а с юга Мисканским разломами первого порядка. Эти разломы сопровождаются многочисленными системами оперяющих мелких разломов и трещин. Данные разрывные нарушения относятся к герцинскому циклу послеладакской фазы складчатости. Впоследствии эти разломы приобрели взбросо-надвиговый характер [3].

Морфологически рудные тела представляют собой пластообразные и линзообразные пологопадающие залежи, протяженность которых по простиранию и падению достигает нескольких сотен метров, а мощность – до нескольких десятков метров с раздувами и пережимами (рис.).

Крутопадающие тела являются как бы ответвлениями от пологопадающих и имеют значительно меньшие параметры.

В Каульдинском рудном поле выявлены месторождения, рудопроявления и минерализованные точки трех основных формаций: 1) кварцево-золоторудной, 2) колчеданно-полиметаллической, 3) медно-порфировой.



Геологический разрез по линии 14 участка Центральный:
1 – кристаллокластическое лавы, туфолавы, кластолавы и туфы дацит-порфиров; 2 – переслаивание туфов, песчаников, алевролитов; 3 – лавы, лавобрекчии, кластолавы и туфы биотит-рогово-обманковых и роговообманковых андезидацитовых порфиритов; 4 – лавы, лавобрекчии, кластолавы, туфы и туфоконгломераты андезитовых, андезито-базальтовых порфиритов; 5 – известняки; 6 – гидрослюдисто-кварцевые метасоматиты; 7 – контуры рудных тел

Для всех месторождений Каульдинского рудного поля характерно преобладание пологозалегающих или субгоризонтальных рудных тел и минерализованных зон. Это является одной из особенностей рудоносности Каульдинского рудного поля, обусловленной, с одной стороны, многоярусным строением рудного поля и с другой – предрудной структурной подготовкой пологопадающих субгоризонтальных тектонических зон, благоприятных для локализации рудных тел.

Рудные тела приурочены к слабовыпуклым частям пологих перегибов Главной рудоносной зоны. Углы падения не превышают 20°. Одно тело, условно названное Секущее, имеет падение от 30° до 90° и приурочено к резкому локальному перегибу рудоносной зоны [3].

Установлены следующие факторы, определяющие основные закономерности размещения золотого оруденения месторождения Каульды:

- по геотектонической позиции для размещения оруденения месторождения Каульды определяющее значение имеют глубинные разломы более высокого порядка;
- по структурной позиции размещение месторождения в глубинной структуре определяется его приуроченностью к приосевым областям линейной морфоструктурной формы I порядка; по отношению к складчатости нижнегерцинский структурного яруса месторождение приурочено к субмеридиональной синклинальной складке I порядка.

Для месторождения установлены две основные структурно-стратиграфические позиции – внутриформационная и межформационная.

Во внутриформационной позиции золотое оруденение размещено на стратиграфическом уровне нижнеакчинской подсвиты, перекрытой на время рудообразования вулканогенной толщей среднеакчинской и, возможно, верхнеакчинской подсвит с минимальной мощностью около 200–250 м. Представляется возможным выход вулканитов нижнеакчинской подсвиты на дневную поверхность.

Основными структурами и геологическими поверхностями, контролирующими размещение рудных тел месторождения Каульды в качестве рудораспределяющего структурного фак-

тора, являются вулкано-тектонические структуры I порядка и межформационная тектоническая поверхность контакта нижне- и верхнегерцинского структурных ярусов.

Золотое оруденение на месторождении Каульды локализуется главным образом в пределах зон кварцево-гидрослюдистых метасоматитов. Наличие мощных зон кварцево-гидрослюдистых метасоматитов является прямым поисковым признаком на обнаружение золоторудных тел надвигового типа.

По типу минерализации месторождение Каульды можно отнести к золотокварцевой малосульфидной формации (содержание сульфидов менее 4 %). Главными минералами руд являются кварц, карбонат, гидрослюда, пирит. Большинство рудных тел достаточно однотипны и представлены кварцем (табл.).

Минеральный состав большинства рудных тел достаточно однотипен и представлен кварцем, часто с брекчиевидной текстурой, кварц-гидрослюдистыми метасоматитами с тонкодисперсным высокопробным самородным золотом.

При соприкосновении на глубине плоскости Главной зоны с карбонатными породами, подстилающими вулканиты, формируются контактовые рудные тела (участок Южный). Вертикальный размах оруденения превышает 300 м.

Минеральный состав руд

№	Минералы	Участки		
		Центральный, в %	Южный, в %	Южный II, в %
1	Кварц	45–90 / 60,5	40–90 / 66,5	17–88,0 / 35,6
2	Карбонаты (кальцит, доломит)	5–50,0 / 14,0	3,0–34,0 / 12,5	3,0–26,0 / 11,2
3	Гидрослюды (серицит, хлорит)	2,5–35,0 / 20,0	3,0–46,0 / 18,7	11,0–69,0 / 42,8
4	Пирит	1–4 / 2,5	0,3–7,8 / 2,1	1,2–14,8 / 8,5

Примечание. В числителе – пределы колебания содержаний, в знаменателе – среднее значение. Содержания приведены по данным минералогических исследований и химических анализов групповых проб

Процесс рудообразования на месторождении Каульды протекал в течение одной золоторудной стадии при температурах 136–380 °С, в результате которой сформировались две парагенетические ассоциации: кварц-халцедон-пирит-золоторудная и карбонат-полисульфидная. Послерудные минеральные ассоциации формировались при температурах 120–220 °С.

Решающая роль в размещении золотого оруденения принадлежит структурному фактору, в частности наличию пологих разломов взбросовой и надвиговой кинематики, контролирующих внедрение эруптивных и эксплозивных брекчий и развитие тектонически ослабленных гидротермально измененных зон с метасоматитами [2].

Для участков Центральный и Промежуточный основной рудораспределяющей структурой является структура Шестой рудоносной зоны, для участка Южный – субмеридиональная пологопадающая на восток Каульдинская вулкано-тектоническая структура. Указанными структурами контролируется сложная по строению Главная рудоносная зона.

Для всех участков характерны рудные тела, близкие по составу, форме, размерам. Все они приурочены к единой структуре и образованы, видимо, в едином рудном процессе. Всего в пределах месторождения Каульды к настоящему времени установлены пятнадцать золоторудных тел, из которых двенадцать представляют собой практический интерес.

Установлены закономерности размещения золотого оруденения: приуроченность к кварцево-гидрослюдистым метасоматитам, морфология рудных тел и наиболее благоприятные для локализации рудных тел участки структуры с углами падения 10–40°. В связи с этим рекомендуется использовать закономерности, установленные при изучении структур надвигового типа, для повышения эффективности оценочных работ на месторождении.

Список литературы:
1. Каждан А. Б. Разведка месторождений полезных ископаемых. – М. : Недра, 1977. – 326 с.
2. Миркамалов Р. Х., Голованов И. М. [и др.]. Атлас моделей рудных месторождений Узбекистана. – Ташкент : ГП «НИИМР», 2010. – 100 с.
3. Рудные месторождения Узбекистана // под ред. И. М. Голованова – Ташкент : ГИДРОИНГЕО, 2001. – 611 с.

Саблуков С. М.
ООО ИНПК «РУСГЕО», г. Москва

ПРАВИЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ («МЕЛАЛЕЙЦИТИТЫ» Р. СУХОНЫ, «КИМБЕРЛИТЫ» ТРУБКИ KL-01 И ДРУГИЕ «НЕОБЫЧНЫЕ» ОБЪЕКТЫ)

Приводятся результаты новой диагностики открытых ранее вулканических пород, которые необходимо учитывать для повышения эффективности поисковых работ в Архангельской области. Описанные в литературе тела «олигоценовых лав андезито-базальтов с самородным железом» и «раннемезозойских мелалейцититов» являются современными образованиями техногенного происхождения (артефактами). Трубка KL-01 Козольской площади Зимнего берега образована ксенотуфобрекчиями базальтов, а не «кимберлитов».

Ключевые слова: Архангельская область, олигоценовые лавы, мелалейцититы, кимберлиты, артефакты.

40 лет назад (1982–1985 гг.) головной организацией МинГео СССР по алмазам – институтом ЦНИГРИ – была проведена масштабная комплексная работа по изучению и оценке перспектив алмазоносности Восточно-Европейской (Русской) платформы (Прокопчук Б. И. и др., 1985). Конец 70-х–начало 80-х гг. XX века – время главных открытий в алмазной геологии Европейской территории СССР, это кимберлиты и родственные породы Среднего Тимана (1977), Приазовья (1978), Зимнего берега (1980), Терского берега Кольского полуострова (1983), Белоруссии (1985), новые трубки Онежского полуострова, выделение Устьянского потенциально-алмазоносного района (1984). С той поры подобных масштабных прогнозных работ на этой территории не проводилось. В настоящее время поисковые работы на уже известных перспективных площадях более 20 лет (после случайного открытия трубки Северная рядом с трубкой им. В. Гриба) не приводят к положительным результатам. Поэтому возникла необходимость на новом уровне знания геологической ситуации оценить перспективы уже известных кимберлитовых районов и новых потенциально алмазоносных площадей. Наиболее реально провести такую работу на территории Архангельской области, где объем нового геологического материала и перспективы алмазоносности максимальны. При этом необходимо учитывать, что в нынешних условиях проведения геолого-поисковых и исследовательских работ частными компаниями отсутствует возможность внешнего контроля за достоверностью публикуемых в открытом доступе геологических материалов таких компаний. Возникает вопрос: можно ли брать на веру геологическую информацию из публикаций в открытой печати и устных сообщений отдельных компаний? Ведь неправильная диагностика открываемых вулканических пород может увести поисковые работы в ложном направлении – в тупик. Однако безоговорочная вера «печатному слову» (особенно слову известных авторов) приводит к тому, что некоторые геологи до сих пор используют для прогнозных построений непроверенные или ошибочные, но опубликованные и не опровергнутые самими авторами данные. Здесь приводятся результаты новой, достоверной диагностики некоторых открытых ранее вулканических пород, что необходимо учитывать при правильном планировании направлений поисков и на Зимнем береге, и в Архангельской области в целом.

1. Выявление «олигоценовых лав андезито-базальтов с самородным железом» в Плесецком районе Архангельской области [2] предвещало открытие новой перспективной эпохи магматизма на Севере Русской платформы, однако эти лавы оказались артефактом – результатом «прижога» бурового снаряда при бурении в отсутствие подачи на забой скважины бурового раствора.

2. Несмотря на все старания многочисленных поисковых компаний, магматические породы мезозойского или постмезозойского возраста (любого состава) на Севере Русской платформы обнаружены не были, поэтому появившиеся публикации о «первой находке раннемезозойских щелочных ультраосновных магматических пород» в Вологодской области, в среднем течении р. Сухона [3, 4] рядом с «брекчиями Илезы» и Устьянской перспективной структурой не могли не привлечь внимание геологов.

Визуальное изучение нами в 2009 г. этого «тела мелалейцититов» в коренном залегании, а также изучение образцов и шлифов показало, что признаки строения и состава пород совершенно необычны для природных магматических пород и, напротив, типичны для образований типа современных металлургических расплавов и шлаков, быстро застывающих на открытом воздухе (рис. 1). Определённый K-Ar методом абсолютный возраст образования изученных пород р. Сухона (8,6 ± 0,5 млн лет) с учётом вероятного воздействия материала верхнепермских пород можно считать четвертичным, современным. К сожалению, «раннемезозойские магматические породы» оказались на этот раз артефактом.

3. В 2016 г. компанией ООО «Проэкс Сервис» (генеральный директор В. С. Щукин) на Козольской площади Зимнего берега при заверке магнитной аномалии была открыта новая вулка-

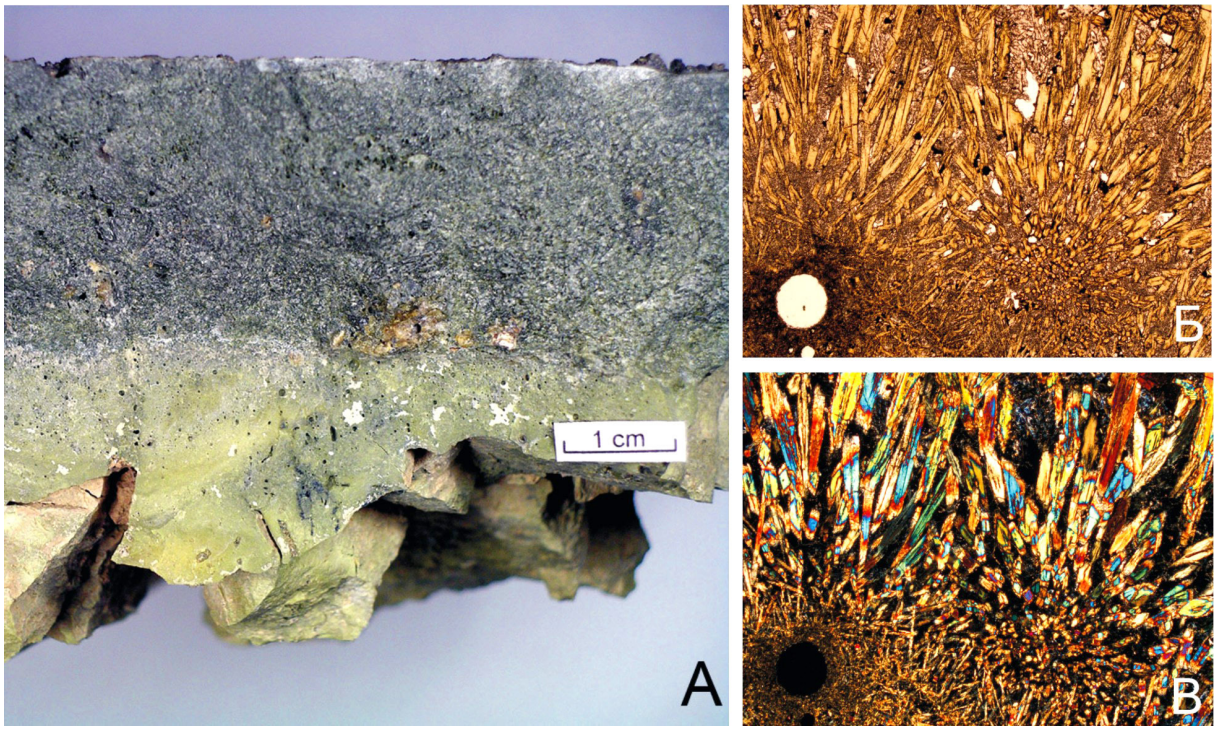


Рис. 1. «Мелалейцититы» р. Сухона:
А – общий вид вертикального скола природно препарированного образца «пласта»; Б, В, – детали строения верхней части «тела» в проходящем свете, Ув. 20^{x}: Б – николи II, В – николи +

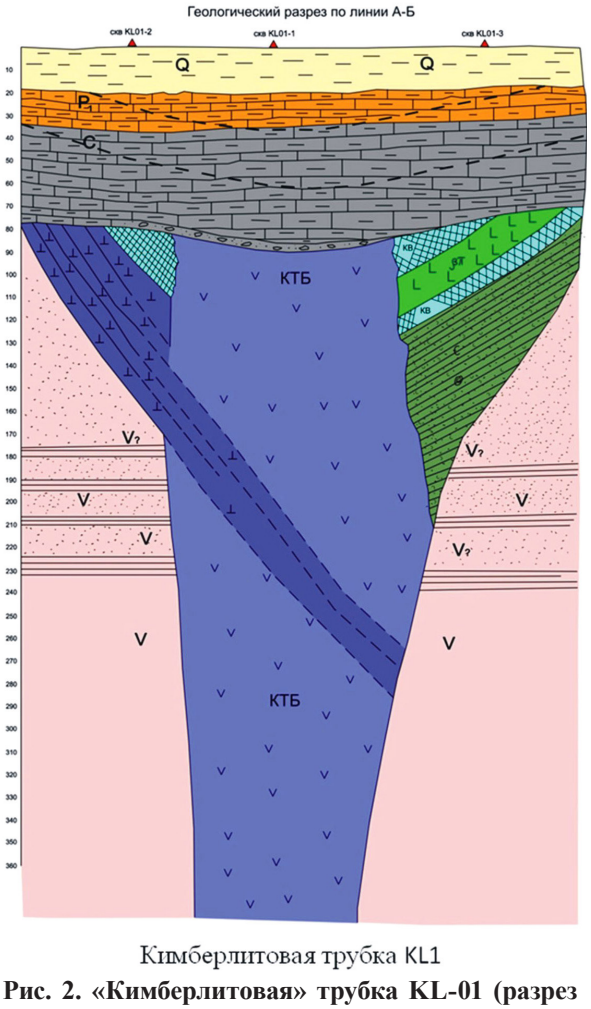
ническая трубка KL-01, выполненная «ксенотуфобрекчиями» и/или «туфопесчаниками». За семь лет детального изучения сотрудниками Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН ни петрографический, ни химический, ни микроэлементный состав магматического материала пород этой трубки определен не был, хотя именно эти показатели являются основанием для определения типа (диагностики) магматической породы, а фрагменты магматического материала в породах трубки имеют размеры до 7 и даже до 11 см, что вполне достаточно для выполнения любого вида анализа. На основании обнаружения в пробах туфопесча-

ника весом 200 кг 55 зерен минералов-индикаторов кимберлита класса крупности -1+0,5 мм, а также на основании разработки геохимической модели смешения разных компонентов (на 27 страницах!) и с помощью финансовой поддержки двух грантов РНФ (№ 17-77-10008 и № 20-77-100018) делается вывод о кимберлитовой природе трубки KL-01, в чём-то даже схожей с трубкой им. В. Гриба [1, 6, 7].

На самом деле это не так. Трубка KL-01 образована ксенотуфобрекчиями базальтов. Поскольку каменный материал трубки KL-01 не передается для изучения никому, кроме авторов статей, которые по какой-то причине не проводят прямую диагностику магматического материала пород трубки, приходится использовать косвенные признаки и методы диагностики этих пород, что совершенно необходимо для корректного определения направлений поисковых работ в районе.

Признак первый (косвенный). Трубка KL-01 приурочена к субмеридиональной системе разломов, к которой также приурочены шесть базальтовых трубок Турьинского куста (с севера на юг: трубки Ан-720, Ан-710, Ан-707, Ан-704, Ан-722, Ан-721). Трубок другого состава в этой зоне разломов нет, и для Зимнебережного района в целом не характерна приуроченность трубок принципиально разного состава к единой зоне разломов.

Признак второй (полукосвенный). На разрезе трубки KL-01 (рис. 2) в верхней части справа авторами показано, что трубка прорывает силл (?) базальтов. Никаких характеристик этих базальтов авторы не приводят. На Зимнем береге пока не были известны случаи совмещения в пространстве тел базальтов с кимберлитами, мелилититами или пикритами. А совмещение в едином комплексе трубки ксенотуфобрекчий базальтов и силла базальтов известны, и как раз в зоне именно этого разлома на трубке Ан-722. На этом же разрезе есть ещё одно интересное тело тёмно-фиолетового цвета (слева), которое одновременно и пересекает трубку, и пересекается трубкой. Но эти чудеса уже для совсем другой истории.



Кимберлитовая трубка KL1

Рис. 2. «Кимберлитовая» трубка KL-01 (разрез по данным Щукин и др., 2017)

Признак третий (прямой). В 2017 г. мне всё-таки удалось подержать в руках образец ксенотуфопесчаника трубки KL-01 и даже посмотреть на него в лупу (с разрешения В. С. Щукина), что можно считать в первом приближении (за неимением другого) петрографическим анализом породы. Бросилась в глаза витрокластическая структура породы (с отчётливым миндалекаменным строением витрокластов) при отсутствии кристаллокластов – признак, характерный только для пород базальтовых трубок Зимнего берега.

Все три упомянутые выше признака свидетельствуют о том, что трубка KL-01 образована ксенотуфобрекчиями базальтов и не имеет отношения к кимберлитам. Что касается обнаруженных минералов-индикаторов кимберлитов, то ранее в базальтах Зимнего берега были описаны в отчётах и статьях не только пиропы, но даже и алмазы. Неизбежные технологические издержки геологического производства.

На разработанной нами в 1990 г. схеме петрологической зональности магматизма Зимнего берега трубка KL-01 расположена в области развития базальтов, что ещё раз подтверждает, что эта схема петрологической зональности – объективная реальность.

4. В 1999 г. компания ООО «Терра» вскрыла на Товской площади Зимнего берега и разбурила несколькими скважинами «силлы девонских кимберлитов». Подтверждение визуальной диагностики этих пород не проводилось, наше предложение изучить эти породы было отклонено руководством ООО «Терра». В 2000 г. ЗАО «Архангельские алмазы» (В. С. Щукин) вскрыло аналогичные породы на соседней Летнеозёрской площади. Детальное изучение нами строения, вещественного состава и возраста этих пород показало, что они представляют собой новый для Зимнего берега тип магматизма – субаэральные и субаквальные покровы лав и туфов известково-щелочных лампрофиров (типа минетт) поздневендского возраста (570 млн лет) и не имеют отношения к кимберлитам [5]. При этом ООО «Терра» передало эти «силлы девонских кимберлитов» как своё достижение (может быть, даже как активы) компании «АЛРОСА», что вряд ли повысило результативность поисковых работ.

5. В 80-е гг. XX века бурением было открыто тело грубообломочных брекчий на Илезской площади – практически на границе Архангельской и Вологодской областей (в Южной части Устьянского перспективного района). По устным сообщениям исследователей, в этих брекчиях были обнаружены хромшпинелиды и даже алмаз. Однако характер и тип магматической составляющей этих брекчий диагностирован не был, не было подтверждено и само присутствие в брекчиях магматического материала, и до сих пор эти брекчии остаются «белым пятном» на карте прогноза алмазоносности Архангельской области. Этот объект, несомненно, требует проведения достоверной диагностики.

Приведённые результаты новой диагностики открытых ранее вулканических пород необходимо учитывать для повышения эффективности поисковых работ в регионе.

Список литературы:

1. Агашева Е. В., Агашев А. М., Щукин В. С. Принципы определения типа магматического материала в песчаниках кратерной части трубок взрыва Архангельской алмазоносной провинции // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов X Международной научно-практической конференции (13–16 апреля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 2–4.
2. Данилов М. А., Юшкин Н. П. Первая находка олигоценовой лавы с самородным железом на севере русской платформы // Доклады Академии наук СССР. – 1979. – Т. 249, № 6.
3. Масайтис В. Л., Труфанов А. И. Мелалейцититы с берегов реки Сухона (Северо-восток Московской синеклизы) // Региональная геология и металлогения. – 2008. – № 36. – С. 49–60.
4. Труфанов А. И., Масайтис В. Л. Первая находка раннемезозойских щелочных ультраосновных магматических пород на севере Русской плиты // Региональная геология и металлогения. – 2007. – № 30–31. – С. 57–61.
5. Щукин В. С., Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Белоусова Е. А., Гриффин В. Л. Поздневендский аэральный щелочной вулканизм рифтогенного типа в Зимнебережном кимберлитовом районе (Архангельская Алмазоносная Провинция) // Глубинный магматизм, магматические источники и проблемы плюмов. Труды международного совещания. – Иркутск : ИрГТУ, 2002. – С. 151–165.
6. Щукина Е. В., Щукин В. С. Аномалия KL01 – новая кимберлитовая трубка в Архангельской алмазоносной провинции? // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). – Мирный, 2018. – С. 403–405.
7. Agasheva E. V. Magmatic Material in Sandstone Shows Prospects for New Diamond Deposits within the Northern East European Platform // Minerals. – 2021. – № 11 (4). – P. 339. – URL: https: // doi.org/10.3390/min11040339.

Саблуков С. М., Саблукова Л. И.
ООО ИНПК «РУСГЕО», г. Москва

К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПАХ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Комплексное изучение всех магматических проявлений Зимнебережного кимберлитового района (100 тел) позволило выявить закономерную петрологическую зональность района с центральным типом симметрии расположения вулканитов разного состава и степени алмазоносности. Эти особенности можно использовать для выделения наиболее перспективных поисковых участков. Из других районов Архангельской области наиболее интересен Устьянский алмазоносный район, который характеризуется совмещением в пространстве всех благоприятных предпосылок и признаков, в том числе установленной алмазоносностью четвертичных отложений. Для скорейшего обнаружения месторождений необходимо объединение интеллектуальных и информационных ресурсов отдельных недропользователей.

Ключевые слова: кимберлиты, алмазы, петрологическая зональность, Зимний берег, Устьянский район.

Со времени открытия в 1996 г. месторождения им. В. Гриба прошло 27 лет. За это время разными геологическими организациями на территории Зимнего берега было открыто около 20 магматических объектов разного состава, однако алмазоносных тел среди них не выявлено. Такая же нерадостная ситуация сложилась и на территории Архангельской области в целом. Применение стандартных прогнозных и поисковых методов на выделяемых перспективных участках положительных результатов уже не дает, поскольку геологическая ситуация на этих участках крайне сложная и неоднозначная. Для выхода из сложившегося поискового тупика необходимо комплексное использование всех доступных прямых и косвенных принципов прогноза и методики поисков, в том числе петрологических.

Сотрудники ООО ИНПК «РУСГЕО» работают на поисках, разведке и изучении коренных и россыпных месторождений алмаза с 1978 г. (в том числе на Зимнем береге – с 1982 г., с первой трубки Поморская). Детальное изучение всех или наиболее значимых девонских магматических объектов четырех районов Севера Русской платформы (Средний Тиман, Онежский полуостров, Терский берег Кольского полуострова, Зимний берег) позволило выявить элементы закономерной петрологической зональности расположения разных типов магматических пород, как на уровне каждого кимберлитового района, так и на уровне Беломорского региона в целом [3]. Наиболее детально система магматизма и схема петрологической зональности разработана для Зимнебережного района, в котором нами детально изучены ВСЕ магматические объекты (около 100 тел). В центральной части этого района развит гетерогенный «эклогит-перидотитовый» мантийный субстрат, а по периферии района – гомогенный «дунитовый» субстрат. В соответствии с этим в центральной части района расположены обогащенные танталом кимберлитовые породы Fe-Ti-серии, а по периферии – кимберлитовые породы Al-серии и базальты (только на востоке) (рис. 1). Аналогичная зональность отмечается и для Nd-Sr изотопных характеристик кимберлитовых пород района. Эта схема петрологической зональности района была построена в 1990 г., все найденные с тех пор магматические тела на Зимнем береге точно вписались в эту схему, т. е. «практика» подтвердила существование этой схемы как «объективной реальности». Более того, отрисованная по содержанию тантала в породах центральная часть района почти точно совпадает с контуром Зимнебережного района, выделенным по геофизическим данным [1]. Наибольшее количество кимберлитовых тел открыто в центральной части района, однако активное метасоматическое воздействие астеносферного диапира на породы литосферной мантии привело, вероятно, к значительному растворению алмазов, поэтому кимберлиты в этой части района в лучшем случае слабоалмазоносны. Оба месторождения алмазов района (им. М. Ломоносова и им. В. Гриба) расположены по сути в зоне контакта области астеносферного диапира и литосферной мантии. Эти выявленные закономерности расположения вулканических тел должны использоваться (и уже используются) при оценке перспектив разных площадей района. К сожалению, в кимберлитовых районах Якутии

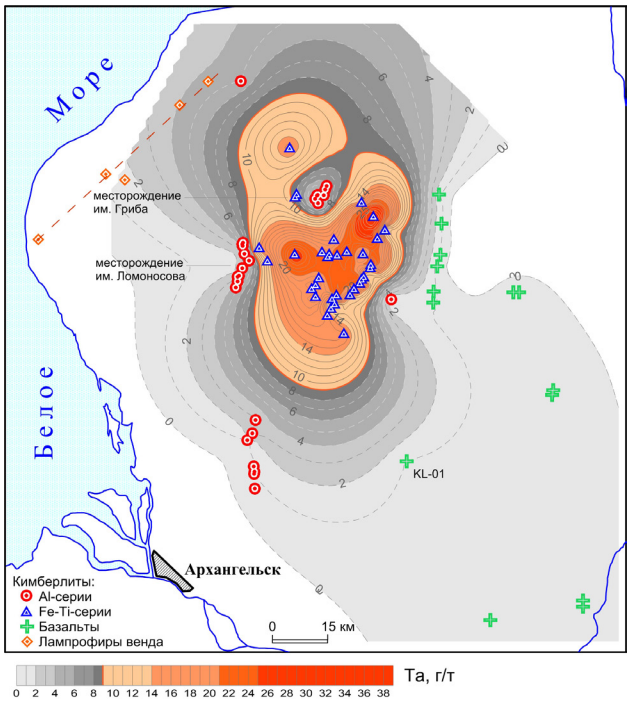


Рис. 1. Схема петрологической зональности Зимнебережного кимберлитового района. Оранжевый цвет – гетерогенный мантийный субстрат, серый цвет разных тонов – гомогенный субстрат. Изолиниями показано содержание тантала (г/т) в автолитах трубок и силлах

причины резко различной алмазоносности разных трубок одного района не известны и не изучались, поэтому выявление любого кимберлитового объекта при поисковом бурении «по сетке» является для них достижением, а на Зимнем береге в центральной, наиболее насыщенной трубками и силлами части района, поисковые работы прекращены. Да, такая закономерность на Зимнем береге на имеющихся материалах выявлена, а вдруг могут быть исключения? Ведь Природа не читает наших статей. Петрологические предпосылки должны использоваться в прогнозных построениях разного масштаба наряду с геофизическими, тектоническими, минералогическими и др.

Подход к выделению перспективных площадей в Зимнебережном алмазоносном районе и других районах Архангельской области существенно различается.

На Зимнем береге наиболее благоприятные результаты поисков ожидаются на флангах действующих горнодобывающих предприятий.

В обрамлении месторождения им. В. Гриба на это указывает широкое развитие минералов-спутников алмаза (прежде всего пикроильменита) в перекрывающих отложениях карбона. Однако сложная история формирования отложений карбона требует проведения работ по восстановлению направления перемещения обломочного материала в палеозое как на уровне района в целом, так и на участках детализации конкретных шлиховых ореолов. Кроме того, интерес представляют участки, расположенные не только вдоль северо-северо-восточного разлома по линии трубка им. Гриба–трубка Северная, но и участки вдоль возможных других субпараллельных ему разломов, особенно в зоне северного борта Падунского грабена (так, в разных, параллельных, разломных зонах расположены трубки Мир и Интернациональная в Мало-Ботуобинском районе Якутии).

Область месторождения им. М. Ломоносова также нельзя считать полностью опоискованной по следующим причинам:

1) Бурение по сетке на безрудность проводилось в самом начале поисковых работ и не колонковым способом, а станком с гидроподъемом керна в виде шлама и дресвы, и если скважина, пробуренная специально на трубке Поморская, действительно позволяла правильно диагностировать поднятую дресву, то отличие поднятой дресвы песчаников венда от дресвы песчаников кратерной части трубок (в то время совершенно не изученных) могло быть и не замечено;

2) В 1984 г. в южной части месторождения заверку бурением аномалий проводили сотрудники Экспедиции № 17 ПГО «Невское», которые раньше имели дело только с изучением кристаллических пород. Неточную диагностику пород кратерных частей трубки как пород венда в этот период исключить нельзя (вспомним историю открытия даже трубки им. Гриба в 1996 г.);

3) В 1982 г. на трубке Поморская в керне перекрывающих пород урзугской скиты нами было обнаружено включение с примазками песчаника. Это включение – катаклазированный гранатовый клинопироксенит мозаично-порфиробластовой структуры с гранатом, типичным для алмазоносных эклогитов группы В, и с необычным клинопироксеном (магнезиальным пижонитом). Судя по составу минералов, порода включения образовалась при очень высоком давлении и температуре. Ничего подобного этому включению не было найдено не только в трубке Поморская, но и ни в какой другой трубке Зимнего берега. Источник попадания этого включе-



Рис. 2. Алмазы из четвертичных отложений Устьянского алмазоносного района:
цифрами показан объём проб, из которых извлечены алмазы

ния в породы урзугской свиты неизвестен, но, несомненно, может представлять поисковый интерес.

Среди других территорий Зимнего берега особый интерес представляют площади, расположенные по периферии (обрамлению) области развития кимберлитовых пород Fe-Ti-серии. Особенно это касается площадей к северу и югу от трубок Золотицкого куста. В трубках этого куста к северному и южному краю в 2–3 раза увеличивается содержание тантала, а в перекрывающих отложениях карбона зафиксированы аномальные содержания крупных зёрен пикроильменита. Интересна также Светлинская площадь (с реками Светлая, Пачуга, Стуган).

На других территориях Архангельской области можно выделить по степени достоверности перспектив два типа площадей:

1) Площади с широким кругом проведенных подготовительных и поисковых работ и с весьма обнадеживающими полученными результатами. Это Устьянский алмазоносный район, который характеризуется совмещением в пространстве всех благоприятных предпосылок и признаков, в том числе установленной алмазоносностью – повторяющимися находками в пробах малого объёма из четвертичных отложений крупных ювелирных кристаллов алмаза, что характерно только для высокоалмазоносных районов Якутии (рис. 2) [2]. Для проведения поисков в Устьянском районе подготовлены наиболее интересные участки площадью от 300 до 2000 км^2;

2) Площади с невнятными, неочевидными пока результатами поисковых работ, требующие предварительной прогнозной подготовки, но теоретически имеющие перспективы выявления месторождений. Это, прежде всего, западная часть Онежского полуострова и зона «Карбонового уступа».

К сожалению, в настоящее время нет возможности проведения прогнозно-поисковых работ в направлении «от общего к частному» (как было во время СССР), каждый недропользователь (любого масштаба) работает совершенно отдельно, каждый за себя на своем клочке земли и не делится полученной геологической информацией с другими компаниями, что не позволяет проводить полноценные прогнозно-поисковые работы. Если руководство Архангельской области заинтересовано в открытии новых месторождений алмаза, необходимо не в рамках страны (как было раньше), но хотя бы в рамках области объединить информационные базы и усилия всех недропользователей и научных организаций в разработке направлений и методики прогнозно-поисковых работ и в выделении перспективных площадей, под гарантии недопущения финансового или репутационного ущерба для раскрывших «свою» геологическую информацию частных компаний. Для этого необходимо:

1) Создать межведомственную группу или совет из наиболее заинтересованных и опытных бизнесменов, геологов и исследователей для выработки программы прогнозно-поисковых работ на алмазы по области в целом и по отдельным участкам детальных робот, с вовлечением в обработку необходимой для этого информации отдельных компаний и с привлечением для консультаций на добровольной основе первооткрывателей месторождений алмазов;

2) Объединить имеющиеся разрозненные базы геологических, геофизических и минералогических данных для выделения наиболее перспективных площадей разного ранга, для разработки палеогеографических карт на разные эпохи с определением общего направления перемещения обломочного материала и по району в целом, и на участках детализации конкретных шлиховых ореолов;

3) Оценить возможности комплексного применения разных, самых современных, методов прогноза и поисков: геофизических, геоморфологических, морфометрических и др. (включая

применения БПЛА и иностранных методик геофизических съёмок), а также методов интерпретации полученных результатов.

4) Решиться, наконец, на проведение поискового бурения «по сетке» (с обязательным применением шлихо-минералогических методов) на наиболее перспективных и локализованных площадях (в Якутии такой метод поисков с успехом применяется уже многие десятки лет).

Только общими объединенными усилиями можно в кратчайшие сроки добиться максимально объективного и достоверного обоснования выделения перспективных участков и конкретных путей выявления на них месторождений алмазов.

Список литературы:

1. Прусакова Н. А. Принципы выделения участков ранга «куста» кимберлитовых тел в Зимнебережном поле на основе структурно-геофизического районирования // Региональная геология и металлогения. – 2005. – № 26. – С. 179–184.
2. Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Белов А. В., Ермаков Н. С., Лешуков С. И. Признаки плюмовой магматической активности в средней части Русской платформы (Устьянский алмазоносный район) // Глубинный магматизм, его источники и плюмы. Труды XV международного семинара. – Изд-во Института геохимии СО РАН, 2019. – С. 61–95.
3. Саблукова Л. И., Саблуков С. М. Реконструкция строения мантийного субстрата Зимнебережного алмазоносного района по особенностям мантийных ксенолитов и вещественному составу вулканических пород // Региональная геология и металлогения. – 2005. – № 26. – С. 94–102.

Савельев Д. А., Айтпаева Д. Б.
НИТУ «МИСиС», г. Москва

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПЛИЦИТНОГО МЕТОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Тенденция на развитие горно-геологических информационных систем позволяет отойти от традиционных методов, преобладающих в данный момент при моделировании месторождений полезных ископаемых. Появление и развитие условного (имплицитного) моделирования дает возможность сделать выбор в пользу ускорения процесса создания каркасных моделей, но в то же время из-за недостаточной изученности данного метода требует более грамотного подхода к выбору параметров построения.

Ключевые слова: условное моделирование, горно-геологические информационные системы, Ковдорское месторождение железных руд, параметры моделирования, каркасная модель.

Традиционный метод обычного трехмерного определения геологических границ или границ содержаний в значительной степени основывается на времени, необходимом для оцифровки стрингов и точек, а в последующем на создание поверхности или солида.

Условное моделирование является альтернативой обычного моделирования, метод основан на функции объема. Это функция объема может быть использована для построения модели, отображающей содержания, литологию или геологические поверхности в трехмерной среде, а также снимает необходимость тратить время на оцифровку [1].

Имплицитный метод уже может применяться для прогнозирования высококачественных залежей и прогнозирования технологических характеристик добычи на Ковдорском месторождении железных руд, он работает с уже имеющимися данными, полученными на стадии геологоразведочных работ. Используемое в процессе исследования программное обеспечение ГГИС «Micromine» использует локальные и глобальные радиально-базисные функции (РБФ) для создания условных моделей по литологии, содержаниям, разломам, а также подземным выработам и поверхности, и метод сплайна для моделирования жил и контактов. РБФ используют интервалы или точки с известными значениями для расчета отношения между всеми точками,

затем используют эти отношения для создания матриц точек со значениями. Поверхность создается с использованием алгоритма шагающих кубов. Шагающие кубы – алгоритм представления изоповерхностей в объемные данные. Основной принцип в том, что мы можем задать куб значениями пикселей в восьми углах куба. Если одно или более значений больше, чем пользовательское изозначение, то алгоритм определяет полигоны, необходимые для представления части изоповерхности, проходящей через данный куб. Определяя, какие грани пересекаются изоповерхностью, создаются треугольники, которые разделяют куб между областями в пределах изоповерхности и внешними областями. Соединяя треугольники из всех кубов на границе изоповерхности, будет создано трехмерное представление поверхности [2].

Проведенное исследование было направлено на получение значений используемых параметров при построении каркасов интрузии и на основании значения бортового содержания при помощи встроенных инструментов ПО «Micromine». В основу поставленной задачи был положен эмпирический метод выявления зависимостей конечного вида полученной модели от заданных параметров. С этой целью было получено более 15 каркасов с различной конфигурацией параметров для каждого используемого инструмента. Использование полученных моделей позволило выявить зоны с повышенным содержанием, наиболее благоприятным к отработке.

Таким образом, имплицитное моделирование при правильном подходе является весьма мощным инструментом на любом этапе горнодобычи. Оно позволяет специалистам использовать данные для построения моделей, которые могут быть использованы для прогнозирования и понимания процессов, происходящих в Ковдорском месторождении железных руд.

Список литературы:

1. Геологический портал GeoKniga.org. – URL: https://www.geokniga.org/labels/18779 (дата обращения 27.02.2023).
2. Макромайн.ру. – URL: https://www.micromine.ru/wp-content/uploads/2022/09/10.-Micromine-ОВ-Условное-моделирование-в-Micromine.pdf (дата обращения 27.02.2023).

Савельев Д. Е., Гатауллин Р. А.
ФГБНУ Уфиц РАН, г. Уфа

ПЛАТИНОМЕТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ОФИОЛИТАХ ЮЖНОГО УРАЛА

Исследования выполнены в рамках выполнения гранта РНФ, проект №22-17-00019

Приведены результаты изучения платинометальной минерализации в офиолитовых комплексах Южного Урала, в том числе в хромититах мантийного разреза и переходного корово-мантийного комплекса, в слабо серпентинизированных лерцолитах, в хромититах меланжевых зон. Наиболее высокие содержания ЭПГ (более 1 ppm) установлены в нескольких хромититовых рудопроявлениях, локализованных в переходном верлит-клинопироксенитовом комплексе массивов Крака и Нурали, для них характерны как платиновая, так и тугоплавкая (Os-Ir-Ru) геохимическая специализация. В хромититах мантийного разреза концентрация суммы ЭПГ составляет 100–500 ppb и преобладают тугоплавкие платиноиды (дисульфиды ряда лаурит-эрликманит, самородные фазы рутения, осмия и иридия, реже – арсениды, близкие к составу ирарсита). Описана платинометальная минерализация в свежих лерцолитах массива Северный Крака, образующая три контрастных типа: тугоплавкой триады Os-Ir-Ru, существенно платиновый с участием палладия, палладиево-медный. Практически все найденные зерна МПГ локализованы либо в периферических частях зерен измененных сульфидов (хизлевудит, пентландит), либо в силикатном матриксе в непосредственной близости от сульфидных выделений.

Ключевые слова: платиноиды, хромититы, ультрамафиты, офиолиты, Южный Урал.

В составе офиолитовых комплексов традиционно выделяют мантийную и коровую составляющие, граница между которыми рассматривается как древняя петрологическая граница

Мохоровичича [3]. Мантийный разрез офиолитов – нижняя часть офиолитовых комплексов, включающая перидотиты (лерцолиты и/или гарцбургиты) с подчиненными телами дунитов. Коровый разрез офиолитов – верхняя часть офиолитовых комплексов, состоящая из пород габбрового состава, параллельных даек, пиллоу-лав и глубоководных осадков. Переходный мантийно-коровый комплекс – относительно маломощный горизонт между габброидами (вверху) и краевыми дунитами (внизу) – имеет существенно пироксеновый состав (верлиты, клинопироксениты, вебстериты и т.п.) и шлирово-полосчатый, поэтому иногда в литературе именуется «полосчатым комплексом».

Считается общепринятым, что мантийный разрез представлен высокотемпературными реститами, то есть остатками от частичного плавления мантийного вещества, габброиды и базальты – дифференциатами расплавов, извлеченных из мантии, а переходный комплекс – либо дифференциат расплава, либо продукт взаимодействия рестита и расплава [3, 10].

Платинометальная минерализация, связанная с офиолитовыми ультрамафитами, является перспективным источником ЭПГ, следующим по значимости после медно-никелевых месторождений Норильского типа и россыпей, связанных с концентрически-зональными массивами Урало-Аляскинского типа и щелочно-ультраосновными комплексами. В связи с этим большое внимание в современной литературе уделено изучению геохимии и минералогии платиноидов в офиолитах (например [10, 11]; в работе [9] обосновывается высокая практическая значимость изучения платиноносности офиолитовых комплексов, а в обзоре [11] описан ряд недавно открытых месторождений ЭПГ, приуроченных к различным разрезам офиолитовых ультрамафитов).

Изучение платиноносности офиолитовых ультрамафитов Южного Урала было начало в 1960-е годы [8] и затем спорадически проводилось производственными организациями до конца 1980-х годов (Шумихин и др., 1987ф). Заметных положительных результатов при этом получено не было. Наиболее активно исследования ультраосновных массивов Южного Урала в отношении благороднометалльной минерализации начали проводиться с 1990-х годов [1, 4]. В это время была установлена платиноносность полосчатого комплекса Нуралинского массива, в пределах которого были выявлены Западно-Шерамбайское и Приозерное рудопроявления [5]. На массивах Крака основное внимание уделялось потенциальной платиноносности месторождений и рудопроявлений хрома, залегающих среди дунитов и краевых серпентинитов. В рудах отдельных объектов Хамитовской площади массива Средний Крака были определены высокие концентрации платины – до 3,2–5,4 г/т [2, 7]. Вместе с тем с отдельными высокими значениями соседствовали преобладающие низкие содержания металла, закономерности распределения элементов платиновой группы и собственные минералы платиноидов установлены не были.

В период 2014–2022 гг. нами были поставлены задачи изучения минералогии платиновых минералов в различных структурно-вещественных комплексах офиолитов Южного Урала. Главными объектами являлись наиболее представительные массивы офиолитов – Крака, Нурали, Аккаргинский. Первый из них является крупнейшим в российской части Южного Урала, включает все комплексы офиолитов и содержит многочисленные мелкие месторождения и рудопроявления хромититов. На втором массиве хорошо выражена офиолитовая зональность, также есть месторождения хрома, а на Аккаргинском массиве хромититы представлены наиболее значительно.

Ниже представлены данные о платинометальной минерализации по различным частям офиолитового разреза: 1) хромититы мантийной части, 2) хромититы коровой части, 3) хромититы зон меланжа, 4) ультрамафиты мантийной части, 5) мафит-ультрамафитовые переходные комплексы.

В целом в составе ЭПГ хромититов как мантийной, так и коровой части разреза преобладает платина, а остальные элементы встречаются примерно в равных количествах, причем содержание элементов тугоплавкой триады Os-Ir-Ru в большинстве проб выше 100 мг/т. Близкие средние содержания суммы ЭПГ в хромититах были получены при изучении платиноносности Кемпирсайского массива В. В. Дистлером с соавторами [9]. Однако, в отличие от Кракинских, в последних в значительной степени преобладают тугоплавкие платиноиды.

В хромититах мантийного разреза массивов Крака фиксируются разнообразные соотношения между концентрациями металлов платиновой группы, которые в среднем образуют поле, ориен-

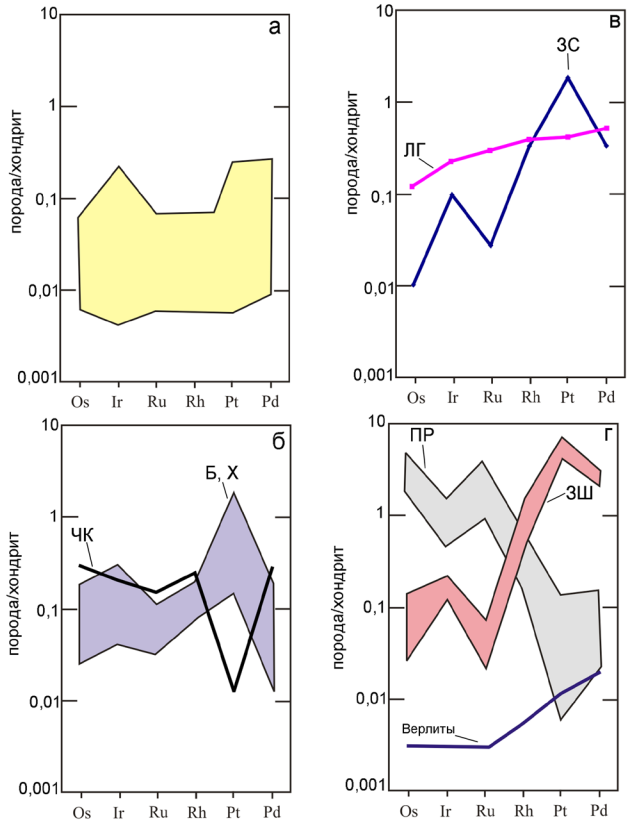
тированное почти параллельно хондритовому распределению на уровне 0,01–0,1 концентрации данных элементов в хондрите. Положительные пики характерны для иридия, платины и палладия в некоторых проявлениях.

В хромититах меланжа встречаются различные типы распределения. В проявлениях Бабай и Хамитовское преобладает платина, а подчиненным значением пользуются платиноиды иридиевой группы (IPGE), или «тугоплавкой триады». Напротив, на проявлении Черноключенском ведущая роль принадлежит IPGE и палладию при отрицательной аномалии платины.

В коровом разрезе массива Средний Крака расположено два проявления, в обоих преобладают относительно легкоплавкие платиноиды (PPGE), при этом для Западно-Саксейского проявления характерен резкий положительный пик платины при подчиненной роли палладия и низких содержаниях остальных ЭПГ, а для Логиновского проявления характерно монотонное повышение хондрит-нормированных значений ЭПГ с максимальной концентрацией палладия.

Хромититы корового разреза Нуралинского массива демонстрируют контрастные типы распределения платиноидов: 1) типичная «коровая кривая» с максимумом платины, полностью аналогичная распределению в Западно-Саксейском проявлении, выявлена в Западно-Шерамбайском проявлении, 2) «отрицательный наклон» кривой с максимумом хондрит-нормированных значений для IPGE выявлен в Приозерном проявлении.

Минералогические исследования хромититов позволили выявить минералы платиновой группы (МПГ) почти во всех изученных месторождениях и рудопроявлениях, но содержания их сильно варьируются. Наиболее обильные выделения МПГ встречены в небольших рудопроявлениях хромититов, расположенных в переходных верлит-клино-пироксенитовых комплексах массивов Крака и Нурали – Западно-Саксейском, Логиновском, Черноключенском, Западно-Шерамбайском и Приозерном. Количество найденных выделений МПГ и концентрации ЭПГ (800–2000 ppb), а также их геохимическая специализация в валовых анализах сопоставимы друг с другом. Различия в геохимической специализации предполагают значительные вариации в минералогических особенностях платинометальной минерализации в этих объектах. В частности, для Западно-Саксейского рудопровяления, локализованного в клинопироксенитах, характерно резкое преобладание платины и ведущая роль тетраферроплатины в составе МПГ с подчиненной ролью брэггита. Сходная специализация характерна для Западно-Шерамбайского проявления, но с более богатым минеральным составом МПГ: интерметаллиды систем Pt-Pd-Cu, палладистая платина, железистая платина, сульфиды платиноидов (куперит, лаурит-эрлихманит), сплавы Pt-Pd-Fe-Cu-Ni, потарит, Pt-Pd-содержащие аваруит и ваирауит [4, 12]. Приозерное и Черноключенское проявления характеризуются преобладанием тугоплавких ЭПГ и, соответственно, Os-Ir-Ru спецификой в составе МПГ: интерметаллиды Os-Ru и Ni-Fe-Ir-Ru-Os состава, сульфиды рутения и осмия (лаурит-эрлихманит), а также оксидами Ru-Os-Ir-Fe [4, 12].



Распределение элементов платиновой группы в хромититах Крака и Нурали по отношению к их концентрации в хондрите: а–в – массивы Крака; а – хромититы мантийного разреза, б – хромититы меланжа, в – хромититы корового разреза, г – хромититы корового разреза Нуралинского массива

В Логиновском рудопроявлении широким распространением пользуются псевдо-

морфозы по первичным сульфидам, состоящие из агрегатов пирротина, пентландита, аваруита, твердых растворов Ni-Fe-Co состава, самородной меди и оксидов железа. Из МПГ встречены собственные минералы рутения, осмия, платины и палладия. Минералы изоморфного ряда лаурит-эрликманит образуют идиоморфные кристаллы различных сечений в хромите. В интерстициях зерен хромшпинелидов встречены зерна платины, а также твердых растворов на основе Ni-Fe-Co, характеризующиеся неоднородным составом, и включающие значимые количества ЭПГ, в частности иридия, платины, осмия, родия и рутения. Плюмбопалладинит встречен совместно с пентландитом, пирротином, железистым никелем и магнетитом в составе сложных псевдоморфоз по неизвестному минералу, который образует идиоморфные и округлые выделения в хромите.

В несколько меньшем количестве МПГ встречаются в подиформных хромититах Аккаргинского массива, отдельных месторождениях Крака (Шатран, Малый Башарт) и Нурали (Мокрая Яма). Здесь концентрация суммы ЭПГ составляет 100–500 ppb и преобладают тугоплавкие платиноиды (дисульфиды ряда лаурит-эрликманит, самородные фазы рутения, осмия и иридия, реже – арсениды, близкие к составу ирарсита). В остальных месторождениях и рудопроявлениях МПГ встречаются крайне редко (<50 ppb).

В качестве отдельного типа платинометальной минерализации можно выделить находки МПГ в ультрамафитах мантийного и переходного комплексов офиолитов, не связанные с хромититами. Этот тип минерализации слабо изучен, и перспективы его пока остаются невыясненными. К настоящему времени нами выявлен один пункт с повышенными содержаниями ЭПГ (до 900 ppb) в верлитах и клинопироксенитах западной части массива Средний Крака с платино-палладиевой геохимической специализацией. Минералогически платиноиды связаны с сульфидами и самородными фазами Ni-Fe-Cu состава, где встречаются в виде мельчайших включений как в сульфидной, так и в самородной форме.

О находках пунктов минерализации с повышенными концентрациями платиноидов (500–800 ppb) в лерцолитах массива Северный Крака сообщалось еще в 1930-х годах (Логинов, 1933 г.). Хотя нам и не удалось повторить данных находок, в нескольких образцах свежих лерцолитов из этого массива было установлено наличие МПГ. В выделениях установлено присутствие всех ЭПГ (кроме родия) в различных соотношениях. Все выделения подразделяются на три контрастных типа: тугоплавкой триады Os-Ir-Ru, существенно платиновый с участием палладия и палладиево-медный. Практически все найденные зерна МПГ локализованы либо в периферических частях зерен измененных сульфидов (хизлевудит, пентландит), либо в силикатном матриксе в непосредственной близости от сульфидных выделений.

Таким образом, проведенные исследования позволили значительно расширить круг объектов, изученных на предмет платиноносности, и выявить потенциально значимые месторождения и рудопроявления, в пределах которых необходимо продолжать работы по изучению благороднометальной минерализации и определению валовых содержаний платиноидов. Минералы платиновой группы установлены на следующих месторождениях и рудопроявлениях: Верхне-Сарангинском, Малый Башарт, Саксейском, Черноключенском, Логиновском, Западно-Саксейском (массивы Крака); Приозерном, Западно-Шерамбайском, Шерамбайском, Южно-Сарусаккульском, Нуралинском, Курманкульском, Мокрая Яма (Нурали). Кроме того, МПГ найдены в свежих ультрамафитах мантийного разреза (массив Северный Крака) и переходного верлит-клинопироксенитового комплекса (массив Средний Крака). Ввиду значительных объемов, занимаемых ультрамафитами данных типов, и их слабой изученности они могут рассматриваться в качестве перспективного в будущем поискового объекта.

Список литературы:

1. Дмитренко Г. Г., Горелова Е. М., Савельева Г. Н. Минералы платиноидов в хромитах массива Нурали (Южный Урал) // Доклады Академии наук. – 1992. – Т. 324., № 2. – С. 403–406.
2. Ковалев С. Г., Сначев В. И., Савельев Д. Е. Перспективы платиноносности рудных формаций башкирской части Южного Урала // Горный журнал: известия вузов. – 1997. – № 5–6. – С. 34‑40.
3. Колман Р. Г. Офиолиты. ‑ М. : Мир, 1979. – 262 с.

4. Молошаг В. П., Смирнов С. В. Платиноидная минерализация Нуралинского гипербазит-габбрового массива (Южный Урал) // Записки Российского минералогического общества. – 1996. – № 1. – С. 48–54.
5. Смирнов С. В. Петрология верлит-клинопироксенит-габбровой ассоциации Нуралинского гипербазитового массива и связанное с ним платиноидное оруденение : специальность 04.00.08 «Петрология, вулканология» : автореферат дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-мин. наук / Сергей Владимирович Смирнов. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН. – 1995. – 18 с.
6. Смирнов С. В., Волченко Ю. А. Первая находка платиноидной минерализации в хромитовых рудах Нуралинского массива на Южном Урале // Ежегодник-91. ‑ Екатеринбург : ИГГ УрО РАН. – 1992. – С. 115–117.
7. Сначев В. И., Ковалев С. Г., Рыкус М. В., Высоцкий И. В. Новые данные по золотоносности западного склона Южного Урала. Уфа : Препринт. – 1996. – 29 с.
8. Фоминых В. Г., Хвостова В. П. О платиноносности дунитов Урала // Доклады АН СССР. – 1970. – Т. 191, №2. – С. 374–377.
9. Distler V. V, Kryachko V. V., Yudovskaya M. A. Ore petrology of chromite-PGE mineralization in the Kempirsai ophiolite complex // Mineralogy and Petrology. – 2008. – V. 92. – P. 31–58.
10. Gonzalez-Jimenez J. M., Griffin W. L., Proenza A., Gervilla F., O'Reilly S.Y., Akbulut M., Pearson N. J., Arai S. Chromitites in ophiolites: how, where, when, why? Part II. The crystallisation of chromitites // Lithos. – 2014. – V. 189. – P. 148–158.
11. Prichard H. M., Brough C. Potential of ophiolite complexes to host PGE deposits // Li C. and Ripley E.M. (Eds.). New developments in magmatic Ni-Cu and PGE deposits.‑ Beijing : Geological publishing house, 2009. – P. 277–290.
12. Zaccarini F., Pushkarev E. V., Fershtater G. B., Garuti G. Composition and mineralogy of PGE-rich chromitites in the Nurali Lherzolite–gabbro complex // Canadian Mineralogist. – 2004. – V. 42. – P. 545–562.

Садиров Р. М.[1], Карабаев М. С.[2]
[1] ГУ «ИГГ» Узбекистан, г. Ташкент; [2] «УГН» Узбекистан, г. Ташкент

ОКОЛОРУДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОР АУМИНЗАТАУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ)

Работа подготовлена в рамках проектов, выполненных на договорной основе с НГМК и подразделениями Госкомгеологии.

Выделены метасоматические породы золото-серебряных месторождений гор Ауминза-Белтау, отличающиеся по минеральному составу и особенностям формирования. С определенными типами метасоматитов связаны соответствующие стадии рудной минерализации, которые являются их типоморфными признаками и отражают особенности эволюции стадий единой минералообразующей системы.

Ключевые слова: Ауминзатау, метасоматиты, минеральный состав, стадии минералообразования, взаимоотношение, золото, оруденение.

Сравнительный анализ и выяснение особенностей формирования метасоматических образований способствует наиболее полному пониманию процессов рудообразования, что, несомненно, усилит поисковое значение околорудно-измененных пород на этих площадях. В связи с этим целесообразность сравнительного изучения данных образований золоторудных объектов гор Ауминзатау является актуальной.

Изученные золоторудные объекты (Джасаул, Северный Карабугут, Кумтош-2) размещены в Ауминза-Бельтауской подзоне Зарафшано-Туркестанской структурно-формационной зоны. Структура района интерпретируется как сложно блоковая, герцинская антиформа субширотного (Ауминзатау) простирания, вмещающие породы которой в основном сложены вулкано-

генно-осадочными образованиями бесапанской свиты [1]. Тектонические особенности района определяются узлом пересечения региональных систем разломов, имеющих глубокое заложение – субширотных и северо-восточных. Главной складчатой структурой является Ауминза-Бельтауская антиклиналь, осложненная структурами более высоких порядков [2].

Метасоматические образования золото-серебряных объектов Северный Карабугут, Кумтош-2 в горах Ауминзатау и Джасаул в горах Белтау имеют много общего по особенностям формирования и минералогическому составу, поэтому рассматриваются вместе.

Березит-лиственитовые метасоматиты. Являются главными околорудными изменениями, образуют линейно-вытянутые полосы, окаймляющие тектонически ослабленные зоны. Макроскопически гидротермально-измененные породы отличаются от неизмененных более светлыми, главным образом светло-серыми, слабо-зеленоватыми тонами окраски и зональным строением.

Осветление пород связано с замещением хлорита первичных образований кварцем и слюдами, а также выносом углеродистого вещества из внутренних зон при метасоматическом преобразовании пород [4]. Минералогический состав метасоматической породы в изучаемых объектах почти однообразен. Это серицит, карбонат, кварц, хлорит, пирит.

С зонами березитизации пород связана обильная сульфидная минерализация, которая в основном приурочена к прожилково-окварцованным частям околорудных изменений. Сульфиды представлены пиритом (85–95 % от общей их массы) и реже арсенопиритом, размещаются в виде гнездообразных скоплений и коротких просечек неправильной формы. При этом последние пересекают и смежные зоны метасоматической колонки и даже выходят за пределы зоны околорудных изменений, часто проявляясь в виде кварц-сульфидных прожилков. Это указывает на сопряженный характер золото-арсенопиритовой минерализации по отношению к березитовым изменениям.

Кварц-альбитовые (эйситовые) метасоматиты распространены на всех изученных золоторудных объектах, но наиболее интенсивно проявлены на площадях Кумтош-2 и Северный Карабугут, относящихся к Коспактауской золоторудной зоне. Метасоматиты развиваются в виде неправильных жил (мощность до 6–8 см) и тонких (мощность 1–2 мм) прожилков. Представлены альбитом, кварцем, карбонатом, реже пиритом и развиваются по плагиоклаз-хлоритовым сланцам и метаалевролитам.

Контакты с вмещающими породами относительно ровные. Центральная часть новообразований сложена кварцем. В метасоматически измененных участках встречаются брекчии первичных сланцев, вокруг которых образуется более мелкозернистая альбит-кварцевая каемка. Структура пород неравномерно зернистая. С эйситовыми метасоматитами на изученных золото-серебряных объектах пространственно проявлена слабая кварц-карбонат-полисульфидная (сфалерит, галенит, пирит) минерализация, золотоносность метасоматитов низкая.

Аргиллизиты. Одним из распространенных преобразований на площадях золоторудных объектов гор Ауминзатау являются аргиллизиты, образующие линейно-вытянутые полосы, жильно-прожилковые образования в зонах дробления и трещиноватости пород. Макроскопически метасоматиты отличаются от неизмененных пород более светлыми, светло-серыми тонами окраски и меньшей плотностью. Порода более плотная в участках окварцевания. Сложена в основном плотным сероватым халцедоновидным кварцем, карбонатом, каолинитом, с меньшим количеством серицита (гидрослюда) и изометричными мелкими зернами пирита, сфалерита и комплексом микроминералов, определяемых только под микроскопом. Карбонаты представлены марганцовистыми (до 0,6–1,1 %) анкерит-доломитами. Местами глинистые минералы и кварц замещаются тонкочешуйчатыми слюдами, что, по-видимому, происходит по мере разрастания различных зон аргиллизированных пород.

Рентгенометрическим анализом установлена принадлежность глинистого минерала к диккиту. В небольшом количестве (3,8 %) присутствует также каолинит. Наличие диккита и накрита среди продуктов глинистого изменения пород рассматривается как свидетельство их гидротермальной природы [1, 2].

Изучение химического состава различных пород и развивающихся по ним метасоматических образований показало, что поведение основных компонентов в метасоматическом процессе различается в зависимости от состава первичной породы. Полученные данные показывают,

что в процессе метасоматического преобразования пород различного состава новообразованная порода в наиболее интенсивно преобразованной – внутренней – зоне всегда имеет строго определенный минералогический и химический состав, что является характерным при формировании метасоматических образований [3–5].

Изучены температуры гомогенизации флюидных включений (ФВ) кварца березит-лиственитовых, эйситовых и аргиллизитовых метасоматитов золото-серебряных месторождений Белтау и Ауминзатау. Определения температур гомогенизации проведены в криотермокамере «Linkam». Температуры гомогенизации ФВ кварца из тыловых зон березитов в пределах 263–335 °С, кварца пирит-арсенопиритовой ассоциации – 215–247 °С. Характерна разнонаполненность включений, с содержанием газовой фазы до 30–35 %; отмечаются существенно углекислотные ФВ. Температуры гомогенизации кварца из кварц-альбитовых метасоматитов – 240–265 °С. Флюидные включения по составу углекислотные, двухфазовые. Тонкозернистый кварц из внутренней зоны аргиллизитов месторождения Песчаное характеризуется $T_{гом.}$ 150–185 °С. Флюидные включения по составу двухфазовые – газово-жидкие, с содержанием газовой (углекислотной) фазы до 15–25 %.

Выводы. Золоторудное оруденение гор Ауминзатау сформировано последовательно проявленными березитами, эйситами и аргиллизитами, с которыми сопряжены золото-мышьяковая, полисульфидно-теллуридная и золото-сульфосольная стадии оруденения. Значение установленных метасоматических пород неоднозначно в формировании оруденения: наибольшее практическое значение имеют березитовые околорудные изменения, с которыми связаны золото-мышьяковые руды.

Список литературы:

1. Гурейкин Н. Я., Арифулов Ч. Х. и др. Геолого-минералогические особенности золоторудного месторождения сульфидно-вкрапленных руд // Советская геология. – 1982. – № 5. – С. 86–95.
2. Дорофеев Д. А., Лайпанов Х. Х. О гидротермально-метасоматических преобразованиях на Кокпатасском рудном поле (Центральные Кызылкумы) // Труды ЦНИГРИ. Ч. 1. – М., 1971. – С. 17–30.
3. Жариков В. А., Омельяненко Б. И. Классификация метасоматитов // Метасоматизм и рудообразование. – М. : Наука, 1978. – С. 9–27.
4. Карабаев М. С. Березиты золото-сульфидных объектов гор Ауминзатау: зональность и особенности минерального состава // Вестник Национального Университета Узбекистана. – Ташкент, 2015. – №3/2. – С. 76–78.
5. Омельяненко Б. И. Околорудные гидротермальные изменения пород. – М. : Недра, 1978. – 265 с.

Сайитов С. С.[1], Цой В. Д.[1], Жаниев Х. Э.[2], Булин С. Е.[1], Расулов Ш. М.[1], Халиков О. А.[1]

[1] ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент;

[2] Даугызтауская ПГРЭ АО «Узбекгеологоразведка», г. Зарафшан

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ УЧАСТКА ДЖАСАУЛ И ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

В статье приводятся минералого-геохимические особенности золото-серебряных руд и минерализованных зон участка Джасаул. Выявлена минералого-геохимическая зональность оруденения в результате изучения распределения элементов и парагенетических минеральных ассоциаций (ПМА) в пространстве. Установлены два пика содержаний Au и Ag на глубинах 280–330 и 80–130 м, связанные с проявлением ранней пирит-арсенопиритовой с золотом ПМА (на глубине 280–330 м) и золото-серебряной (на более верхних горизонтах) стадий.

Ключевые слова: участок Джасаул, золото-серебряная минерализация, парагенетические минеральные ассоциации, минералого-геохимическая зональность.

Золото является одним из стратегических полезных ископаемых Узбекистана. Имеются сотни золоторудных месторождений от мелких до гиганта мирового уровня – Мурунтау. Запасы золота в Узбекистане составляют 1800 т и страна входит в топ 10 стран мира по его производству [7].

Золоторудные месторождения Узбекистана приурочены к единому Кызылкумо-Кураминскому металлогеническому поясу, включающему Южно-Тяньшанский орогенический пояс и Бельтау-Кураминскую вулкано-плутоническую дугу, образованные в результате субдукции коры Туркестанского палеоокеана под Казахстано-Киргизский континент, коллизии его с Каракумо-Таримским континентом и последующими геологическими процессами [1, 6, 8].

В соответствии с законом зональности минеральные ассоциации и геохимический ряд проявляются на объектах разных масштабов (рудное тело – месторождение – рудное поле – район – пояс). Вертикальная зональность проявлена в рудных телах и на месторождениях, а латеральная зональность – в рудных полях, районах и металлогеническом поясе [2].

На золоторудных месторождениях Узбекистана в направлении с запада на восток происходит омоложение рудовмещающих пород и проявление преимущественно более молодых золотопродуктивных ассоциаций. На западе основные золотопродуктивные ассоциации связаны с раннесульфидной стадией, а на востоке – с более поздней золото-серебряной [4]. С запада на восток в пределах Кызылкумо-Кураминского металлогенического пояса возрастает роль более поздних парагенезисов – от Au-W до Au-Hg. Самостоятельные промышленные Au-Sb и Au-Hg месторождения расположены на территории Кыргызстана и Таджикистана [2].

Участок Джасаул расположен в Бельтау. Минерализованные зоны приурочены к зонам интенсивного дробления и смятия, находящимся под мезозой-кайнозойским чехлом мощностью 12–70 м. Рудовмещающие песчаники, алевролиты бесапанской свиты в любой части разреза характеризуются одним и тем же составом обломочного материала и цемента, по своим литологическим параметрам примерно одинаковые.

В составе руд участка Джасаул установлено более 50 минералов. Содержание рудных минералов составляет от частых зерен до 5–10%. Текстура руд вкрапленная, прожилковая, гнездовая. Структура руд тонко-, среднезернистая, редко неравномернозернистая.

Кварц, полевые шпаты, серицит, хлорит, карбонаты, глинистые минералы являются основными породообразующими минералами. Из акцессорных минералов установлены циркон, монацит, барит, целестин.

Руда участка Джасаул соответствует золото-серебряному геолого-промышленному типу. Среди рудных минералов преобладают пирит и арсенопирит, в единичных и частых зернах установлены халькопирит, золото самородное, сульфосоли серебра, науманнит, буланжерит, тетраэдрит, галенит, фрейслебенит, сфалерит, халькопирит, магнетит, марказит, пирротин, кубанит, антимонит, ильменит, рутил и др. Также в незначительном количестве установлены вторичные минералы: гетит, гематит, халькозин, ковеллин.

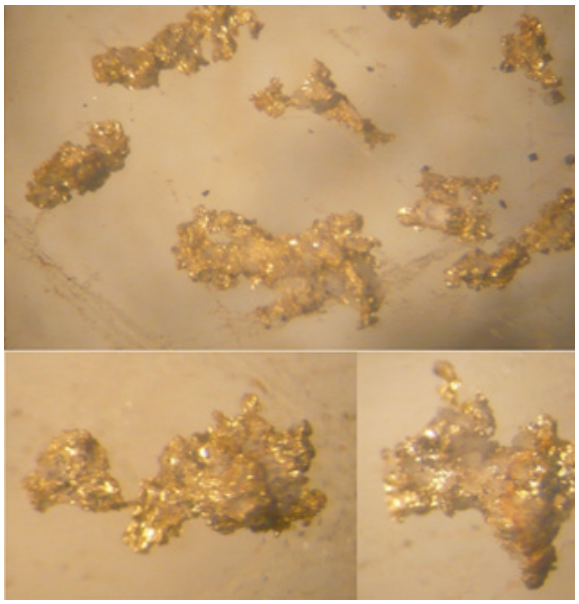


Рис. 1. Форма золотин участка Джасаул. Размер зерен от 0,6 до 1,5 мм

Золото самородное встречается в свободном виде, часто в ассоциации с пиритом и арсенопиритом (рисунки 1, 2), а также с сульфосолями, селенидами серебра (рис. 3), которые характерны для более поздних стадий минералообразования на золоторудных месторождениях Узбекистана [5]. Микровключения золота были обнаружены в пирите, арсенопирите.

Пробность самородного золота колеблется в широких пределах. Более низкая пробность золота отмечается в верхних горизонтах рудных тел, в ассоциации с сульфосолями серебра. Золото, связанное с пирит-арсенопиритовой ПМА, является более высокопробным. Состав золота

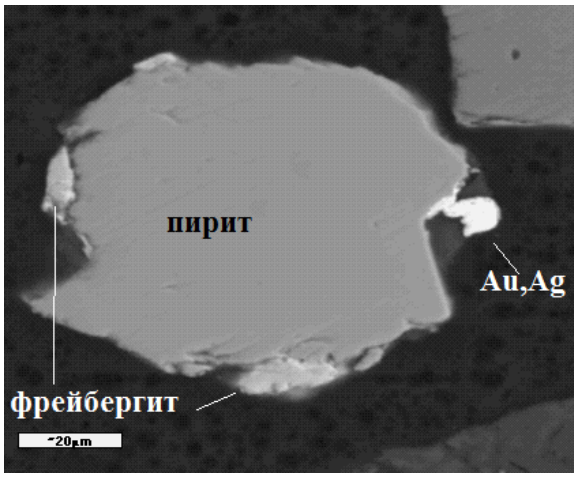


Рис. 2. Сросток самородного золота и фрейбергита с пиритом. Фотография в обратно-отраженных электронах

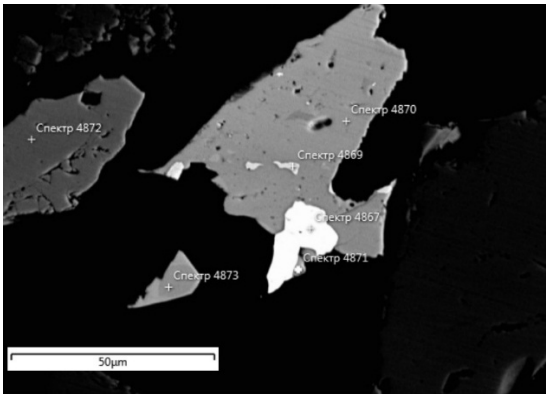
следующий (в %): Au – 57,3–91,72; Ag – 8,11–39,74; Hg – 0,04–2,21; Cu 0,0–0,23; Fe – 0,12–2,48; Te – 0,0–0,41.

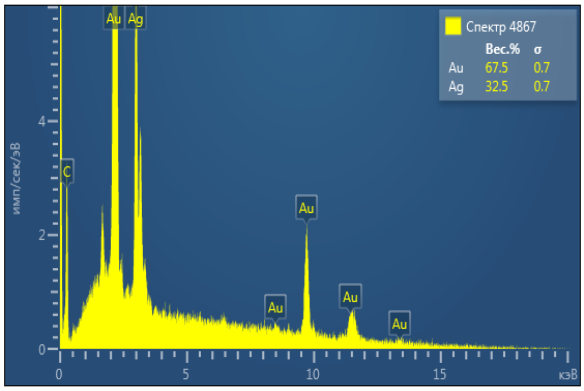
Сульфосоли серебра являются основными минералами серебра. Представлены миаргиритом, пираргиритом, стефанитом, фрейбергитом и фрейслебенитом.

По характеру взаимосвязи и распространенности установлены две продуктивные ПМА на участке Джасаул: пирит-арсенопиритовая с золотом раннесульфидной стадии и золото-серебряная, собственно серебряная ПМА золото-серебряной стадии минералообразования. Минералы промежуточных ПМА, таких как золото-гесситовой, галенит-блеклорудной и сфалерит-халькопирит-галенитовой, отмечаются в подчиненном количестве или в единичных зернах.

Кроме того, в незначительных количествах установлены минералы поздней окисной, сульфатной стадии минералообразования. Рудная минерализация на участке заканчивается сурьмяной стадией, которая представлена кварц-антимонитовой ПМА.

Для выявления вертикальной геохимической зональности установлены изменения кларков концентраций (КК) рудогенных элементов на различных горизонтах: 1) 27–80 м (40 проб); 2) 80–130 м (78 проб); 3) 130–180 м (27 проб); 4) 180–230 м (24 проб); 5) 230–280 м (29 проб); 6) >280 м (6 проб). По полученным данным были составлены графики изменений КК элементов по глубинам (рис. 4). Анализ диаграммы показал наличие двух пиков золота на глубинах 280–330 и 80–130 м (см. рис. 4, Au). Первый пик на глубине 280–330 м связан с проявлением ранней пирит-арсенопиритовой с золотом ПМА в общей схеме гипогенного минералообразования рудных месторождений Узбекистана, судя по диаграммам мышьяка [5]. Второй пик (130 м) связан с золото-серебряной и собственно серебряной ПМА золото-серебряной стадии минералообразования.





№	№ спектра	Минерал	Au	Ag	Se	Sb	S	Fe	Cu	Zn
1	4867	Золото самородное	67,48	32,52						
2	4869	Науманит		74,69	24,23		1,07			
3	4870	Фрейбергит		22,34		26,74	22,86	1,54	21,72	4,8
4	4871	Фрейбергит		29,34		25,58	21,16	4,64	17,04	2,24

Рис. 3. Золото самородное в сростке фрейбергитом. Фотография в обратно-отраженных электронах

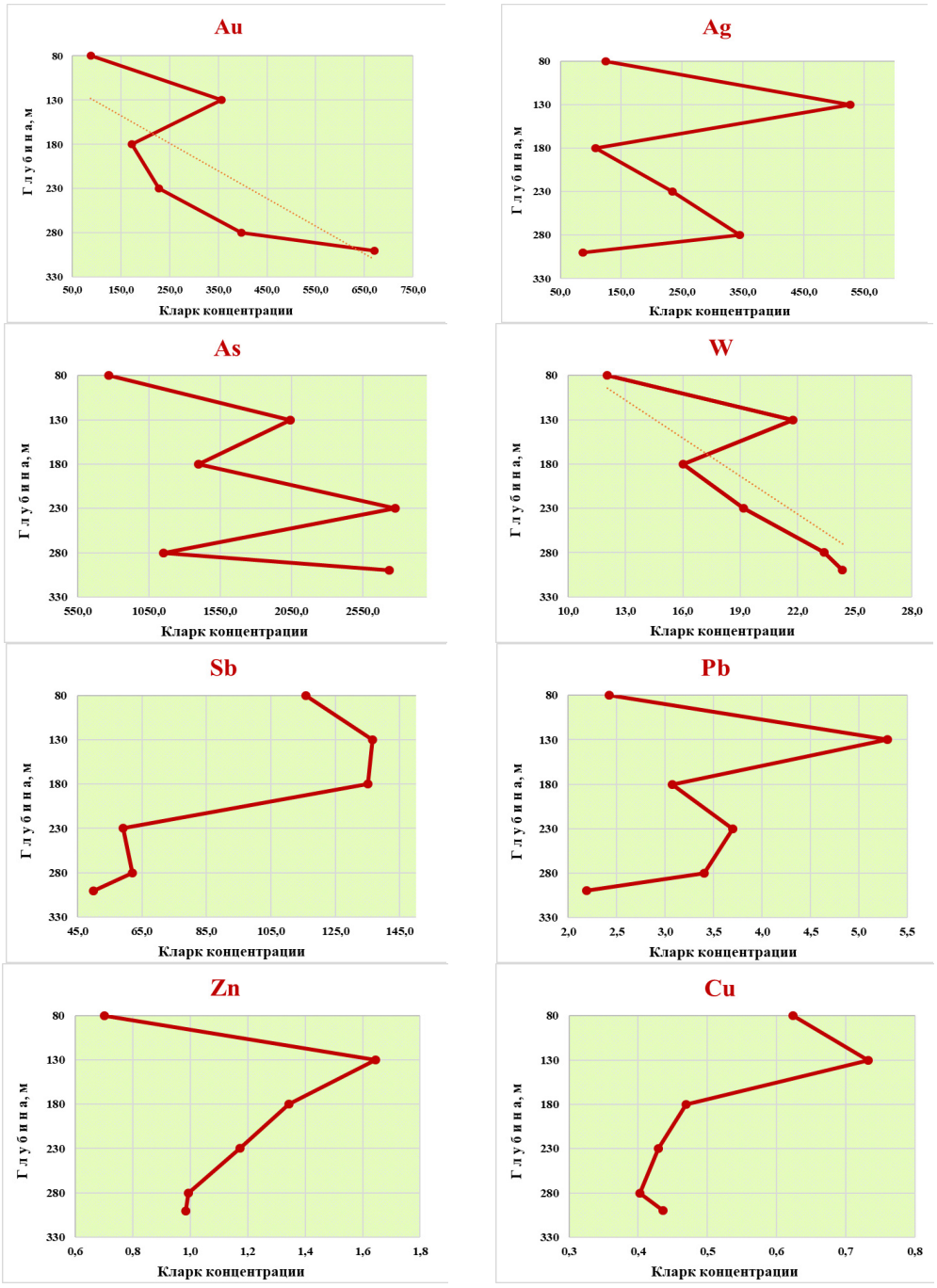


Рис. 4. Изменения кларков концентраций химических элементов по глубинам

Графики изменений КК W и As по градациям глубин очень похожи на график золота, то есть эти элементы образуют единые или близкие по возрасту ПМА. Результаты корреляции содержаний элементов также показали сильные взаимосвязи между содержаниями Au, W и As.

Для Ag также установлены 2 пика КК (см. рис. 4, Ag). Первый пик в сравнении со вторым слабый, и он связан с ранней пирит-арсенопиритовой с золотом ПМА. Второй пик соответствует более поздней золото-серебряной стадии минералообразования.

На графике изменения КК Sb по градациям глубин (см. рис. 4, Sb) также установлен пик в интервале 130–180 м, который связан с собственно серебряной и сурьмяной ПМА. По данным минералогических исследований установлено широкое распространение сульфоантимонидов серебра, реже антимонита. С глубиной КК Sb резко уменьшается, так как Sb характерный элемент верхних рудных срезов. Похожая картина характерна для Pb, Zn и Cu. Это обусловлено отложением этих элементов в верхних срезах рудных зон в поздние стадии минералообразования, точнее в полиметаллическую.

Процесс гипогенного минералообразования на участке Джасаул подчиняется единому закону, согласно которому на различных месторождениях выдерживается определенная последовательность образования ПМА. Надо отметить, что на участке Джасаул установлена четкая минералого-геохимическая зональность. Установление стадийности минералообразования имеет важное практическое значение при геологоразведочных работах. Так, выявление поздних ПМА позволяет прогнозировать и более ранние и указывает на перспективы изучаемых объектов на глубину.

Список литературы:

1. Далимов Т. Н., Конеев Р. И., Ганиев И. Н., Ишбаев Х. Д. Геодинамика северной окраины Туркестанского палеоокеанического бассейна и некоторые особенности формирования золоторудных месторождений Узбекистана // Тезисы докладов международного совещания. – М., 2002. – С. 142–144.
2. Конеев Р. И., Халматов Р. А, Мун Ю. С. Золоторудные месторождения Узбекистана: минералого-геохимический стиль, закономерности размещения и формирования // Геология и минеральные ресурсы. – 2009. – № 4. – С. 11–24.
3. Сайитов С. С., Цой В. Д., Печерский Р. Д., Расулова А. В. Вертикальная минералого-геохимическая зональность и схема гипогенного минералообразования участка Джасаул // Горный вестник Узбекистана. – 2022. – № 3.– С. 27–32.
4. Цой В. Д., Королева И. В. Региональная геолого-минералогическая зональность формирования золоторудных месторождений Узбекистана. Современные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы республики Узбекистан / Труды научно-практической конференции. – Ташкент : ИМР, 2007. – С. 167–171.
5. Цой В. Д., Королева И. В., Сайитов С. С., Булин С. Е. Стадийности гипогенного минералообразования рудных месторождений Узбекистана и её значение при оценке перспективности разведуемых объектов // Геология и минеральные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 15–18.
6. Goldfarb R. J., Ryan D., Gregory S. C., Goryachev N. A., Orlandini O. F. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia. – Elsilver. – 2013. – P. 1–55.
7. Minerals Commodity Summaries, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. – 2022. – 202 p. https://doi.org/10.3133/mcs2022.
8. Yakubchuk A. S., Shatov V. V., Kirwin D. et all. Gold and Base Metal Metallogeny of the Central Asian Orogenic Supercollage: Society of Economic Geology // Inc. Economic Geology. 100th Anniversary Volume. – 2005. –P. 1035–1068.

Салихов В. А., Собиров С. С., Худайбердиев Х. С.
Министерство горнодобывающей промышленности
и геологии Республики Узбекистан, г. Ташкент

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРО- И КОСМОФОТОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ

В последнее время наряду с традиционными методами исследований и картографирования исследуемых объектов в современной геологии, горном деле, рекультивации широкое распространение приобретает так называемое дистанционное зондирование (англ. remote sensing), т. е. сбор, обработка и интерпретация изображений и данных, полученных путем съемок с авиационных и космических носителей, их использование является необходимым инструментом для изучения геологии Республики Узбекистан.

Ключевые слова: дистанционные методы, цифровые изображения, аналоговые снимки, первичные цифровые матрицы, дешифрирование, вещественные комплексы, материалы космической съемки (МКС), материалы дистанционных съемок (МДС), коэффициент световой яркости (КСЯ), линейная комбинация, фотозоны, структурно-геометрические и оптико-структурные признаки.

Природные минеральные ресурсы – одна из основ развития экономики, особенно в рыночных условиях. Поэтому на нынешнем этапе потребность народного хозяйства в них будет расти, что в свою очередь обусловливает увеличение их добычи и наращивание запасов. Эти проблемы решаются в результате глубокого изучения и познания условий формирования, закономерностей размещения различных видов полезных ископаемых и разработки новых методик их поисков, позволяющих проследить рудоконтролирующие геообъекты, особенно на закрытых территориях. Одним из прогрессивных методов поисков, благоприятных для обнаружения различных видов полезных ископаемых, является применение материалов дистанционного зондирования. Космические методы дают информацию для многих отраслей геологии – геотектоники, геоморфологии, сейсмологии, инженерной геологии, гидрогеологии, мерзлотоведения и поисков полезных ископаемых. Поэтому они широко применяются в практике геологоразведочных работ начиная со второй половины XX века.

Территория Центральной Азии в целом и Узбекистана в частности являлась одним из трех полигонных участков, на которых впервые в бывшем СССР разрабатывалась методика геологического дешифрирования космофотоматериалов. По характеру научно-производственных работ применения дистанционных снимков и достигнутых при этом результатов можно выделить три основных этапа.

Эпизодический (1956–1966 гг.). Использование аэрофотоматериалов в отдельных геолого-съемочных работах – геоморфологическое картирование в пределах Чаткало-Кураминских гор.

Опытно-методический (1967–1978 гг.). Аэрофотогеологическое картирование отдельных районов Узбекистана масштаба 1:100 000. Разработка методики геологического дешифрирования и интерпретации материалов дистанционных съемок (МДС). Изучение и систематизация дешифровочных признаков геолого-ландшафтных объектов дневной поверхности. Оценка и анализ геологической информативности фотоматериалов дистанционного зондирования. Составление на основе данных дешифрирования разномасштабных (в основном мелкомасштабных) структурно-тектонических схем эталонных участков, а также макетов аэрокосмофотогеологических карт и схем. На этом этапе особый интерес представляют результаты интерпретации панорамного космоснимка с орбитальной станции «Салют». Изучая эти материалы, С. С. Шульц (мл.) [6] выявил пологие уплотненные сводовые поднятия концентрического строения диаметром от 20–30 до 150–200 км. Впервые по космоснимкам опознаны и оконтурены концентрические структуры Букантау, Тубаберген, Тамдытау, Ирлир, Актау, Кульд-жуктау и др. Выявлены отрицательные в рельефе концентрические морфоструктуры – депрессионные кольца диаметром от 4–6 до 60–80 км. Одновременно ПГО «Ташкентгеология» и «Самаркандгеология» вели специальное мелкомасштабное космоструктурное и опытное космофотогеологическое картирование на конкретных площадях Западного Узбекистана (Нуратау и др.).

Производственный и научно-исследовательский этап космофотогеологических работ (с 1978 г. по настоящее время). При геолого-съемочных, поисковых, гидрогеологических и других работах в обязательном порядке (согласно специальному приказу) стали применяться материалы космического зондирования в подразделениях Госкомгеологии и научно-исследовательских институтах. Проводится аэрофотогеологическое (масштаб 1:50 000) и космофотогеологическое картирование (1:200 000) в Западном Узбекистане. Исследования ориентируются на оценку геологической информативности космических снимков, повышение достоверности и объективности интерпретации полученных при дешифрировании данных, а также на совершенствование методики дистанционных работ. На третьем этапе наиболее значительные результаты достигнуты при проведении нового вида региональных геологических работ – аэрофотогеологического (1:100 000 и 1:50 000) и космофотогеологического (1:200 000) картирования, в которых участвовали: Е. В. Панченко, А. Г. Политов, Б. Т. Алишин (Чаткало-Кураминский регион); И. С. Рапота, Ю. А. Александров (Мальгузар); А. К. Бухарин, К. А. Кешишян, И. Б. Айсанов, А. В. Толоконников, И. А. Пяновская, В. С. Корсаков, Е. И. Барковская, Р. Усманов (Западный Узбекистан), Ю. И. Лошкин, Д. Я. Ахбор, А. А. Кулеш и др. (Нуратау). Достоинство АФГК-100 – разработка легенды карты нового типа для Чаткало-Кураминской зоны (А. Г. Политов, Е. В. Панченко). В ее основе – отдешифрированные структурно-вещественные комплексы, изображенные на МДС. Одновременно, согласно разработанным рекомендациям по применению аэровысотных

и космических снимков при геолого-съемочных, поисковых, инженерно-геологических и гидрогеологических работах, обобщены способы применения МДС, обеспечивающие методическую базу для последующих исследований. Разработаны отдельные приемы интерпретации данных дешифрирования. В частности, выделение барьерных линий (А. В. Перетрутов) является важным приемом при картировании глубинных разломов, флексур и блоков. Эта методика позволила решить задачи поиска перспективных на нефть и газ структур (И. М. Эйдельмант, В. С. Кочубей, 1978 г.) в пределах Юго-Западного Гиссара. С помощью дешифрирования АФС установлена возможность картирования трубок взрыва в пределах Кочбулакского рудного поля (С. Н. Задорина). Это способствовало широкому использованию МДС в практике геологоразведочных работ. Основные результаты структурно-тектонических и фотогеологических исследований в подразделениях Госкомгеологии обобщены в «Альбоме линеаментов и кольцевых структур Средней Азии масштаба 1:1 000 000» (под редакцией Х. Т. Туляганова, 1979 г.), составленном А. К. Глухом, В. И. Внучковым, О. И. Кимом, а также «Схеме основных линейных и кольцевых структур Казахстана и Средней Азии» масштаба 1:1 500 000.

В последнее десятилетие в области дистанционного зондирования произошли существенные изменения, связанные с созданием нового поколения технических средств (сканерные, радарные и др.) получения цифровых изображений окружающей среды и разработкой компьютерных средств их обработки. В настоящее время все развитые страны мира пользуются цифровыми изображениями космических съемок. В Центральной Азии, в частности в Узбекистане, проведенные в более раннее время многочисленные космофотогеологические разработки основаны только на данных аналоговых (фото) материалов дистанционного зондирования. Цифровые первичные матрицы почти не применялись (отсутствие необходимой современной техники и программных средств обработки цифровых матриц). Это привело к сравнительно невысокому уровню извлечения фотогеоинформации, содержащейся на материалах аэро- и космических съемок, крайне низкой производительности исследований и субъективности конечных результатов.

Для повышения эффективности космофотогеологических исследований в Узбекистане и устранения вышеотмеченных недостатков прежде всего должны быть разработаны нормативно-методические документы, в которых обусловливается необходимость перехода на современный уровень использования компьютерных средств и цифровых данных космического зондирования в едином комплексе дистанционных методов при решении различных задач природоресурсного и природоохранного характера. Это объясняется тем, что компьютерная обработка первичных цифровых данных позволяет воспроизводить изображение дневной поверхности в многочисленных вариантах и желаемом масштабе в лабораторных условиях.

За рубежом апробировано 256 вариантов обработки, позволяющих получать такое же число изображений с разными, но взаимодополняющими фотосведениями. Использование геофотоинформации, интегрированной в материалах дистанционного зондирования с цифровыми данными, могло бы поднять на совершенно новую ступень дистанционные методы геологических исследований в нашей стране (методы, отвечающие мировым стандартам).

Исходя из вышеизложенного, с учетом современных требований и инструкций, принимая во внимание реальные возможности отечественной космофотогеологии, технических и материальных ограничений настоящего периода, основные направления дальнейших геологоразведочных работ в стране, ведущими специалистами предложены следующие мероприятия и основные направления дистанционных методов.

1. Создание ведомственных (или межведомственных) центров обработки МДС, необходимых для преобразования как аналоговых, так и цифровых данных зондирования с целью их представления в виде, наиболее пригодном для решения научно-прикладных задач. Создание компьютерных технологий интегрированного анализа МДС различного вида при региональных геологических исследованиях, составлении прогнозно-минерагенических карт разного масштаба, геоэкологических мероприятиях, мониторинге геологической среды и др.

2. Создание банка данных КСЯ вещественных объектов поверхности, расположенных в различных ландшафтно-территориальных условиях Узбекистана, полученных в разное время (сезона, суток). Это позволит установить оптико-технические параметры МДС, несущие наибольшую фотогеоинформацию.

3. Осуществление целенаправленных работ по разработке методики дешифрирования структурных неоднородностей закрытых территорий на основе компьютерной обработки цифровых данных космического зондирования.

4. Формирование специализированного банка данных аэро- и космической фотоинформации в цифровой и аналоговой формах для обеспечения потребностей подразделений Мингеологии РУз, научно-исследовательских институтов и других заинтересованных учреждений.

5. Создание фототеки, оптимально представленной в цифровом и аналоговом видах МДС.

6. Подготовка кадров, владеющих компьютерной техникой и способами обработки цифровых и аналоговых материалов дистанционного зондирования.

Список литературы

1. Гарбук С. В., Гершензон В. Е. Космические системы дистанционого зондирования Земли. – М. : Издательский проект «А и Б», 1997. – 296 с.
2. Кашкин В. Б., Сухинин А. И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
3. Кринов Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований. – М.–Л. [СПБ.] : АН СССР, 1994
4. Лурье И. К., Косиков А. Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / под. ред. А. М. Берлянта. – М. : Научный Мир, 2003. – 168с.
5. Эргашев Ш. Э., Асадов А. Р. Методика выявления концентрических структур западной части гор Кульджуктау на основе цифровых изображений // Труды Международной научно-практической конференции «Инновация-200». – Бухара, 2000. – С. 32–35.
6. Эргашев Ш. Э., Исаходжаев Б. А. Новое в методике использования материалов космической съемки в решении геологических задач // Материалы научно-практической конференции «Космические исследования, технология и конверсия». – Ташкент : Узбеккосмос, 1997.
7. Falkner E., Morgan D. Aerial mapping. Methods and Applications. – 2002.

Сейтмуратова Э. Ю., Сайдашева Ф. Ф., Горяева В. С., Баратов Р. Т., Даутбеков Д. О., Машрапова М. А., Даулетулы А.

ИГН им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

К ПРОБЛЕМЕ ОСВОЕНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ЖОНГАРО-БАЛХАШСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ (КАЗАХСТАН)

Сообщается о широком распространении в позднепалеозойских вулкано-плутонических поясах (ВПП) Казахстана золотосеребряного оруденения эпитермального типа и об отсутствии при этом крупных месторождений, которые характерны для всех современных ВПП мира. Авторы считают, что одной из главных причин этого являются неверные методы, используемые для оценки и поисков эпитермальных Au-Ag проявлений.

Ключевые слова: вулкано-плутонические пояса, эпитермальные, золотосеребряные, близповерхностные месторождения.

Обширная литература по металлогении вулкано-плутонических поясов современных глобальных подвижных поясов (Тихоокеанского, Средиземноморского и др.) характеризует их наиболее продуктивными структурами Земли в металлогеническом отношении. Действительно, ВПП Тихоокеанского сегмента Земли насыщены месторождениями меди, полиметаллов, золота, серебра, олова, вольфрама и других полезных ископаемых, среди которых ведущими являются различные эпитермальные (близповерхностные) месторождения [1–3, 4, 6, 9, 10]. Повышенная металлоносность ВПП является следствием их полицикличного развития, многократным проявлением рудообразующих процессов. Широко распространенный эпитермаль-

ный тип оруденения (медно-порфировое, золото-серебряное и др.) интересен прежде всего, возможностью организации отработки их открытым способом [5].

В свете отмеченного уже в начале XX века пристальное внимание геологов бывшего СССР привлекали регионы Центрального и Южного Казахстана, характеризующиеся широчайшим проявлением девонского и позднепалеозойского вулканизма и интрузивного магматизма, продукты которых являются ведущими образованиями герцинской Жонгаро-Балхашской складчатой системы (ЖБСС) и оказались также продуктивными на многочисленные виды полезных ископаемых [7, 8]. Отмеченные факты издавна позволяли геологам проводить аналогию между Дальневосточным сегментом Тихоокеанского рудного пояса и Жонгаро-Балхашской складчатой системой, независимо от их разновозрастности, классифицируя ареалы проявления девонского и позднепалеозойского магматизма как окраинно-континентальные (Девонский, Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельский) и внутриконтинентальный Балхаш-Илийский ВПП, которые огромным подковообразным континентальным массивом обрамляют (за исключением юго-восточного сектора) окраинное Жонгаро-Балхашское море [8].

Тематические исследования авторов последних 30–40 лет («Геология и металлогения Балхашского сегмента земной коры, 1983–1992 гг.; «Критерии прогнозной оценки полезных ископаемых БСЗК», 1993–1995 гг.; «Геологическое доизучение масштаба 1:200 000 площади листов L-43-III, IV, IX, X (Акчатау-Коунрадский рудный район)», 1991–2000 гг.; «Геодинамические обстановки формирования геологических формаций ВПП ЖБСС и их новые металлогенические аспекты», 2000–2002 гг. и другие) по геологии и металлогении ЖБСС еще раз показали, что приоритетным оруденением для нее является хорошо изученное здесь медно-порфировое оруденение и относительно новое и слабоизученное эпитермальное золотосеребряное [7].

В то же время среди золоторудных месторождений различной формационной принадлежности в ВПП мира традиционно выделяются эпитермальные золотосеребряные, среди которых наряду с исключительно широко представленными мелкими объектами, бонанцевый характер оруденения которых позволяет рентабельно отрабатывать их без значительных затрат, выявляются крупные и уникальные месторождения [4, 5].

Кроме того, к этой группе относятся прожилково-вкрапленные крупнообъемные месторождения (Гуанахуато в Мексике; Сильвертон-Теллурид, Комшток, Голдфилд и др. в США; Наталкинское, Майское, Светлинское и др. в России), характеризующиеся совмещением разнообразных типов руд, среди которых больший объем составляют руды с невысоким содержанием золота на массу [1–5]. Тем не менее эти месторождения, как показывает мировая практика, рентабельны не только при открытой, но и комплексной (карьерной и подземной) организации добычных работ и использовании соответствующих технологий извлечения золота [5].

Ярким примером подобных объектов является месторождение Раунд-Маунтин (США). При среднем содержании золота в рудах около 1,2 г/т оно давно весьма успешно отрабатывается открытым способом с извлечением металла кучным выщелачиванием. Годовая производительность рудника около 12 млн т руды, суммарные запасы золота более 300 т [4].

О высокой золотоносности ЖБСС, основной составной частью которой являются окраинноконтинентальные (краевой по А. А. Богданову, 1959 г.) Девонский и Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельский и внутриконтинентальный Балхаш-Илийский ВПП, говорится давно (А. Б. Диаров, 1966 г., Б. С. Зейлик, 1968 г. и др.), но из-за отсутствия крупных эпитермальных золоторудных объектов среди мелких, обнаруженных главным образом при проведении поисково-съемочных работ масштаба 1:50 000, планомерных и целенаправленных поисковых работ золоторудных месторождений рассматриваемого типа в ЖБСС все еще не проводилось.

В то же время авторами совместно с П. К. Жуковым в 1990-е годы была проведена работа по оценке общей золото-сереброносности ЖБСС, в результате которой на базе данных по проектам «Ускоренные поиски золота на территории Центрального Казахстана с помощью вертолета» (Б. С. Зейлик, В. А. Ефименко, 1968–1973 гг.) была составлена «Карта золото-сереброносности ЖБСС» масштаба 1:500 000, охватывающая территорию 55 планшетов масштаба 1:200 000. На карте показано более **2000 объектов** различной формационной принадлежности, среди которых, несомненно, преобладают эпитермальные. Из отмеченных на карте проявлений **684 точки минерализации** характеризуются содержанием **Аи от 0,01 до 0,1 г/т; 773 точки – 0,5–1,0 г/т;**

577 точек – 1,0–5,0 г/т и 90 точек – **>5,0** г/т. Дальнейший анализ плотности и интенсивности проявления Au-Ag минерализации позволил на базе вышеупомянутой карты составить «Карту перспективных золоторудных полей, узлов и участков ЖБСС» [7].

Последующее изучение закономерностей проявления выделенных золоторудных площадей показало их большие перспективы в связи с обнаружением по различным геологическим критериям многочисленных аналогий с известными в мире крупными месторождениями данной формационной группы казахстанских Au-Ag проявлений: Тавуа Поло, о. Фиджи – Сымбыл, Южно-Токрауская СФЗ; Уайхи, Новая Зеландия – Кудер, Западно-Токрауская СФЗ; Багио, Филлипины – Архарлы, Сарыозекская СФЗ; Калгурли, Западная Австралия – Таскора, Котанэмель-Калмакэмельская СФЗ и др. В связи со сказанным, регион является весьма благоприятным для выявления крупных эпитермальных Au-Ag месторождений, которые тем не менее, пока не обнаружены, поэтому поиски причин отсутствия крупных эпитермальных Au-Ag месторождений в ВПП ЖБСС путем доизучения наиболее перспективных площадей для выявления крупных объектов этой формации представляются весьма актуальными [6, 10].

Одной из главных причин отсутствия все еще крупных эпитермальных Au-Ag месторождений в ЖБСС, возможно, является принципиально неверная методика их поисков. Так, при проведении поисков подобных объектов не учитывается одна из важнейших закономерностей их проявления – совмещение в одном и том же рудном районе (и даже узле) единичных крупных месторождений с многочисленными рудными объектами небольшого масштаба. Характерным примером подобного распределения золоторудных объектов являются рудные поля месторождений Тавуа Поло (более 120 т), Сильвертон-Теллурид (245 т) и др. Эти крупные месторождения находятся в единых структурах кальдерного типа с многочисленными непромышленными проявлениями: в первом случае – с 21 объектом, во втором – с 37 [5, 9].

Следовательно, при поисках эпитермальных золоторудных месторождений ВПП нельзя ограничивать их оценку выявлением лишь одного-двух проявлений, находящихся в пределах перспективной рудной площади или рудного узла, а необходимо оценивать всю потенциально рудоносную площадь, которые выделяют в ЖБСС сотнями.

Для оценки золоторудных площадей данного типа необходимо проведение прежде всего площадных геохимических работ – литогеохимического опробования масштаба 1:10 000 со сгущением сети опробования до 1:2000 и 1:1000 масштабов на участках с наиболее широко проявленными метасоматическими изменениями. Возможно также проведение калиевой гамма-съемки и ртутометрии. И только на выявленных таким образом аномалиях Au и Ag и их элементов-спутников необходимо проведение более «тяжелых» видов поисковых работ – горных выработок и бурения. Последнее не должно быть малоглубинным, так как для моделей эпитермальных месторождений необходимо учитывать многоярусное проявление оруденения, что устанавливается во многих рудных узлах ВПП Тихоокеанского металлогенического мегапояса.

В итоге проведения площадных поисковых работ на Au-Ag проявлениях возможна их переоценка как крупнообъемных вкрапленных и прожилково-вкрапленных (штокверковых) месторождений. Оцененные таким образом рекомендуемые золоторудные объекты могут пополнить фонд реальных перспективных площадей.

Список литературы:

1. Гончаров В. И., Буряк В. А., Горячев Н. А. Крупнообъемные месторождения золота и серебра вулканогенных поясов // Доклады академии наук. – 2002. – Т. 387, № 5. – С. 678–680.
2. Горячев Н. А., Волков А. В., Сидоров А. А., Гамянин Г. Н., Савва Н. Е. Округин В. М. Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера. – 2010. – № 3. – С. 36–50.
3. Звездов В. С., Минина О. В. Принципы прогноза и оценки перспектив комплексных рудных районов в вулкано-плутонических поясах // Геология и охрана недр. – 2012. – № 2 (43). – С. 21–37.
4. Константинов М. М. Металлогения вулкано-плутонических поясов Тихоокеанского кольца // Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований. – Владивосток, 2008. – С. 106–120.

5. Нарсеев В. А., Шашкин В. М. Стратегическое направление развития добычи благородных металлов (проблема крупнообъемных месторождений) // Геология и охрана недр. – 2012. – № 1. – С. 2–5.
6. Некрасов Е. М. Перспективные типы зарубежных эпитермальных месторождений золота // Геологические методы поисков, разведки и оценки месторождений металлических полезных ископаемых. Обзор. – М., 1991. – 48 с.
7. Сейтмуратова Э. Ю. Золотоносность позднепалеозойских вулкано-плутонических поясов ЖБСО (проблемы ее изучения и освоения) // Геология и разведка недр Казахстана. – Алматы. – 1998. – № 2. – С. 13–24.
8. Сейтмуратова Э. Ю. Поздний палеозой Жонгаро-Балхашской складчатой области. – Алматы, 2011. – 279 с.
9. Сидоров А. А., Волков А. В., Галямов А. Л. О металлогении Тихоокеанских вулканических поясов // Вулканология и сейсмология. – 2019. – № 6. – С. 23–35.
10. Шер С. Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). – М., 1972. – 296 с.

Серов И. В., Кошкарев Д. А.
УМСБ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВ КОРЕННЫХ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ)

Рассматриваются текущие результаты геологоразведочных работ, состояние МСБ коренных алмазов Группы «АЛРОСА», разработанные направления поисков алмазных месторождений (кратко-, средне- и долгосрочные планы), организационные вопросы постановки разномасштабных геологических работ в Республике Саха (Якутия), Архангельской области, Красноярском крае.

Ключевые слова: месторождение алмазов, прогнозные ресурсы, минерагеническое районирование, программа развития поисковых работ, средне- и долгосрочное планирование.

Совокупный объем МСБ алмазов на территории РФ, вовлеченный в отработку действующими производственными мощностями, оценивается приблизительно в 500 млн кар. Это позволит алмазодобывающим предприятиям поддерживать алмазодобычу на уровне 40 млн кар в год на протяжении ближайших 12 лет. Соответственно, в предстоящее десятилетие имеющаяся сырьевая база отрасли может быть исчерпана на 80 %. Оценивается, что к 2035 г. запасы алмазов эксплуатируемых месторождений будут значительно истощены. В этой связи перед отраслью стоит весьма острая задача по восполнению и увеличению выбывающих запасов алмазов в рамках средне- (5 лет) и долгосрочного (10 лет) планирования в рамках трёх пятилеток.

Около 68 % запасов Группы «АЛРОСА» (далее – Группа) находятся в отработке или могут быть вовлечены в отработку при текущем уровне цен на алмазы, обеспечив требуемый уровень доходности инвестиций в кратко- и среднесрочной перспективе. Еще ~ 32 % запасов также могут быть вовлечены в рентабельную отработку в случае изменения цен на алмазы, развития технологий, получения государственных субсидий. Показатели последних 10 лет: +284,3 млн (в среднем 28,4 млн кар/год, 261 руб./кар – по всему комплексу ГРР+ЭРР).

Стратегической целью геологического комплекса является формирование эффективной инновационной системы геологического изучения недр в целях воспроизводства и создание надежной сбалансированной МСБ, обеспечивающей долгосрочное развитие Группы. Высокая степень неопределенности текущей ситуации подразумевает способность гибко реагировать на изменения, происходящие во внешней среде, умело сочетать прогнозирование, стратегическое, долгосрочное и текущее планирование.

Исходя из целевой установки – простое воспроизводство – основными источниками прироста МСБ алмазов рассматриваются:

• результаты ГРР за счет собственных средств на лицензиях Группы (поиски, создание НПА на стадиях оценки и разведки – основной источник);

• разведка глубоких горизонтов и флангов известных коренных месторождений (исчерпание объектов к 2025 г.);

• за счет эксплуатации и эксплуатационной разведки действующих месторождений (минимальный вклад с отклонениями «+/-»);

• результаты ГРР за счет средств федерального бюджета (нет понятной программы и политики в области государственного геологического изучения недр);

• приобретения активов на аукционах (в основном россыпи);

• разработанные ГРК Группы программы поисковых работ – основного источника прироста запасов, основаны на локализации разноранговых перспективных площадей и разработке эффективных технологий их опоискования:

• движение к повышению качества апробации нелокализованных прогнозных ресурсов категории P_3 – критический анализ минерагенического потенциала новых территорий;

• прирост локализованных прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 – целевая задача поисков;

• прирост запасов промышленных категорий C_1 и C_2 в результате оценки и разведки новых объектов;

• движение к сбалансированности МСБ по категориям запасов и ресурсов и ее соответствие планам развития Группы.

Влияние факторов внутренней и внешней среды диктует то, как будет реагировать ГРК Группы, какие будут приниматься решения для достижения поставленной цели и выполнения задач. Комбинация разностадиальных проектов, оптимизация портфеля проектов:

• проведение комплексного геологического изучения территорий и прогнозирование месторождений с выделением перспективных на алмазы территорий для постановки поисковых работ (с высокой долей работ за счет федерального бюджета с попутными поисками) – то, что видится до масштаба 1:100 000 – 1:50 000 в рамках государственного геологического изучения недр. Яркий пример – это открытие Накынского кимберлитового поля при ведении ГС-50 с попутными поисками за счет средств Республики Саха (Якутия).

• открытие новых кимберлитовых полей на стадии поисков для качественного изменения структуры МСБ алмазов (месторождение-лидер, площади под постановку детальных поисков масштаба 1:50 000 – 1:25 000);

• проведение детальных поисковых работ в границах, освоенных промышленностью алмазоносных районов (полей): Среднемархинского, Далдыно-Алакитского, Малоботуобинского, Анабарского, Приленского в Западной Якутии, а также Зимнебережного района в Архангельской области, проведение оценки и разведки выявленных месторождений – собственный источник финансирования Группы.

В процессе локализации перспективных площадей, постановки проектных геологических задач для целей определения платежей за пользование недрами проводится:

• Первичное обоснование перспективности территорий различного ранга (правильно спрогнозированный район – основа успеха поисков);

• Анализ движения прогнозных ресурсов (ПР), что является основой для постановки ГРР и перехода к следующей стадии

• Оценка потенциального эффекта от инвестиций – на основе количественной оценки прогнозных ресурсов (масштаб рудопроявления).

Необходимы следующие организационные шаги:

• Однозначность критериальной базы – необходимость ограничения необоснованных оценок путем расширения и конкретизации критериальной базы с усилением роли прямых поисковых признаков на основе современных научных представлений (профильные НИИ Роснедр);

• Объективность оценки – разработка на сайтах ведомственных институтов автоматизированных систем расчета ПР по вводимым обязательным и рекомендуемым значениям параметров рудопроявления (прямых признаков с указанием их весов);

• Научно-методический подход – структурирование и доступ к актуальной научно-методической литературе по оценке ПР на ТПИ (обновление подходов в оценке ПР по коренным

алмазам). Сама формулировка, что ПР «категории P_2 учитывают возможность обнаружения… новых» МПИ (Приказ Минприроды № 278 от 11.12.2006) привела к необоснованным оценкам P_2, например, Накынского кимберлитового поля и ресурсов ряда отдельных тел (критерий «содержание»);

• Оперативное реагирование – ежегодный мониторинг отчетной информации недропользователей об авторской оценке ПР, которая направляется в составе обязательной отчетности в РФГИ. Проведение консультаций, вынесение решений по приросту/уросту на УС профильного НИИ и дальнейшее утверждение Заключений комиссиями Роснедр с постановкой на государственный учет в кадастре МПИ и рудопроявлений на базе РФГИ;

• Разработка стандарта геологической отчетности (для юниорных компаний в первую очередь), где раскрываются результаты поисковых работ – P_2 – для приближения к объективной оценке результатов поисковых работ в целях привлечения инвестиций на бирже или крупных недропользователей в дальнейшие поисковые-оценочные ГРР. Он должен отличаться от применяемого сейчас отчетного ГОСТа и содержать в себе Заключение Роснедр по государственной апробации ресурсов;

• Совершенствование НПА – разработка механизмов госрегулирования (Закон РФ« О недрах», понятийный аппарат, порядок апробации, получение согласования программы ГРР с другими недропользователям при подготовке материалов для включения в Перечень участков недр и правил аукциона, когда для согласующего по итогам аукциона на территории оказывается другой пользователь недр);

• Объективность расчета платежей – разовые, стартовые аукционные платежи (при включении в Перечень) за пользование недрами в пределах которых оценены ресурсы P_3.

Сегодня ГРК Группы «АЛРОСА» реализует программу ГРР в Дальневосточном федеральном округе (Республика Саха (Якутия)), Сибирском федеральном округе (Красноярский край и Иркутская область), Северо-Западном федеральном округе (Архангельская область), которая опирается на авторскую и апробированную оценку ПР. Программа ГРР включает также совместные работы в рамках государственных заданий ведомственных институтов Роснедр (ЦНИГРИ, ВСЕГЕИ и др.) и научных программ институтов Минобрнауки, согласованных с РАН (ИЗК СО РАН, ИГМ СО РАН).

Планирование осуществляется по следующим направлениям:

1. Разработка конкурентных решений (проектирование/результаты ГРР);
2. Внедрение прогрессивных технологий: геофизика, обогащение, поисковые технологии, рудничные технологии для решения геологических задач;
3. Совершенствование организации производства: создание единого геологического предприятия, реструктуризация действующего производства;
4. Автоматизация производственных процессов (отдельные многочисленные процессы на единой геоинформационной платформе);
5. Снижение расхода производственных ресурсов (ценообразование, отдельные программы снижения затрат);
6. Совершенствование управления производством (центр управления проектами и экспертный центр, служба главного геолога);
7. Расширение географии ГРР и диверсификация (золото);
8. Улучшение условий труда (культура производства), повышение профессионализма персонала (кадровая политика).

Региональное геологическое изучение за счет средств недропользователей не позволит полномасштабно реализовывать работы регионального характера, направленные на формирование поискового задела на перспективу. Такие работы целесообразно инициировать под эгидой Минприроды РФ профильным институтам, имеющим опыт в выполнении геолого-съемочных работ с локализацией прогнозных ресурсов.

Разрешение – запрет – разрешение на этапе региональных работ не принесет положительного эффекта в процессе геологического изучения недр. Необходимо возвращаться к схеме государственного геологического изучения до масштаба 1:50 000 за счет федерального бюджета с ведением попутных поисков на профильные для недропользователей виды ПИ за их счет.

Необходим пересмотр «Временных рекомендаций 1999» по стадийности ГРР, которыми оперируют внешние эксперты при проведении экспертизы ПД на геологическое изучение. Яркий пример – это проектирование поисковых работ в Красноярском крае (Хушмуканский).

Переход к комплексным среднесрочным программам исследования территорий на основе единых проектных решений, в которых поисковую часть финансирует недропользователь, позволит государству сдвинуть ситуацию с места, а недропользователям оптимизировать затраты и ставить детальные поиски на установленных рудно-россыпных районах/полях.

Сидорова Е. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

К 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЫДАЮЩЕГОСЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИХАИЛА НИКОЛАЕВИЧА ГОДЛЕВСКОГО

К 120-летнему юбилею знаменитого исследователя норильских медно-никелевых месторождений М. Н. Годлевского издана документальная книга о его жизни и работе – «Из глубины норильских руд. Михаил Годлевский». В ходе работы над книгой на основе документов из Российского государственного архива экономики и архива ФГБУ «ЦНИГРИ», в том числе материалов неопубликованной докторской диссертации М. Н. Годлевского (1959), авторы по-новому оценили масштаб сделанного ученым в 1947–1957 гг. В книге впервые объективно отражены условия жизни и исследований М. Н. Годлевского в этот период. Материалы книги стали основой для организации в Музее Норильска выставки «Архив Годлевского» в октябре 2022 – феврале 2023 г.

Ключевые слова: Михаил Николаевич Годлевский, сульфидные медно-никелевые месторождения, ЦНИГРИ, РГАЭ, Музей Норильска.

В 2022 году научное сообщество отметило 120-летний юбилей профессора М. Н. Годлевского, крупнейшего специалиста в области геологии магматических рудных месторождений, совершившего в середине XX века прорыв в познании природы норильского рудогенеза. В Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов, в котором М. Н. Годлевский работал последние 20 лет жизни, издана книга о его судьбе и научном творчестве – «Из глубины норильских руд. Михаил Годлевский» [1]. Работа велась в развитие мемориального проекта ФГБУ «ЦНИГРИ» – издания книжной серии о знаменитых исследователях рудных месторождений, работавших в этом институте. В подготовке книги о М. Н. Годлевском приняли участие научные сотрудники ФГБУ «ЦНИГРИ», МГУ им. М. В. Ломоносова, ГЕОХИ РАН, ООО «Институт Гипроникель», ИГЕМ РАН, Музея Норильска, ЦНИГР музея ВСЕГЕИ, Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан, Российского государственного архива экономики (РГАЭ), специалисты Департамента общественных связей ПАО «ГМК “Норильский никель”».

На основе архивных документов, хранящихся в Российском государственном архиве экономики, в том числе никогда ранее не публиковавшихся воспоминаний коллег М. Н. Годлевского и его собственных рукописных заметок, по-новому оценен масштаб научных исследований, проведенных им в 1947–1957 гг. в Норильске. Установлено, что его докторская диссертация «Траппы и сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района» (1959), так и не опубликованная по соображениям секретности, содержала энциклопедические сведения о норильских рудных месторождениях, полученные автором на последнем уровне инструментальных исследований, доступных в 50-е годы XX века. Причем эти оригинальные данные представлены в сопоставлении с характеристиками всех известных на тот момент медно-никелевых месторождений мира, что оказалось подвластно автору благодаря владению основными иностранными языками, на которых традиционно публикуются научные издания в области геологии. Известно, что в 1960-е годы академик В. И. Смирнов безуспешно выдвигал кандидатуру М. Н. Годлевского на выборы в АН СССР. Если бы полный текст диссертации «Траппы

и сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района» мог быть своевременно опубликован в виде монографии, это с высокой степенью вероятности послужило бы достаточным основанием для избрания М. Н. Годлевского в члены АН СССР. Однако единственной общеизвестной работой М. Н. Годлевского остается монография «Траппы и рудоносные интрузии Норильского района» (1959), представляющая собой лишь незначительную часть его основного эпохального труда по норильским месторождениям.

Благодаря архивным материалам удалось составить адекватное представление об условиях научной работы М. Н. Годлевского на Норильском комбинате в 1947–1957 гг. Во-первых, в геологическом бюро, куда Михаил Николаевич был прикомандирован в числе других репрессированных специалистов, он единственный имел профессиональное образование. Для того чтобы вести нормальную работу, Годлевский немедленно организовал курсы повышения квалификации для сотрудников. Во-вторых, в течение почти всего срока работы он не имел доступа к геологической научной литературе и должен был восстанавливать литературные сведения по памяти. Довоенная работа с литературой, которую М. Н. Годлевский вел как научный консультант Центральной геологической библиотеки в Ленинграде и составитель аналитических обзоров, пригодилась ему, когда понадобилось обрабатывать оригинальный материал по норильским месторождениям без возможности сопоставлять с литературными источниками. В-третьих, многие отчеты ученого были анонимными или даже числились под другими авторскими фамилиями из-за статуса заключенного, в котором он начал свои исследования в Норильске. Сразу же, как только стало возможно, М. Н. Годлевский поспешил опубликовать свои данные. В этом ему помогли А. Г. Бетехтин, В. С. Соболев, Д. П. Григорьев, Д. С. Коржинский, начиная с 1956 года представлявшие его статьи в научные журналы и тематические сборники.

Показано, что М. Н. Годлевский может по праву быть причислен к плеяде ученых-энциклопедистов, поскольку сфера его интересов и продуктивной работы охватывала многие области науки: металлогению, физикохимию процессов рудообразования, геохимию, петрографию, минералогию, кристаллографию, историю науки, применение математического аппарата в геологии. В 1950-е годы он нашел время для реализации совершенно особой работы, призванной сделать геологию *«математически точной и современной и, вместе с тем, такой лёгкой и простой».* Этой цели должен был послужить написанный им учебник «Приложение теории вероятностей к решению геологических проблем» (1955), который так и остался в рукописи подобно многим работам, опередившим свое время. В 2022 году (то есть почти семь десятилетий спустя) специалист в области математической геологии доктор геол.-минерал. наук Владимир Львович Лось написал в книге «Из глубины норильских руд. Михаил Годлевский» о данной монографии: «*Это та работа, которая была так нужна нам в 50-80-е годы. Такая книга в те годы могла бы значимо поднять теоретический уровень математизации геологии и прикладные результаты геологоразведки. Но и сейчас она представляет несомненный интерес*».

Участники проекта провели следующую работу для сохранения памяти о выдающемся исследователе рудных месторождений и организаторе исследований медно-никелевых месторождений в ЦНИГРИ М. Н. Годлевском:

• восстановили или уточнили многие факты его биографии, ныне отраженные в книге;

• подготовили и опубликовали обширный аналитический обзор исследований норильского рудогенеза, проводившихся самим ученым, его учениками, последователями и оппонентами в период с 1959 по 2022 г. [2, 3];

• впервые составили полную библиографию ученого и дополнили список его опубликованных работ перечнем написанных им (в т.ч. в соавторстве) производственных отчетов из геологических фондов ФГБУ «ЦНИГРИ» и Красноярского филиала ФГБУ «ТФГИ по Сибирскому федеральному округу»;

• информировали широкого читателя о хранении в РГАЭ четырехтомной диссертации М. Н. Годлевского на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук «Траппы и сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района» (1959), не опубликованной по соображениям секретности. Эта работа и сегодня представляет интерес для специалистов, т. к. автор исследовал особенности месторождения Норильск 1, ныне уже недоступные для изучения;

• информировали широкого читателя о хранении в РГАЭ рукописи учебного пособия «Приложение теории вероятностей к решению геологических проблем», составленного М. Н. Годлевским в первой половине 1950-х годов, опередившего свое время, своевременно не опубликованного, но и сегодня представляющего ценность для специалистов по математической геологии;

• представили широкому читателю геологические коллекции М. Н. Годлевского, собранные в 1930–1940 гг. и сохраненные в ЦНИГР музее им. академика Ф. Н. Чернышова;

• подготовили материалы для организации в Музее Норильска выставки «Архив Годлевского» (октябрь 2022 – февраль 2023 гг.), созданной на основе фондовых материалов самого музея и документов личного фонда М. Н. Годлевского в РГАЭ и ставшей значительным мероприятием по популяризации достижений отечественной геологии и имен российских геологов;

• выступили с докладами о М. Н. Годлевском на XXXIV Смирновских чтениях на геологическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова и публичных мероприятиях в рамках выставки «Архив Годлевского» в Норильске с последующей их публикацией [4];

• способствовали развитию научного диалога в обсуждении спорных вопросов норильского рудогенеза, инициировав организацию в рамках XII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» в ЦНИГРИ в 2023 г. секции «Проблемы генезиса, поисков и разведки платиновых и медно-никелевых месторождений».

Список литературы:

1. Из глубины норильских руд. Михаил Годлевский / под ред. А. И. Черных; сост. Е. В. Сидорова. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2023. – 490 с.
2. Криволуцкая Н. А. Основы теории магматического рудообразования в трудах М. Н. Годлевского и их современное развитие // Руды и металлы. – 2022. – № 4. – С. 119–135.
3. Спиридонов Э. М. Норильские рудоносные интрузивы и сульфидные руды. К 120-летию М. Н. Годлевского // Отечественная геология. – 2022. – № 6. – С. 95–116.
4. Старостин В. И., Сидорова Е. В. Михаил Николаевич Годлевский – ученый-энциклопедист из плеяды выдающихся геологов XX века. К 120-летию со дня рождения // Смирновский сборник–2023. (В печати).

Симаков С. К.
ООО «АДАМАНТ», г. Санкт-Петербург

НОВЫЙ ПИРОПОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ КИМБЕРЛИТОВ

Предложен новый петролого-минералогический критерий оценки потенциальной алмазоносности кимберлитовых пород на основе термооксибарометрии пиропа. Для оценки потенциальной алмазоносности применяются оксибарометры, отражающие окислительно-восстановительные условия в образования глубинных ксенолитов и ксенокрист пиропа в мантии.

Ключевые слова: кимберлит, пироп, потенциальная алмазоносность, термооксибарометрия, флюид.

Для оценки потенциальной алмазоносности кимберлитов широко применяются минералогические критерии по составу минералов-спутников алмазов (МСА), содержание которых в десятки раз больше, чем алмазов. В производстве в основном используются методы оценки по пиропу, хромшпинелиду, клинопироксену и ильмениту. Наиболее распространенными являются Ca-Cr пироповые методы оценки по Соболеву и Герни [5, 6]. Однако, как показывает практика, эти минералогические критерии работают не для всех объектов. В разных алмазоносных субпровинциях мира отмечается несоответствие между установленной опробованием

и оцениваемой по минералогическим критериям алмазоносностью. В этой связи очевидна актуальность разработки новых критериев оценки потенциальной алмазоносности кимберлитов.

В последнее время ряд исследователей на основе минералогических исследований приходит к заключению, что образование алмазов в верхней мантии связано в основном с флюидами [1, 9, 10]. Физико-химические модели образования алмазов из флюидов в условиях мантии известны давно. И. Д. Рябчиковым была предложена физико-химическая модель, согласно которой наиболее благоприятными составами для образования алмазов являются водные [2]. Они имеют минимальные содержания углерода во флюиде и, таким образом, соответствуют максимальной возможности образования свободной фазы углерода (графита или алмаза) из флюида. Это соответствует, с одной стороны, процессам восстановления CO_2, с другой – процессам окисления углеводородов по реакции:

$CO_2 + CH_4 = 2C + 2H_2O$

Двууглекислые флюиды являются неблагоприятными для образования углерода, в этих условиях происходит превращение углерода в CO_2 и далее в карбонаты.

Для оценки состава флюидов в кимберлитах и мантийных перидотитах используются кислородные барометры (фугометры или оксометры), на основе минеральных равновесий с участием граната, включающих обмен Fe^{+2} и Fe^{+3} [6, 7]. На их основе был разработан пироповый оксометр, применимый для ксенокрист из кимберлитов и кимберлитоподобных пород [3].

Проведенные расчеты составов C–O–H флюидов по данной методике показали, что алмазоносные ксенолиты и включения в алмазах соответствуют существенно водным составам флюида с низким содержанием атомарного углерода, и таким образом соответствуют максимальной возможности образования и сохранности алмаза из природных флюидов при данных условиях. На диаграмме C–O–H их средние составы смещены в восстановительную водородную область, в то время как неалмазоносные ксенолиты смещены в область двууглекислых флюидов. Таким образом на диаграмме C–O–H можно выделить «алмазную флюидную область», перекрывающуюся со средними составами флюидов, извлеченных из алмазов. Расчеты по имеющимся данным для пиропов из 10 крупнейших по запасам кимберлитовых трубок мира показывают, что все они лежат в алмазной флюидной области водных составов флюидов.

Тестирование данной методики для пироповых ксенокрист из известных алмазоносных и неалмазоносных 38 африканских и якутских трубок (всего более 9000 анализов) показало, что на диаграмме C–O–H алмазоносные трубки находятся в основном в области водных флюидных составов, соответствующих алмазной области [7]. Данный метод успешно ранжирует южноафриканские, ангольские и канадские кимберлитовые трубки по потенциальной алмазоносности. При этом коэффициент корреляции Пирсона (r) между содержанием алмазов и расчетным по данной методике атомарным составом флюида соответствует интервалу в 0,433–0,476, что значительно выше коэффициентов корреляции по Ca-Cr пироповым методам (0,1 и 0,22 по Соболеву и Герни соответственно [5, 6]).

Таким образом, используя данный минералого-петрологический критерий, можно выполнять ранжирование кимберлитовых пород по степени потенциальной алмазоносности. Также посредством данного инструмента при поисковых работах можно ранжировать ореолы рассеяния МСА по степени перспективности, нацеливая поиски на заведомо алмазоносные объекты.

Список литературы:

1. Похиленко Н. П. [и др.]. Взаимоотношения карбонатитового метасоматоза деплетированных перидотитов литосферной мантии с алмазообразованием и карбонатит-кимберлитовым магматизмом // Геология и геофизика. – 2015. – № 56. – С. 361–383.
2. Рябчиков И. Д. Природа кимберлитовых «магм» // Геология рудных месторождений. – 1980. – № 6. – С. 18–26.
3. Симаков С. К. Модель гранатового оксибарометра для мантийных перидотитов и оценка потенциальной алмазоносности на его основе // Доклады Академии наук. – 2013. – № 448. – С. 443–445.
4. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск : Наука, 1974. – 264 с.

5. Gurney J. J., Glover J. E., Harris P. G. A correlation between garnets and diamonds, kimberlite occurrence and origin: a basis for conceptual models in exploration / Geology Department, University Extension, University of Western Australia. – 1984. – Publ. 8. – P. 143–166.
6. Simakov S. K. Redox state of Earth's upper mantle peridotites under the ancient cratons and its connection with diamond genesis // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1988. – № 62. – P. 1811–1820.
7. Simakov S. K. Redox state of eclogites and peridotites from sub-cratonic upper mantle and a connection with diamond genesis // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2006. – № 151. – P. 282–296.
8. Simakov S. K., Stegnitskiy Yu. A new pyrope-based mineralogical-petrological method for identifying the diamond potential of kimberlite/lamproite deposits // Ore and Energy Resource Geology. – 2021. – № 7. – P. 1000
9. Sobolev N. V., Tomilenko A. A., Bul'bak T. A., Logvinova A. M. Composition of Hydrocarbons in Diamonds, Garnet, and Olivine from Diamondiferous Peridotites from the Udachnaya Pipe in Yakutia, Russia // Engineering. – 2019. – № 5. – P. 471–478.
10. 10. Stachel T., Luth R. W. Diamond formation – Where, when and how? // Lithos. – 2015. – P. 220–223, 200–220.

Симаков С. К.[1], Устинов В. Н.[2]
[1] ООО «АДАМАНТ», г. Санкт-Петербург; [2] АО «АГД ДАЙМОНДС», г. Архангельск

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ КИМБЕРЛИТОВ НА ОСНОВЕ СОСТАВОВ ПИКРОИЛЬМЕНИТА (НА ПРИМЕРЕ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО РАЙОНА)

Описан новый петролого-минералогический критерий оценки потенциальной алмазоносности кимберлитовых пород на основе термооксибарометрии ильменита. Для оценки потенциальной алмазоносности применяются оксибарометры, отражающие окислительно-восстановительные условия ксенокрист ильменита в мантии и земной коре.

Ключевые слова: кимберлит, ильменит, потенциальная алмазоносность, термооксибарометрия, флюид.

Пикроильменит относится к минералам, чутко реагирующим на изменение состава кристаллизующейся среды. С. И. Костровицким с соавторами [3] выделяются четыре стадии его образования макро-, и мегакристов: астеносферный, литосферный, диатремный, приповерхностный. Заключительный, четвертый этап кристаллизации представлен ильменитом основной массы [3]. В работе С. Дж. Хорвуда [11] показано, что в южноафриканских кимберлитах пикроильменит может отражать степень сохранности алмазов. Оценка условий равновесной с ксенокристами среды возможна с использованием известных ильменитовых модифицированных термобарометров и оксибарометров. Они предполагают изначальное равновесие пикроильменита с оливином и ортопироксеном и позволяют оценивать температуру, давление, фугитивность кислорода, и в итоге, равновесный состав флюидов, указывающий на вероятность растворения или сохранности алмаза [6]. Согласно известным физико-химическим моделям, наиболее благоприятные условия образования и сохранности алмазов отражают расчетные флюиды существенно водного состава, поскольку они имеют минимальные содержания атомарного углерода и соответствуют максимальной сохранности свободной фазы углерода (графита или алмаза), находящейся в равновесии с природным флюидом [4, 14]. Расчетные флюиды существенно двууглекислого состава являются неблагоприятными для сохранности углерода, в этих условиях происходит его переход в CO_2 и далее в карбонаты.

С использованием методики анализа ильменитовых ксенокрист из кимберлитов якутских и африканских трубок, отличающихся различной продуктивностью, выполнена оценка условий сохранности алмазов [6]. Рассчитанные флюиды показали, что алмазоносные породы из тру-

бок Мирнинского, Далдынского и Верхне-Мунского полей имеют большее содержание воды и, соответственно, меньшее содержание атомарного углерода по отношению к практически неалмазоносным Куонамскому, Мерчимденскому, Омонос-Кутугинскому и Толуопскому, флюиды которых более обогащены CO_2. Аналогичные расчеты для ангольских алмазоносных трубок Чихолонго, Шикуатите показали, что они имеют большее содержание воды и меньшее содержание углерода по сравнению с неалмазоносной трубкой Галанже [6].

Пикроильменит в кимберлитах трубки им. В. П. Гриба встречается в виде дезинтегрированных зерен в составе мантийных ксенолитов (перидотитов) в парагенезисе с минералами мегакристной ассоциации – гранатом и ортопироксеном – и в основной массе пород. В нем присутствуют многочисленные включения полностью серпентинизированных зерен, которые по форме соответствуют оливину [2]. Это позволяет предположить его изначальную ассоциацию с оливином и ортопироксеном. Известно, что состав оливина более или менее постоянен для известных кимберлитов и глубинных ксенолитов Зимнебережнего района и соответствует Fo_{90} [8]. Известна точка зрения о связи ильменита с низкотемпературными расплавами [7]. Согласно изотопным данным, существует генетическая связь мегакристов Mg-ильменита и кимберлитовых расплавов тр. им. В. П. Гриба и тр. Котуга [1]. Исходя из этого, важным моментом становится восстановление *PT*-условий кристаллизации мантийных ксенолитов, отражающих ход эволюции кимберлитового расплава и, соответственно, образования самого ильменита.

В работах Л. И. Саблуковой с соавторами [5] и Е. В. Щукиной с соавторами [9] по перидотитам тр. им. В. П. Гриба построены палеогеотермы на основе температур и давлений, рассчитанных различными термобарометрами. По полученным данным, кристаллизация происходила в диапазоне значений 37–42 mW, которые восстановлены по моделям палеогеотерм Г. Н. Поллака и Д. С. Чапмана [13]. По имеющимся у нас анализам хромдиопсидов из тр. им. В. П. Гриба построена палеогеотерма, по температурам и давлениям перекрывающаяся с палеогеотермами вышеупомянутых авторов и соответствующая значениям теплового потока в 37 mW по модели Д. Хастерока и Д. С. Чапмена [10]. Используя данную палеогеотерму для расчета давления, возможны оценки составов расчетных равновесных флюидов системы C-H-O для пикроильменитов из кимберлитов Зимнебережного района. С помощью данной методики были оценены составы расчетных равновесных флюидов для ильменитов трубок им. В. П. Гриба, Северная, Степная (688), Солоха (751), Галина (478) и тела 734. На диаграмме C-H-O пикроильмениты тр. им. В. П. Гриба и Северная соответствуют максимально водным составам флюидов с наименьшим содержанием атомарного углерода, отвечающих образованию и сохранности алмаза, в то время как ильмениты других трубок имеют более двууглекислые составы, соответствующие растворению алмаза.

Таким образом, предложенная авторами минералого-петрологическая методика позволяет ранжировать кимберлитовые породы по степени потенциальной алмазоносности и выполнять разбраковку ореолов рассеяния минералов-спутников алмаза по продуктивности их коренных источников.

Список литературы:

1. Голубкова А. Б., Носова А. А., Ларионова Ю. О. Мегакристы Mg-ильменита из кимберлитов Архангельской провинции (Россия): генезис и взаимодействие с кимберлитовым расплавом и посткимберлитовым флюидом // Геохимия. – 2013. – Т. 2013. – № 5. – С. 396–427.
2. Каргин А. В., Носова А. А., Сазонова Л. В. и др. Состав ильменита как индикатор условий формирования промышленно-алмазоносных и безрудных кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции // Петрология. – 2020. – Т. 28, № 4. – С. 341–369.
3. Костровицкий С. И., Суворова Л. Ф., Яковлев Д. А. Эволюция состава пикроильменита из кимберлитовых трубок Якутии // Всероссийское совещание «Современные проблемы геохимии». – Иркутск : ИГМ СО РАН, 2012. – Т. 2. – С. 90–93.
4. Рябчиков И. Д. Природа кимберлитовых «магм» // Геология рудных месторождений. – 1980. – № 6. – С. 18–26.
5. Саблукова Л. И., Саблуков С. М., Веричев Е. М. и др. Петрография и химия минералов мантийных ксенолитов и ксенокристов из кимберлитов трубки им. В. Гриба, Зимний берег, Рос-

сия // Труды III Международного Семинара «Плюмы и проблема глубинных источников щелочного магматизма». – Хабаровск; Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2003. – С. 159–187.
6. Симаков С. К. Расчет равновесного C-O-H флюида для ильменитовых ксенокрист и оценка потенциальной алмазоносности на его основе // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 458, № 3. – С. 333–335.
7. Соловьева Л. В., Костровицкий С. И., Калашникова Т. В.и др. Природа флогопит-ильменитовых и ильменитовых парагенезисов в мантийных ксенолитах из трубки Удачная // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 486, № 2. – С. 223–227.
8. Устинов В. Н., Неручев С. С., Загайный А. К. и др. Алмазоносность севера Восточно-Европейской платформы. – СПб. : Наука, 2021. – 410 с.
9. Щукина Е. В., Агашев А. М., Костровицкий С. И. и др. Метасоматические изменения литосферной мантии в районе кимберлитовой трубки им. В. Гриба, Архангельская алмазоносная провинция // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 12. – С. 2153–2172.
10. Hasterok D., Chapman D. S. Heat production and geotherms for the continental lithosphere // Earth Planet. Sci. Lett. – 2011. – V. 307, № 1–2. – P. 59–70.
11. Horwood S. J. The use of upper mantle derived ilmenite to predict preservation of diamond parcels in kimberlite. Unpublished M. Sc. thesis. – University of Cape Town, 1998. – 154 p.
12. Kostrovitsky S. I., Malkovets V. G., Verichev E. M. et al. Megacrysts from the Grib kimberlite pipe (Arkhangelsk Province, Russia) // Lithos. – 2004. – V. 77, № 1–4, Spec. Is. – P. 511–523.
13. Pollack H. N., Chapman D. S. On the regional variations of heat flow, geotherms and lithosphere thickness // Tectonophysics. – 1977. – V. 38, № 3–4. – P. 279–296.
14. Simakov S. K. Redox state of Earth's upper mantle peridotites under the ancient cratons and its connection with diamond genesis // Geoch. Cosm. Acta. – 1998. – V. 62. – P. 1811–1820.

Служеникин С. Ф., Анциферова Т. Н., Бровченко В. Д.
ИГЕМ РАН, г. Москва

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В РУДАХ НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГЕМ РАН, тема № 121-041-500–228–6.

Дана краткая характеристика массивных, вкрапленных, прожилково-вкрапленных, брекчиевидных и малосульфидных руд. Приводятся данные о концентрации платиновых металлов, золота и серебра в разных типах и разновидностях руд, а также формах нахождения этих металлов.

Ключевые слова: содержание благородных металлов, твердые растворы платиновых металлов в сульфидах, минералы платиновых металлов.

Сульфидные руды норильских месторождений ассоциируются с расслоенными интрузивными массивами базит-гипербазитовых пород норильского и зубовского типов. В составе месторождений присутствует несколько типов руд, различающихся параметрами платиноносности. Выделяются Pt-Cu-Ni (массивные) вкрапленные, брекчиевидные, прожилково-вкрапленные в контактово-метаморфических и метасоматических породах и малосульфидные платиновые руды. Каждый тип обладает своими абсолютными и относительными (в расчете на сульфидную массу) содержаниями элементов платиновой группы и своими формами нахождения платиновых металлов.

Массивные руды в настоящее время – наиболее экономически важный тип рудного сырья. В большинстве случаев тела массивных руд локализованы в контактово-метаморфических и метасоматических породах ближнего экзоконтакта рудоносных интрузивов. По латерали протяженность залежей массивных руд достигает нескольких сотен метров. В более редких случаях тела массивных руд располагаются среди пород рудоносных интрузивов, слагая залежи и жилы. Процессы образования массивных руд привели к формированию рудных тел двух

контрастных составов: существенно пирротиновых и богатых медью руд – халькопиритовых, талнахитовых, моихукитовых и кубанитовых. Пирротиновые руды обычно образуют самостоятельные тела, а богатые медью вместе с пирротиновыми рудами образуют зональные залежи.

По параметрам платиноносности эти минеральные типы существенно различаются между собой. Пирротиновые руды характеризуются довольно устойчивыми содержаниями благородных металлов (в г/т): 1,5–2,0 Pt; 7,0–9,0 Pd; 0,6–1,2 Rh; 0,2–0,5 Ru; 0,06 –0,10 (до 0,2) Ir; 0,03–0,05 Os; 0,11–0,26 Au; 4,51–7,52 Ag. На некоторых участках месторождений Талнахское, Норильск 1 и Норильск 2 содержание Rh достигает 10 г/т.

Rh, Ir, Ru и Os практически полностью концентрируются в виде твердых растворов в сульфидах, в основном в пирротине и пентландите. Высокосернистые пирротиновые более богаты Rh, чем низкосернистые. Около 90 % палладия в виде твердого раствора входят в состав пентландита и только небольшая его часть образует собственные минералы. Только Pt практически не образует твердых растворов в сульфидах. Основные платиновые минералы в пирротиновых рудах: сперрилит, куперит, рустенбургит, Fe-Pt сплавы.

Минералы палладия: атокит, стибиопалладинит, паладоарсенит, паоловит, минералы состава Pd_2A, где A – Sn, Sb, As, соболевскит. Минералы Rh – холлингвортит. Минералы Au – самородное золото, минералы Ag – аргентопентландит, Pd и Ag – норильскит $(Pd, Ag)_7Pb_4$.

Руды, богатые медью по сравнению с пирротиновыми рудами, резко обогащены Pd и Pt, но практически лишены Rh и Ir, содержат меньше Os и Ru. В рудах, богатых медью, концентрация Pd в пентландите резко снижается до 5–30 г/т. В этих рудах за высокое содержание Pd отвечают многочисленные минералы системы Pd–Pt–Cu–Sn – станопалладинит, таймырит, кабриит; ряд минералов Pd_3Sn–Pt_3Sn – атокит, рустенбургит; плюмбид Pd – звягинцевит; теллуриды и висмутиды – соболевскит, фрудит, майченерит, меренскиит; стибниды – стибиопалладинит, мертиит, садбериит; плюмбовисмутиды – полярит, урванцевит; арсениды – маякит, палладоарсенид, винцентит; станниды – паоловит, минералы системы Pd_2A, где A – Sn, As, Sb.

Pt образует в основном собственные минералы: сперрилит, тетраферроплатина, рустенбургит, масловит, мончеит, нигглиит. Минералы золота и серебра: Ag-Au сплавы – электрум, кюстелит, самородное Ag. В Талнахском и Норильском месторождениях развиты Au-Cu сплавы: Au_3Cu, аурикуприд, Pt–Pd – тетрааурикуприд.

На долю вкрапленных руд приходится порядка 60 % запасов благородных металлов Норильских месторождений. При погашении запасов других типов руд доля вкрапленных руд в общем балансе платиновых металлов будет все время возрастать.

Вкрапленные руды приурочены к нижним дифференциатам интрузивных массивов – пикритовым, такситовым и отчасти контактовым габбродолеритам. Эти руды отличаются от массивных количеством сульфидов, среднее содержание сульфидов в них не более 10–15 об. %. По минеральному составу это в основном пентландит-халькопирит- пирротиновые руды с тем же количественным составом сульфидов, как в массивных пирротиновых рудах. Однако валовое содержание благородных металлов при таком низком количестве сульфидов практически идентично массивным пирротиновым рудам. Это означает, что концентрация платиновых металлов в расчете на 100 % сульфидного вещества во вкрапленных рудах в несколько раз более высокая, чем в массивных пирротиновых, и соизмерима с высокомедистыми рудами. По этому признаку вкрапленные руды можно считать платиновыми рудами.

Как и во всех типах руд, во вкрапленных рудах ЭПГ развиты в двух формах: рассеянной – в виде твёрдых растворов в сульфидах – и в виде собственных минералов. Pt во вкрапленных рудах талнахских месторождений образует собственные минералы: сперрилит, а в месторождении Норильск 1 – Fe-Pt сплавы – в основном изофероплатину, реже тетраферроплатину, рустенбургит, Pt – атокит, куперит. Pd на 90–95 % концентрируется в пентландите, где его содержание достигает 50–1000 г/т. Редко встречаются во вкрапленных рудах минералы палладия, представленные арсенидами, арсеностибнидами и арсеностаннидами. Rh, Ir и Os образуют твердые растворы в пирротине и пентландите, где их концентрации составляют Rh – 1,1 и Ir – 0,2 г/т. Rh образует также мелкие редкие кристаллики холлингвортита.

Среднее содержание золота во вкрапленных рудных месторождений Норильск 1, Талнахское и Октябрьское составляет 0,23, 0,26 и 0,17 г/т соответственно, а серебра – 8,0, 4,8 и 3,15 г/т.

Главной формой существования золота в этих рудах являются высокопробное золото (Au не менее 75 мас. %. Во вкрапленных рудах месторождения Норильск 1 широко развиты Au–Cu сплавы: Au_3Cu, аурикуприд, Pt и Pd – тетрааурикуприд.

Параметры платиноносности вкрапленных руд определяют их переработку. Минералы платиновых металлов извлекаются в гравитационных препаратах, а твердые растворы при операциях получения сульфидных концентратов.

В контактово-метаморфических и метасоматических породах прожилково-вкрапленные руды образуют ореол вокруг рудоносных интрузивов, а также вокруг тел массивных руд. Они слагают линзовидные и пластообразные тела, в общем согласные с вмещающими породами, сложенными пироксеновыми роговиками, высокотемпературными известковыми скарнами, магнезиальными (форстеритовыми, монтичеллитовыми, фассаитовыми) скарнами – брусититами, бруситовыми мраморами.

Прожилково-вкрапленные руды обладают наиболее разнообразным составом из всех типов руд. Выделяются пирротиновые, пирротин-халькопиритовые, пентландит-халькопиритовые, миллерит-пирит-халькопиритовые, миллерит-борнит-халькопиритовые. Тела, сложенные этими рудами, отчетливо зональны. Существенно пирротиновые руды при удалении от контакта интрузива сменяются халькопиритовыми с миллеритом, пиритом и борнитом. Как вмещающие породы, так и сами руды в сильной степени замещены вторичными минералами. Сульфиды замещаются валлериитом, сростками пирита, марказита и магнетита, миллеритом, пиритом, виоларитом, джерфишеритом, вяльсовитом. Сульфиды также часто замещаются вторичными нерудными минералами – хлоритом, серпентином, пренитом, везувианом, гидрогранатом. Интенсивные гидротермальные замещения первичных руд резко снижают их обогатимость.

Большая доля халькопирита в прожилково-вкрапленных рудах определяет высокие концентрации меди в них. По этому признаку они в промышленной квалификации получили название «медистые». В прожилково-вкрапленных рудах отмечается увеличение содержаний ЭПГ пропорционально их обогащению медью, так что валовое содержание ЭПГ не ниже, чем в массивных пирротиновых рудах. Отношение Σ ЭПГ (г/т) / S (в %) во вкрапленных халькопирит-пирротиновых рудах равно 0,4–1,1, в пирротин-халькопиритовых – 1,7–4,8, в то время как в массивных пирротиновых равно 0,4. Также в этих рудах снижается относительная доля Rh, Ir, Ru, Os. Отношение (Pt + Pd) / (Rh + Ir + Ru) в прожилково-вкрапленных рудах 20–60, в массивных пирротиновых – 10–20.

В халькопирит-пирротиновых рудах обнаружены сперрилит, арсениды, стибиоарсениды, арсеностанниды и стибиостаннид Pd и Ni. Минералы Au – самородное золото, электрум.

В рудах, обогащенных халькопиритом, обычными являются котульскит, мончеит, куперит, брэггит, высоцкит, сперрилит, Fe-Pt сплавы, хараелахит, соболевскит, стибиопалладинит, лафламмеит, вымазаловит $Pd_3Bi_2S_2$. Руды с миллеритом, борнитом и пиритом содержат Pd-Ag минералы: сопчеит, штромейерит, талхаммерит $Pd_9Ag_2Bi_2S_4$, кравцовит $PdAg_2S$. Минералы Ag: самородное Ag, акантит, науманит, минералы состава $(Ag,Au,Pd)_2(S,Se,Te)$, хлораргирит.

Брекчиевидные руды (в промышленной квалификации «медистые») развиты на западном фланге Хараелахского интрузива (Октябрьское месторождение), где единое тело интрузива расщепляется по латерали и в разрезе на ряд апофиз, а контактово-метаморфические и метасоматические породы по сульфидно-карбонатным породам среднего девона содержат множество разноразмерных тел долеритов разной степени раскристаллизованности. Вмещающими породами служат роговики (пироксеновые, гранат-пироксеновые, оливин-пироксеновые, ангидрид-пироксеновые) и скарны (шпинель-монтичеллитовые, шпинель-форстеритовые, гранатовые).

Выделяются халькопирит-пирротиновые, пирротин-халькопиритовые и халькопиритовые (пентландит-халькопиритовые и миллерит-халькопиритовые). Концентрация платиновых металлов (в сумме) в халькопирит-пирротиновых рудах составляет 3,3–4,3 г/т, в пирротин-халькопиритовых – 11,4–43,5 г/т, в халькопиритовых – 79,1–361,2 г/т. Относительные концентрации платиновых металлов Σ ЭПГ (г/т) / S (в мас. %) меняется от 0,20 до 0,40 в пирротиновых рудах, до 5,6–62,3 в халькопиритовых.

В пирротине содержание Pt составляет 0,05–0,13 г/т, Rh – 0,02–0,12 г/т, в пентландите среднее содержание Pd – 160 г/т в пирротиновых рудах и 170 г/т в халькопиритовых, а Rh – 0,05–0,07 г/т.

В пирротиновых брекчиевидных рудах основная часть содержания Pt связана с куперитом, сперрилитом, Fe–Pt сплавами, а Pd образует твердые растворы в пентландите и собственные минералы: атокит, висмуто-теллуриды и стибиостанниды. В халькопиритовых рудах Pt образует куперит, брэггит, Fe–Pt сплавы, инсизваит, геверсит, спирелит, мончеит, штумпфлит. В основном валовые концентрации Pd в халькопиритовых рудах связаны с собственными минералами: соболевскитом, котульскитом, меренскиитом, станнопаладенитом, садбериитом, редко с высоцкитом.

Содержание Au и Ag в халькопирит-пирротиновых, пирротин-халькопиритовых и халькопиритовых рудах составляет (в г/т) Au – 0,05–0,12, Ag – 2,96–4,70; Au – 0,67–4,50, Ag – 15,5–97,6 и Au – 6,08–13,8, Ag – 53,4–300,0 соответственно. Минералы Au – самородное Au, Pd-Au-Cu сплавы, Ag – пентландит. Латеральная обособленность существенно халькопиритовых руд позволяет вести селективную разработку этой разновидности.

Малосульфидные платиновые руды локализуются в хромитоносных такситовых габброидах, реже в магматических брекчиях верхнего эндоконтакта дифференцированных базит-ультрабазитовых массивов. Верхние такситовые габброиды связаны с лейкогаббро, образующие горизонты величиной от нескольких до сотен метров. Другими особенностями такситовых габбро является обилие миндалин с F-Cl и OH содержащими минералами – пренитом, флогопитом, биотитом, хлоритом, амфиболом, ангидритом, цеолитами, апатитом. Содержание Cr_2O_3 достигает 6 мас. %. Сульфиды составляют не более 3–5 % объема руды. Сульфиды представлены ассоциациями: моноклинный пирротин + никелевый пентландит + халькопирит; миллерит + пирит + халькопирит. Абсолютные концентрации Σ ЭПГ составляют 6–10 и достигают 60–70 (г/т). Σ ЭПГ (г/т) / S (в %) составляет 3,80–69,0. Основными формами нахождения ЭПГ в этих рудах являются их собственные минералы: сульфиды Pt и Pd – куперит, брэггит, высоцкит; Fe–Pt сплавы, сперрилит, теллуровисмутиды – котульскит, соболевскит, мончеит, меренскиит, стибниды – мертиит, стибиопалладинит, станниды – паоловит, атокит, таймырит, станопалладинит, плюмбиды – звягинцевит, арсениды – сперрилит, паладоарсениды, гуанглинит, минералы состава Pd_2A, Pd_3A, Pd_5A_2, Pd_2A, Pd, Ni_2A, $(Pd,Ni)_5A_2$, где A – Sn, Sb, As, хараелахит. Редкие минералы – торнрусит, холлингвортит, Ir–Os сплавы. Минералы Au и Ag – самородное золото, Pd-Au сплавы

Итак, среди руд Норильского района выделяются: 1) сульфидные медно–никелевые с попутными благородными металлами, в число которых входят все разновидности массивных руд, прожилково–вкрапленные и брекчиевидные; 2) платиновые с попутными цветными металлами. В данную группу входят все разновидности вкрапленных руд, а также тонкие малосульфидные платиновые руды. Это дает возможность автономно организовать производство платиновых и цветных металлов.

Собиров С. С., Салихов В. А., Хайдарова С. К., Худайбердиев Х. С.
Министерство промышленности и геологии Республики Узбекистан

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЗОНАЛЬНОСТЕЙ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИДРОГЕННОГО ТИПА (НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УЗБЕКИСТАНА)

В работе изложены особенности формирования урановых месторождений гидрогенного типа на примере отдельных урановорудных объектов Узбекистана.

Ключевые слова: зона пластового окисления, уран, оруденения, ролл, геохимические элементы Sc, Y, лантаноиды.

В соответствии с распространением зон пластового окисления рудоносные зоны месторождений песчаникового типа в плане имеют форму извилистых лент, располагающихся субперпендикулярно к вектору движения пластовых вод месторождения, приурочены к песча-

ным мелководно-морским фациям, всегда отличаются более спокойным внутренним строением и простой конфигурацией линии выклинивания зон пластового окисления. Протяженность отдельных ролло- или пластообразных рудных залежей может изменяться от десятков и первых сотен метров до многих десятков километров, ширина от первых десятков (месторождения Кетменчи, Северный Канимех) до нескольких сотен метров (Учкудук). Ширина мешковых частей рудных роллов, где сосредоточено более 50 % промышленных запасов металла, колеблется от 10 до 500 м при ширине крыльев от первых десятков до сотен и более метров. Мощности рудных залежей также изменяются от нескольких сантиметров до нескольких метров, реже десятков метров. Особый случай представляют реликтовые рудные тела, располагающиеся внутри зон пластового окисления. Обычно это характерно для площадей, соседствующих с нефтегазоносными провинциями, например, с Бухаро-Хивинской (месторождения Сабырсай, Кетменчи). Неравномерное распределение восстановителей, маркируемое интенсивностью наложенной пиритизации, создает условия для концентрирования здесь и более масштабного оруденения. Такие рудные аккумуляции обычно имеют линзовидную и гнездообразную морфологию, иногда форму обратных роллов, облекающих участки водоупорных неокисленных пород.

Рудные залежи месторождений песчаникового типа, по существу, имеют только два четко выраженных морфологических типа: ролловый и пластовый, что в каждом конкретном случае определяется степенью однородности пород, слагающих разрез водоносных (рудоносных) горизонтов, и характером распределения в них восстановителей.

Ролловый тип рудных залежей обычен для месторождений (или отдельных их участков), где рудоносный горизонт, имея однородное литологическое строение, характеризуется равномерным распределением восстановителей в разрезе. Механизм образования урановых залежей в таких условиях представляется в виде параболического распределения скоростей в «живых» сечениях водного потока при равномерно установившемся ламинарном движении. На форму поперечного сечения рудной залежи в данной ситуации влияет только скорость передвижения зоны пластового окисления в водоносных горизонтах. В рудных роллах выделяют нерасчлененную мешковую часть, сменяющую на определенном стратиграфическом уровне пластово-окисленные породы по направлению потока подземных вод, и крылья, окаймляющие эти породы в вертикальном сечении.

Пластовый тип рудных залежей типичен для месторождений (или отдельных их участков), где рудоносный горизонт, имея неоднородное литологическое строение, характеризуется еще и неравномерным распределением восстановителей в разрезе. В рудоносном растворе, заполняющем такой водоносный горизонт, происходит направленное движение ионов (по механизму концентрационной диффузии) под углом к поверхности раздела двух сред. Величина угла в такой среде зависит от скорости движения вод в водоносном горизонте и окислительно-восстановительных процессов при диффузии содержащегося в воде кислорода [1]. Само положение залежей пластового типа в разрезе водоносных горизонтов свидетельствует о том, что в них по падению пород воздействие движущейся зоны пластового окисления уменьшается. В хвостовых частях залежей, которые находятся в геохимическом барьере, в водный раствор переходит максимальное количество урана. Подтверждением этого служат сдвиг радиоактивного равновесия в сторону радия и обогащение этой части рудной залежи Th^{230}. Вниз по падению пород, по направлению движения зон пластового окисления с постепенным убыванием «активности» пластовых вод (вследствие потери свободного кислорода и т. д.) количество переходящего в раствор урана закономерно уменьшается, а общая концентрация его растет. Так продолжается до тех пор, пока водный раствор не потеряет способности разрушать залежь. При выходе, например, кровли залежи пластового типа к контакту с отложениями, не содержащими восстановители, фактически прекращается ее разрушение и начинается формирование головной части. Из-за такого постоянного перераспределения («перелопачивания») урана зоной пластового окисления хвостовые части всегда характеризуются гораздо меньшим количеством легкорастворимых форм урана по сравнению с головными, расположенными за линией выклинивания зон пластового окисления в области распределения сероцветных отложений.

В ходе минералогических и геохимических исследований установлено, что руды, слагающие залежи месторождений песчаникового типа, всегда представлены только двумя группами

минералов: силикатами (коффинитом) и оксидами с широким диапазоном вариаций параметров кристаллической ячейки, и, что чрезвычайно важно, в направлении от линии выклинивания зоны пластового окисления в сторону неокисленных пород, т. е. от хвостовой части рудной залежи к головной четко наблюдается последовательная смена руд, обладающих наибольшими параметрами кристаллической ячейки урановых минералов. Руководствуясь этой особенностью, в теле рудных залежей можем выделить четыре подзоны состояния и относительного времени формирования рудного вещества. Все рудные залежи по этому делению начинаются с подзоны I – урановосных поровых растворов. Ее сменяет подзона II – бедных руд, так называемого начального возраста минералообразования, за которой следует подзона III – рядовых руд среднего возраста рудообразования, и заканчивается рудная залежь (в хвостовой части) подзоной IV – богатых (барьерных) руд древнего возраста минералообразования.

Выводы. Рудоконтролирующая эпигенная зональность урановых месторождений песчаникового типа формируется исходно кислородсодержащими пластовыми водами артезианских бассейнов в серых водопроницаемых породах покровных отложений. В зональном строении (по направлению течения пластовых вод) выделяют зоны: 1) пластового окисления с подзонами полного, неполного и частичного окисления; 2) уранового оруденения с подзонами бедных и богатых ураном пород; 3) эпигенно неокисленных безурановых серых пород.

В порядке уменьшения окислительно-восстановительного потенциала (Eh) пластовых вод от подзоны полного окисления к фронту подзоны частичного окисления формируется восстановительный геохимический барьер, на котором происходит восстановление и отложение урана и сопутствующих элементов переменной валентности из воды, т. е. образование отложений.

Изменения щелочно-кислотного коэффициента (pH) пластовых вод при пластовом окислении серых пород носят более сложный характер, чем восстановительно-окислительный потенциал. Щелочная мигрирующая среда (повышение pH до 8,5) приурочена к подзоне неполного окисления; кислая мигрирующая среда, т. е. кислый геохимический барьер (снижение pH до 6,5) характеризует подзону парциального окисления; нейтрализующий геохимический барьер (повышение pH до 7,5–7,8) совпадает, как правило, с зоной восстановительного уранового отложения. Нейтрализующий геохимический барьер создает условия для осаждения одновалентных элементов, т. е. гидролизатов (Sc, Y, лантаноидов) из растворов.

На контрольных участках зон пластового окисления за счет существования восстановительных и щелочно-кислых геохимических барьеров их положение относительно урановорудной зоны определяется сочетанием интенсивности снижения Eh и повышения pH, что отчетливо подтверждается данными геохимических исследований.

Морфология рудопроявлений, содержащих уран и побочные редкие элементы, разнообразна. На карте водоносные зоны месторождения песчаникового типа обычно имеют вид извилистых полос протяженностью от десятков и сотен метров до десятков километров. В поперечном сечении рудные залежи образуют ролловые или пластовые тела. Ширина мешков рудных роллов колеблется от 10 до 500 м при размахе крыла от первых десятков метров до первых километров.

Детальными минералого-геохимическими исследованиями в профилях рудных месторождений (зоны урановой минерализации) в направлении движения зоны пластового окисления выделены подзоны богатых, распространенных, бедных руд и урансодержащих поровых растворов. Эта зональность определяет разную выщелачивающую способность руд от трудного до среднего и легкого выщелачивания. Этот факт необходимо учитывать при проектировании разработки месторождения подземным выщелачиванием.

Список литературы:

1. Собиров С. С., Салихов В. А. Стратиграфическое расчленение меловых отложений и развитие зон пластового окисления на Западно-Зиаэтдинской площади // Труды Пятого Международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производство». – М. : ВИМС, 2021. – С. 257–261.
2. Натальченко Б. И., Калинкин В. И., Гольдштейн Р. И. Региональные рудоконтролирующие зоны пластового окисления // Разведка и охрана недр. – 1984.

Соболев С. Н.[1], Арискин А. А.[1,2], Пшеницын И. В.[1], Грошев Н. Ю.[3]
[1] ГЕОХИ РАН им. В. И. Вернадского, г. Москва; [2] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва;
[3] КНЦ РАН, г. Апатиты

КОРРЕЛЯЦИИ ПЕТРОСТРУКТУРНЫХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НАКОПЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ И ХРОМИТА В ДУНИТАХ ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО МАССИВА И МОНЧЕГОРСКОГО ПЛУТОНА

Освещен разрабатываемый структурно-геохимический подход к расшифровке разных аспектов эволюции магматических каш, в частности вопросов, касающихся отложения и ремобилизации сульфидных расплавов и хромита в кумулусе расслоенных интрузивов. Поведение несмесимых сульфидов и хромита рассмотрено на материале Йоко-Довыренского массива и Мончегорского интрузива (Сопчеозерское месторождение). Отмечено сходство рассмотренных процессов с петрогенезом в дунитах Маунт-Кит в Австралии.

Ключевые слова: CSD, распределение кристаллов по размерам, магматические сульфиды, хромит, расслоенный интрузив, кумулат.

В узком интервале (~300 м) разреза дунитов Йоко-Довыренского массива выделяются три типа распределений оливина по размерам (CSD) (рис. 1, А, Б, В). Для линейных и бимодальных CSD в целом характерны меньшие вариации наклона кривых внутри группы, чем для логнормальных. Типы распределения не коррелируют с количеством интеркумулуса (рис. 3, Б), что говорит об их формировании до начала кристаллизации порового расплава и слабом преобразовании формы CSD после осаждения кумулуса. Для некоторых образцов наиболее высокотемпературных довыренских кумулатов (см. рис. 3, А) (температуры закрытия кумулуса варьируют в диапазоне ~1200–1300 °С, согласно выводам Арискина [3]) характерны бимодальное CSD оливина и иногда удлинение его кристаллов (см. рис. 1, Б). Это обусловлено контактом высокотемпе-

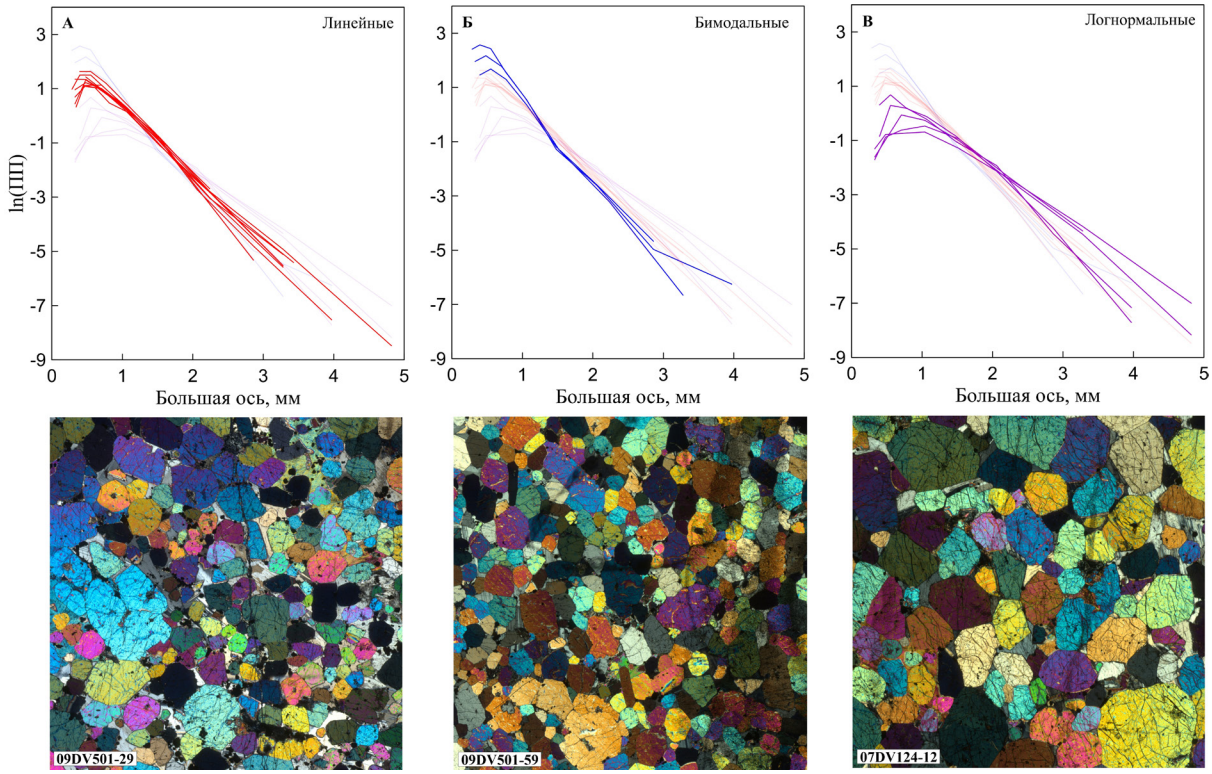


Рис. 1. CSD оливина в дунитах Йоко-Довыренского массива: А – линейные CSD; Б – бимодальные CSD (две популяции оливина – крупные «фенокристы» и более мелкозернистая основная масса). Видны редкие вытянутые кристаллы, характерные для кристаллизации относительно быстро остывающих магм; В – логнормальные CSD; Ширина всех петрографических иллюстраций в скрещенных николях – 1 см

ратурных порций магмы с низкотемпературной средой, вероятно, во время заполнения камеры последовательными пульсами, внедрявшимися между кумулусом и основным объемом. Температурный контраст должен был составлять порядка 100 °С. Логнормальные распределения характерны для дунитов, которые остались на месте участков кристаллической каши с долгоживущей проницаемостью, где во время компакции происходила фильтрация порового расплава варьирующей температуры и состава, что обусловило в них промежуточный геохимический температурный сигнал (см. рис. 3, А). Здесь происходил процесс растворения-дорастания оливина в условиях осцилляций температуры. Одновременно происходило вымывание несмесимого сульфида (см. рис. 3, Ж) и обеднение породы хромом вследствие растворения хромита (см. рис. 3, В, Г, Д). Линейные CSD в Довырене сохранились в кумулатах, непреобразованных и изолированных от промывки поровым расплавом во время компакции. Благодаря изоляции в кристаллической каше сохранился избыточный по отношению к концентрации насыщения кумулусный сульфид, накопленный вместе с оливином (см. рис. 3, Е, Ж, З). Если на момент закрытия кумулата в интеркумулусной силикатной жидкости не было достигнуто несмесимости сульфида, на диаграмме Cu-Zr (см. рис. 3, Ж) породы выстраиваются в тренд, направленный примерно на соотно-

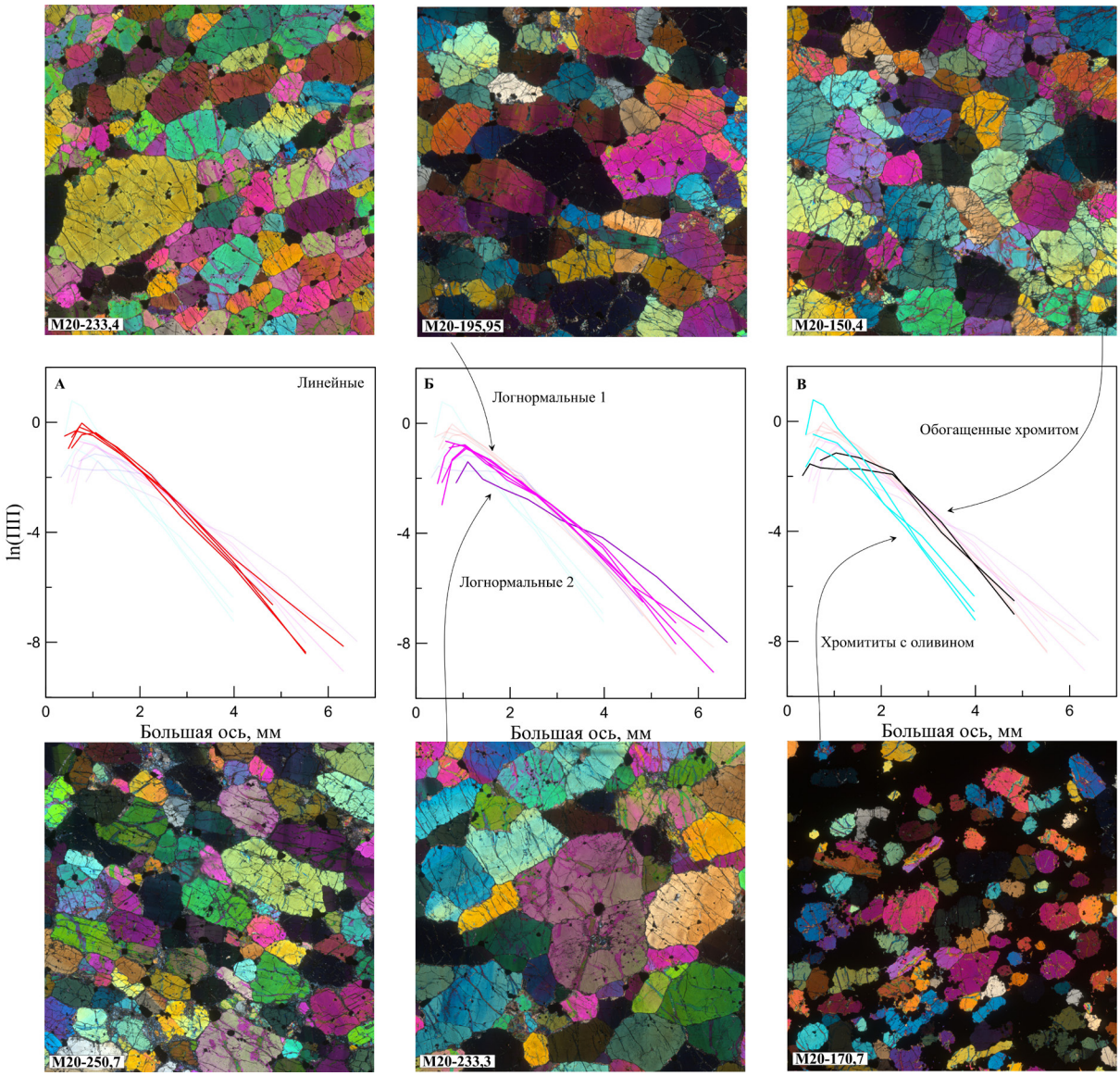


Рис. 2. CSD оливина в дунитах Сопчеозерского месторождения Мончеплутона: А – линейные CSD; Б – логнормальные CSD; В – линейные и измененные линейные CSD. Многие оливины оказываются вытянутыми; Обратите внимание, масштаб графиков отличается от рис. 1. Ширина всех петрографических иллюстраций в скрещенных николях – 1 см

шение этих элементов в высокотемпературной начальной магме, аппроксимируемой образцом 0DV30-1 [3].

Для дунитового блока Мончегорского плутона [2] в образцах из скважины М20 тоже получены данные о CSD оливина. В дунитах, удаленных от хромитового рудного тела, распределения делятся на линейные (тип 1, рис. 2, А), логнормальные (тип 2, рис. 2, Б), логнормальные крупнозернистые (тип 3, рис. 2, Б). В дунитах, непосредственно прилегающих к рудному телу Сопчеозерского месторождения, но лишь незначительно обогащенных хромитом по сравнению с отстоящими дальше, CSD оливина часто сходно с типом 1 или 2, но некоторые популяции обеднены малыми кристаллами, так что функция CSD в этой части становится горизонтальной (тип 4, рис. 2, В). Оливин, рассеянный в хромититах, в целом имеет линейное CSD, но с вариациями наклона (тип 5), некоторые распределения демонстрируют параллелизм с оливином из хромититового ксенолита на г. Кумужья [1]. Практически в каждом кристалле оливина можно

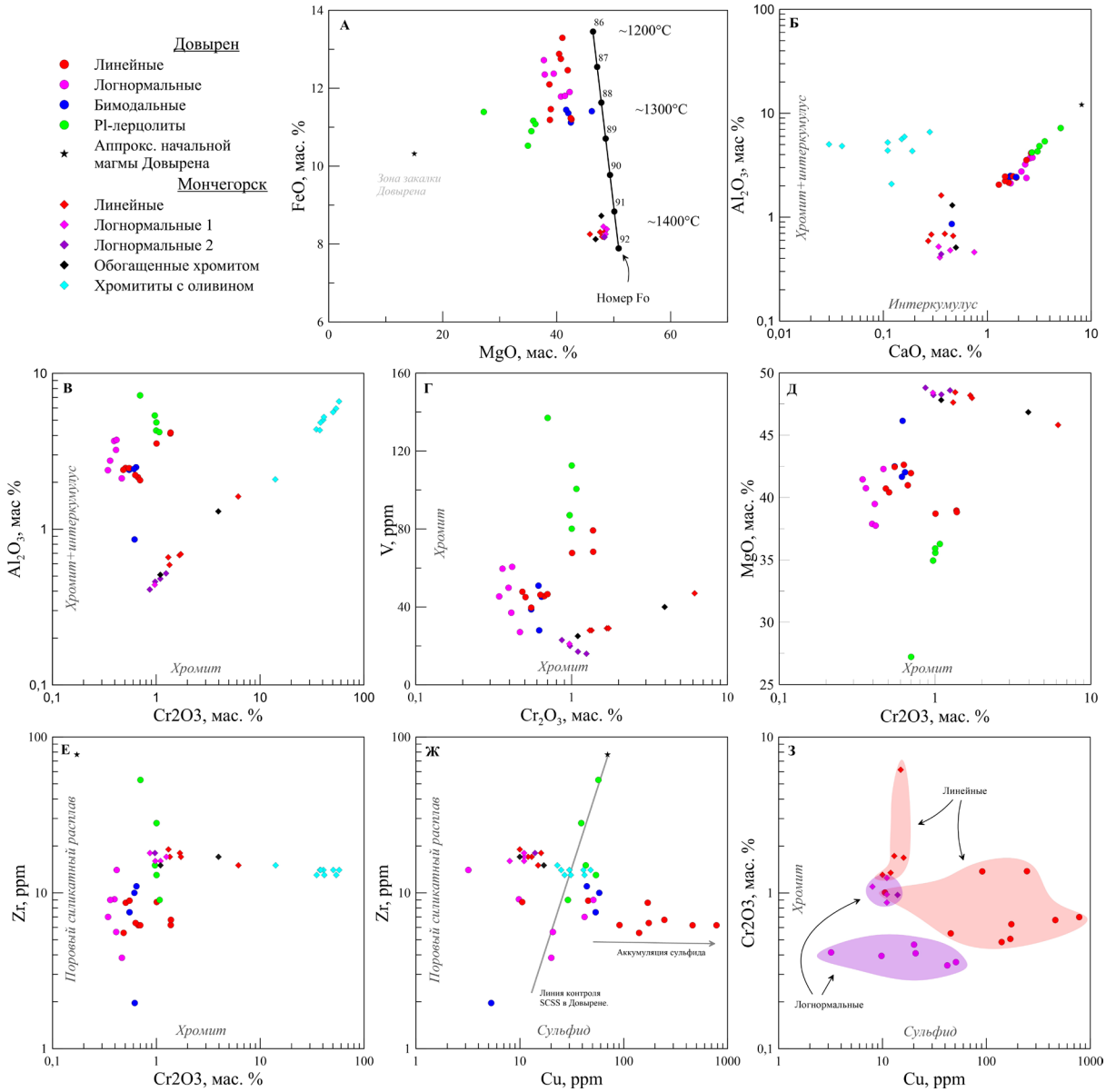


Рис. 3. Геохимические особенности пород нижней части центрального разреза Йоко-Довыренского массива (дуниты, плагиолерцолиты, пикродолерит) и дунитового блока Мончеплутона (дуниты и оливинсодержащие хромититы). Рядом с осями указано, какая фаза наиболее сильно контролирует обозначенный элемент или оксид. А – распределение пород в координатах MgO-FeO показывает положение линии оливного контроля и позволяет понять примерную температуру закрытия системы; Остальные пояснения в тексте

увидеть субзерновые границы, не редки трещины спайности, что говорит о деформации пород дунитового блока, интенсивность которой только предстоит выяснить. Породы дунитового блока являются практически биминеральными адкумулатами. Вдоль границ зерен оливина почти повсеместно развит серпентин, а хромит имеет выраженные каймы окисления, что подталкивает к выводу о частичном или полном выносе серы из породы. Небольшие количества сульфида обнаруживаются только при детальном изучении на электронном микроскопе. Поэтому для анализа поведения сульфидного расплава во время эволюции оливин-хромитового кумулуса приходится использовать медь. Здесь крайне показательной является диаграмма $Cu–Cr_2O_3$ (см. рис. 3, З), на которой видно, что дуниты с логнормальным CSD оливина обделены медью и хромом по сравнению дунитами, несущими линейное (в логарифмических координатах) распределение оливина. Процесс растворения хромита подтверждается поведением распределяющегося в него ванадия (см. рис. 3, Г).

Таким образом, на основании геохимических и структурных характеристик можно предполагать сходство процессов, протекавших в протокумулусе Довыренских и Мончегорских дунитов. Тем более интересно, что в Мончегорской камере образовалось стратиформное месторождение хромита, а в Йоко-Довыренском массиве рудные хромититы не наблюдаются. Для Довырена остается открытым вопрос о конкретном пространственном соотношении перемежающихся в разрезе дунитов разных типов (см. рис. 1), так как разрезы отбирались, хотя и с небольшими интервалами (1–2 м), но все же не непрерывно. Осложняет ситуацию и то, что определить структурный тип породы не представляется возможным в полевых условиях на неполированной поверхности, по крайней мере, до настоящего времени это не удавалось. В мончегорском материале ситуация лучше, так как мы имеем дело с непрерывным керном скважины, но все же это все еще практически одномерные данные, и проследить более-менее уверенно мы можем только мощности описанных разностей пород. Сделать выводы о том, имеем ли мы дело действительно со следами каналов или же породы с линейным и логнормальным CSD оливина переслаиваются, пока невозможно.

В дунит-коматиитовом комплексе Маунт-Кит в западной Австралии наблюдается очень похожая на описанную выше картина. Дуниты Маунт-Кит, как и мончегорские, имеют очень низкую пористость [4]. В них так же отмечено обеднение кумулатов с более крупным оливином (аналог логнормальных) рассеянными сульфидами, содержание которых контролируется концентрацией насыщения. Они же относительно обеднены хромитом. Более мелкозернистые породы, напротив, обогащены сульфидом выше концентрации насыщения, т.е. содержат аккумулированный сульфид. Оба типа пород пространственно так близко взаимосвязаны, что в приполированном керне среди мелкозернистой матрицы видны крупнозернистые дуниты. Дополнительно сходство случая Довырена с Маунт-Кит подчеркивается гетерогенностью разреза последнего по Mg# валового состава пород. Магнезиальность здесь варьирует в пределах 91–94. Так как подавляющее большинство рассмотренных выше довыренских пород имеет до 20 % интеркумулуса, а дуниты Маунт-Кит это адкумулаты, можно утверждать, что адкумулятивный процесс не затрагивает захороненную в кумулусе сульфидную жидкость и не влияет на ее распределение кристаллической каше.

Список литературы:

1. Барков А. Ю., Никифоров А. А., Пахомовский Я. А., Савченко Е. Э. Новое проявление хромита-магнезиохромита и микровключений минералов Ni и эпг в массиве г. Кумужьей, Мончеплутон, Кольский п-ов // Вестник Воронежского государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 63–67.
2. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение (2004а). Часть 1 / Ред. Митрофанов Ф. П. и Смолькин В. Ф. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2004. – 177 с.
3. Ariskin A., Danyushevsky L., Nikolaev G., Kislov E., Fiorentini M., McNeill A., Kostitsyn Y., Goemann K., Feig S., Malyshev A. The Dovyren intrusive complex (southern Siberia, Russia): Insights into dynamics of an open magma chamber with implications for parental magma origin, composition, and Cu-Ti-PGE fertility // Lithos. – 2018. –V. 302–303. – P. 242–262.

4. Godel L. M., Barnes S. J., Barnes S. Deposition mechanisms of magmatic sulphide liquids: evidence from high-resolution X-ray computed tomography and trace element chemistry of komatiite-hosted disseminated sulphides. – 2013. – 54(7). – P. 1455–1481.

Столяренко В. В.[1], Соколов Е. П.[2], Алферова В. А.[1], Рябошапко А. Г.[1], Минаева С. В.[1]
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва; [2] АО «Якутскгеология», г. Якутск

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ МАЛОМУРУНСКОЙ ТРУБКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ЗОЛОТОРУДНЫМИ ЭКСПЛОЗИВНЫМИ БРЕКЧИЯМИ

Проведенные исследования в пределах Мурунского рудного узла и предварительный анализ полученных материалов позволили наметить поисковые предпосылки, определяющие условия локализации золотого оруденения в эксплозивных брекчиях. К их числу относятся: структурные, магматические, стратиграфо-литологические, минералого-геохимические.

Ключевые слова: Мурунский массив, вулкано-плутоническая структура, эксплозивные брекчии, месторождения золота, тектоническая позиция, золото.

Необходимость разработки прогнозно-поисковой модели Маломурунской трубки эксплозивных брекчиевых образований обусловлена тем, что во многих регионах мира установлены образования подобного генезиса, формирующие трубки взрыва и тела сложной формы, широко проявленные в пределах вулкано-плутонических структур.

Пространственно они располагаются либо внутри предшествующих фаз интрузивных тел, формирование которых происходило на сравнительно небольшой глубине, либо во вмещающих интрузив породах на флангах вулканоструктур.

Эксплозивные брекчии (ЭБ) являются показателем неравновесного механизма геологических процессов и формируются на высокопроницаемых участках земной коры. Их образование связано с дроблением и последующим перемещением пород вулканического аппарата, интрузии или вмещающих пород газово-жидким флюидом *при резком изменении давления и температуры,* на заключительных стадиях развития магматогенной структуры из остаточных расплавов. На многих месторождениях их образование предшествовало рудному процессу или было синхронно рудообразованию.

Тела эксплозивных брекчий имеют форму трубок, конусов, сложноразветвляющихся жил и грибообразных тел и крутые подводящие каналы. Поперечное сечение в плане составляет обычно десятки, первые сотни метров, редко более. При этом вертикальные размеры могут достигать 1,5 км. В составе обломков развиты интрузивные, вулканогенные, терригенные образования. Цемент представлен перетертым материалом вмещающих и подстилающих пород и поздними метасоматическими минералами: кварцем, карбонатом, адуляром, турмалином, каолинитом, серицитом, баритом, сульфидами и др.

Эксплозивные брекчии, локализующиеся в гипабиссальных и приповерхностных зонах земной коры, широко распространены на золото-медно-порфировых, золоторудных, молибденовых и других типах месторождений, на которых они бывают безрудными, но также являются рудоподводящими и рудовмещающими структурами [3, 4, 9]. На подобных месторождениях содержания Au в ЭБ изменяются в широком диапазоне: от десятых долей – первых г/т (наиболее распространенные содержания) до сотен – первых тысяч г/т (рудные столбы Кочбулака) [8].

Подобные тела могут обладать высоким рудным потенциалом. Наиболее яркий пример золотоносных ЭБ – уникальный «Крессонов раздув» на месторождении Крипл-Крик в США, явившийся источником порядка 500 т золота при средних содержаниях 12 г/т. Изолированная кальдерная постройка месторождения сформировалась в узле пересечения нескольких древних разломов двух поперечных сечений. Вырезанный ими и опущенный небольшой тектонических блок выполнил роль основания для развившейся на нем вулканотектонической постройки. В пределах кальдеры в узле пересечения двух сближенных зон разломов северо-восточного и северо-западного простирания локализовано трубообразное тело эксплозивных брекчий раз-

мером 100 × 200 м, отработка которого велась до глубины 900 м. Золото представлено преимущественно теллуридами. В самородном виде золото встречается в основном в виде вкраплений микронного размера. Средние содержание Au 10–12 г/т [5, 9].

Мурунский рудный узел, в состав которого входит Мурунская трубка эксплозивных брекчий, расположен на северо-западной окраине Алданского щита, представляет собой купольно-сводовое вулкано-плутоническое поднятие, приуроченное к пересечению Кеме-Кебектинского, Атбастах-Торгойского и Гольцового региональных разломов, являющихся основными магмоподводящими каналами.

Мурунский массив включает в себя Большемурунский, Маломурунский и Догалдынский массивы. Последний имеет кольцевое строение, а два других обладают выраженными чертами диапирового строения. Указанные купола в современном эрозионном срезе представляют собой одноименные обособленные интрузивы щелочных пород, которые, как считают многие исследователи, имеют общие корни. Предполагается, что становление массива протекало в условиях нестабильной тектонической обстановки с формированием блоковых структур и осложнениями за счет даек разного состава.

Магматические образования Мурунского узла в современных схемах объединяются в мурунскую вулкано-плутоническую ассоциацию [5]. Всеми исследователями выделяются несколько фаз внедрения:

- ранняя фаза массива представлена ультраосновными–щелочными породами;
- главная фаза массива представлена серией различных сиенитов;
- вулканическая фаза занимает более 50 % площади и представлена лавами и покровами, туфолавами, лавобрекчиями. Завершается вулканическая фаза внедрением дайковой серии.

Самыми поздними образованиями массива являются гидротермальные кварц-карбонатные и кварцевые жилы и зоны.

Формирование Маломурунской брекчиевой трубки связывается либо с началом вулканической фазы внедрения [2], либо с завершающей фазой дайковой серии (Цуров и др., 2005ф).

Подобные образования эксплозивных брекчий, выполняющих трубки, установлены и в поле архейских гнейсо-гранитов к северо-западу от оз. Атбастах, в верховье р. Торго на водоразделе, к юго-западу от участка Южный и на водоразделе р. Ингаригды и ее правого притока, а также в соседних районах Алданского щита (рудопроявление Тохто в пределах Джекондинской вулкано-плутонической структуры).

Тектоническое строение Мурунского узла предопределено его положением на стыке западной части Алданского щита с Березовским прогибом, в узле пересечения разноориентированных систем региональных глубинных разломов. В целом для описываемого района характерно блоковое строение. По этим разломам блоки смещены относительно друг друга по вертикали с различными амплитудами (от первых десятков метров до 300–400 м).

Структура Мурунского рудного узла сформирована в каркасе Атбастах-Торгойского, Гольцового и Кеме-Кебектинского глубинных разломов. Одним из основных структурных уровней является мезозойская грабенообразная структура, заложенная по разломам Кеме-Кебектинской группы и расположенная в центральной части Мурунского узла.

Учитывая данные геофизических исследований, в частности структуру поля силы тяжести аномального магнитного поля, предполагается, что строение кристаллического основания, представляет собой синформную структуру субширотного простирания.

На крыльях синформной структуры значения поля силы тяжести и аномального магнитного поля положительные. В центральной части значение поля силы тяжести понижается, магнитное поле представлено знакопеременными значениями. К наиболее пониженным значениям гравиметрического поля и повышенным значениям (ΔTа) приурочена вулкано-плутоническая структура г. Малый Мурун с Маломурунской трубкой. Подобное строение фундамента хорошо согласуется с вышеописанной наложенной поперечной структурой мезозойского грабена.

Как следствие из вышесказанного и по результатам поисковых работ 2022 г., можно сделать вывод, что Маломурунская брекчиевая трубка расположена *в опущенном тектоническом блоке*, локализованном между Гольцовым, Атбастах-Торгойским и Кеме-Кебектинским разломами (Соколов, 2022ф; Ягнышев, Цуров и др., 2005ф, РГФ № 486750).

В плане брекчиевая структура имеет размеры около 1,5 × 3 км, в геохимических полях выделяется повышенными концентрациями Au, Ag, Pb, Zn, Mo, V, Cu, Bi, As и фиксируется магнитной аномалией трубочного типа. [6]. Вмещающие породы представлены в разной степени измененными щелочными сиенитами.

Предыдущие исследователи выделяют три типа брекчий, образующихся преимущественно по щелочным сиенитам и отвечающих различным стадиям брекчиеобразования (от ранних к поздним): с глинисто-биотит-полевошпат-эгириновым, эгирин-биотит-полевошпат-гранатовым цементом и гидротермальные брекчии с рудно-карбонатно-кварц-флюоритовым цементом.

Предварительная прогнозно-поисковая модель золоторудного проявления Маломурунской брекчиевой трубки, выполненной золоторудными эксплозивными брекчиями. С использованием данных [6]; Соколов и др., 2022ф; Ягнышев, Цуров и др. ,2005ф

Критерии и признаки	Характеристика
Название металлогенического таксона	Мурунский магматический узел
Геохронологические	Мезозойская ТМА
Геодинамические	Олекминской гранит-зеленокаменной области, на участке сочленения Чарской глыбы и Берёзовского перикратонного прогиба. Ималыкско-Тарынахский ЗКП своим северным окончанием «подныривает» под вулкано-плутоническое поднятие Мурунского интрузивного комплекса. Пересечение Атбастах-Торгойского, Гольцового и Кеме-Кебектинского глубинных разломов, ответственных за формирование блоковых структур.
Магматогенные	Магматические образования Мурунского узла объединяются в мурунскую вулкано-плутоническую ассоциацию, представленную дифференциатами ультращелочной магмы от ультраосновного до кислого состава, и состоят из Большемурунского, Маломурунского и Догалдынского массивов. Последний имеет кольцевое строение, а два других обладают выраженными чертами диапирового строения. Выделяется несколько фаз внедрения: • ранняя фаза массива представлена ультраосновными–щелочными породами; • главная фаза массива представлена серией различных сиенитов; • вулканическая фаза представлена лавами и покровами, туфолавами, лавобрекчиями, завершается внедрением дайковой серии. Формирование Маломурунской брекчиевой трубки связывается с вулканической фазой.
Литолого-фациальные	Наличие в пределах узла на отдельных его участках экранирующих отложений, как правило, терригенных, алевритоглинистых, вулканогенно-осадочных, которые способствуют накоплению значительных объемов флюидов и обеспечивают высокое флюидное давление. Наличие галогенных, эвапоритовых, карбонатных и обводненных пород в разрезах узла, представляющих собой дополнительные источники компонентов, в том числе летучих, способствующих эксплозивным явлениям.
Структурно-тектонические	Узел пересечения омоложенных в мезозое глубинных зон разломов древнего заложения Атбастах-Торгойского и Гольцового северо-восточного и Кеме-Кебектинского северо-западного простирания. Маломурунская брекчиевая трубка расположена в опущенном тектоническом блоке, локализованном между этими разломами.
Рудоконтролирующие структуры	Основной рудоконтролирующей структурой является узел пересечения двух систем разломов – Атбастах-Торгойской и Кеме-Кебектинской различных простираний. Наличие радиально-концентрических систем разломов вулкано-плутонических структур и внутриинтрузивных зон дробления, что создает повышенную проницаемость и обеспечивает продвижение флюидного потока к поверхностному уровню.
Морфологический	Оруденение локализовано в виде трубообразного тела с неровными контурами контактов и инъекционными соотношениями с вмещающими породами, сложенного флюидно-эксплозивными брекчиями. В плане трубка имеет размеры 1,5 × 3 км.
Гидротермально-метасоматические	Характер брекчиеобразования является полистадийным и полиимпульсным. Объемная лимонитизация, гематитизация, березитизация и аргиллизация. Локальная флюоритизация и карбонатизация. Развиты эгирин-полевошпатовые метасоматиты.

Критерии и признаки	Характеристика
Название металлогенического таксона	Мурунский магматический узел
Геохронологические	Мезозойская ТМА
Типы брекчий	Выделяются до четырех типов брекчий: • эгириновые – наиболее ранние брекчии с переменным по составу глинисто-биотит-полевошпат-эгириновым цементом; • биотитовые – характеризуются цементом двух типов: цемент первого типа, свойственный главным образом эгириновым брекчиям, цемент второго типа представлен мелкочешуйчатыми агрегатами марганцево-титанистого биотита со скоплениями лейкоксенизированного титанита, апатита, ильменита и гематита; • гранатовые – основу цемента составляет титанистый гранат. Отделены от вышерассмотренных образований повторным дроблением. • гидротермальные – в составе цемента преобладают флюидогенные гидротермальные минералы низкотемпературной стадии – флюорит, карбонат, кварц, барит в ассоциации с сульфидами, присутствуют обломки ранних брекчий с эгириновым и гранатовым цементом.
Минералогические	В брекчиях выявлены пирит, пирротин, халькопирит, борнит, ковеллин, галенит, сфалерит, ильменит, магнетит, гематит, шеелит, брукит, титанит, рутил, анатаз и лейкоксен. Минералы распределяются неравномерно, их количество варьирует от единичных зерен, рудных скоплений в прожилках и цементе самых ранних, эгириновых брекчий, а также поздних брекчий с гидротермальной минеральной ассоциацией. На отдельных участках содержание сульфидов до 10 %, местами переходящее в массивные колчеданные руды с содержанием сульфидов не менее 30 %. Эгириновые и гидротермальные брекчии характеризуются полиметаллической специализацией (Cu, Pb, Zn, Bi, Sb, Ag, Au), при этом гидротермальные брекчии отличаются рудными концентрациями Pb (0,1–0,2 %), Ag (10–40 г/т), Au, Mo, а также Th и U. Золотоносны гидротермальные брекчии с барит-флюорит-кварцевым цементом, с сульфидной полиметаллической минерализацией (до 30 % объема) породы. По рудным интервалам получены значимые содержания золота (1,2–1,88 г/т). При этом золото россыпеобразующих классов крупности (>0,1 мм) практически отсутствует. В целом золотое оруденение на участке локализуется в эндоконтактах брекчий с массивными и мезократовыми эгиринитами и вмещающими сиенитами.
Геохимические	Аномалии золота по вторичным ореолам рассеяния кольцеобразной формы и отдельным сколковым пробам с содержанием золота более 1 г/т, тяготеющим к брекчиевым структурам. Геохимические поля с повышенными концентрациями серебра, свинца, меди, цинка, молибдена, мышьяка, висмута.
Геофизические	В региональных геофизических полях зоны пересечений региональных разломов характеризуются сложнодифференцированными магнитными и градиентными зонами слабодифференцированных гравиметрических полей. При этом, собственно брекчиевые тела характеризуются аномальными значениями гравитационного поля и фиксируются магнитной аномалией трубочного типа.

Золотоносны гидротермальные брекчии с барит-флюорит-кварцевым цементом, с сульфидной полиметаллической минерализацией (до 30 % объема породы). Золото мелкое и тонкодисперсное, обнаружено в тесной ассоциации с пиритом [6].

Ряд признаков рассматриваемых брекчий позволяет предполагать их эксплозивное происхождение. Механизм образования ранних брекчий – скорее всего результат прорывов остаточного магматогенного флюида, а поздних – результат периодического вскипания гидротермального раствора, перемежавшегося с периодами «спокойного» минералообразования в жильной форме, что обусловило полиимпульсный характер брекчирования.

Минералогия золота. В процессе полевых работ было проведено опробование рудных интервалов со значимыми содержаниями золота (1,2–1,88 г/т). Отбор протолочных проб весом 10–12 кг проводился из полотна канавы по интервалам с наиболее высокими содержаниями, с последующей промывкой. Всего были отобраны 40 протолочных проб. Золото россыпеобра-

зующих классов крупности (>0,1 мм) в пробах отсутствует. Не исключено, что золото может быть менее 0,01 мм или находиться в сульфидах (пирита, арсенопирита).

Для эксплозивных золотоносных брекчий в большинстве характерно тонкодисперсное золото величиной в единицы мкм, редко десятки мкм, часто сконцентрированное в пирите и описанное на месторождениях Крипл-Крик, Бестоме, Кочбулак, Уштаган и др. [4, 8].

На аналогичном рудопроявлении Тохто в пределах Джекондинской вулкано-плутонической структуры (Центрально-Алданский рудный район) за все время ее изучения были получены 2 знака золота класса +0,1 мм. При этом из частной пробы весом 50 кг, отобранной на поверхности трубки из выветрелых пород, были выделены 150 золотин размером 0,05–0,15 мм [1].

Столь широкое развитие тонкодисперсного золота можно объяснить дегазацией при резком падении давления и температуры, что приводит к образованию большого количества центров кристаллизации (кристаллических зародышей), при этом скорость их образования возрастает быстрее, чем скорость их роста, что и проводит в конечном счете к образованию тонкого золота микронных размеров [7]. Реже отмечаемое золото класса +0,2 мм, вероятно, является более поздним, связанным с гидротермальными жилами.

Данные, полученные в ходе проведенных поисковых исследований в районе, и предварительный анализ полученных материалов по золотоносности позволяют наметить конкретные поисковые предпосылки, определяющие условия локализации золотого оруденения в пределах Маломурунской трубки, выполненной эксплозивными брекчиями.

К их числу относятся: структурные, магматические, стратиграфо-литологические, минералого-геохимические.

Учитывая весьма сложное строение Мурунского рудного узла, предложенная прогнозно-поисковая модель является предварительной и в дальнейшем будет уточняться и детализироваться с выделением типов золотого оруденения.

Список литературы:

1. Абдрахманова А. Т., Леонтьев В. И., Бушуев Я. Ю. Минералого-петрографические и геохимические особенности золоторудных флюидо-эксплозивных брекчий проявления Тохто (Центрально-Алданский рудный район) // Новое в познании процессов рудообразования. – М. : ИГЕМ РАН, 2016. – С. 36–39.
2. Владыкин Н. В. Уникальный Мурунский массив ультракалиевых агпаитовых щелочных пород и карбонатитов // Прикладная геохимия. – 2005. – Вып. 7, Кн. 2. – С. 124–143.
3. Иванкин П. Ф. Морфология глубоко вскрытых магматогенных рудных полей. – М. : Недра, 1970. – 278 с.
4. Константинов М. М. Генетические типы рудоносных брекчий // Советская геология. – 1977. – № 3. – С. 124–129.
5. Константинов М. М., Некрасов Е. М., Сидоров С. Ф. и др. Золоторудные гиганты России и мира. – М. : Научный мир, 2000. – 269 с.
6. Макарьев Л. Б., Миронов Ю. Б., Кухаренко Е. А. Шарпенок, Л. Н. Рудоносность флюидо-эксплозивных брекчий Мурунского магматического узла (Северное Забайкалье) // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 2. – С. 13–20.
7. Мурашкевич А. Н., Жарский И. М. Теория и методы выращивания монокристаллов. – Минск, 2010. – 14 с.
8. Рафаилович М. С., Колоскова С. М. Эксплозивные брекчии на золоторудных и золото-медно-порфировых месторождениях Центральной Азии // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2014. – № 4. – С. 11–29.
9. Thompson T. B., Trippel A. D., Dwelley P. C. Mineralized breccias of the Cripple Creek district, Colorado // Econ. Geol. – 1985. – V. 80. – P. 1669–1688.

Стримжа Т. П.
СФУ, г. Красноярск

ЭНДОГЕННАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ РУДНЫХ ТЕЛ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

Горевское свинцово-цинковое и Олимпиадинское золоторудное (Енисейский кряж) месторождения известны как уникальные по запасам, но разной металлогенической направленности, и всеми исследователями изучаются как эталонные. На этих месторождениях сульфидные руды сопровождаются аргиллизитами. О природе аргиллизитов (глинистых пород), например на Горевском месторождении, высказаны следующие точки зрения: 1 – это производные зоны окисления пород и руд, расположенные в тектонически ослабленных зонах; 2 – выветриванию подверглись согласно перекрывающие сланцы; 3 – это продукты зоны выщелачивания; 4 – элювиальные образования зоны физического выветривания. Таким образом, глинистые образования в тесном контакте с сульфидными рудами рассматриваются как коры выветривания (окисленные руды) по сульфидам, то есть это более молодые породы, и их формирование связывают с пострудными гипергенными процессами. Детальное изучение так называемых окисленных руд позволило автору отнести их к околорудным аргиллизитам, а ассоциацию сульфидных руд и аргиллизитов рассматривать как эндогенную зональность рудных тел, сформировавшуюся одновременно в результате проявления гидротермально-метасоматических процессов.

Ключевые слова: аргиллизиты, окисленные руды, сульфидные руды, Горевское свинцово-цинковое месторождение, Олимпиадинское золоторудное месторождение, Енисейский кряж.

Горевское свинцово-цинковое месторождение. Рудная зона месторождения шириной до 500 м прослежена по простиранию на 1800 м и по падению на глубину свыше 1300 м. В ней выделяются Главное, Западное и Северо-Западное рудные тела.

Рудоносная толща. Глинисто-карбонатные породы претерпели метаморфические преобразования в условиях фации зеленых сланцев и превращены в кварц-серицит-известковистые и кварц-хлорит-известковистые сланцы с прослоями известняков.

Метасоматиты. Рудные тела окружены кварцитами, кварц-сидеритами, анкеритами гидротермально-метасоматической природы.

Первичные свинцово-цинковые руды. Главные рудные минералы – галенит, пирротин, сфалерит; второстепенные – пирит, магнетит, марказит, сульфоантимониты свинца, арсенопирит, ильменит; редкие – халькопирит, аргентит и др. Текстура руд полосчатая, брекчиевидная, полосчато-вкрапленная и прожилковая.

Аргиллизиты в виде мощных глинистых толщ пространственно ассоциируют с сульфидными рудами. Они легко разрушаются руками, сохраняют реликтовую слоистую текстуру, имеют светлую пеструю окраску с преобладанием белесых, желтых, бурых, ржаво-красных тонов. Вскрыты карьером и разведочными скважинами, прослеживаются на глубину до 400 м вдоль сульфидных рудных тел. В аргиллизитах по содержанию свинца выделяются рудные интервалы. Исследования структурного положения и вещественного состава глинистых образований позволили автору отнести их к гидротермальным метасоматитам – околорудным аргиллизитам, формирование которых происходило одновременно с сульфидными рудами.

По расчетам, соотношение сульфидных руд, гидротермально-измененных пород (кварциты, сидериты и др.) и аргиллизитов примерно 5 : 1 : 3 [4].

Олимпиадинское золоторудное месторождение (эталон золото-кварцевой формации) характеризуется совмещением вкрапленных золото-сульфидных руд и окисленных руд (золотоносных кор выветривания), резко различающихся по вещественному составу и технологическим свойствам.

Рудовмещающая толща является неоднородной по составу: кварц-слюдистые сланцы с гранатом; кварц-карбонат-слюдистые сланцы с линзовидными телами мраморизованных известняков; кварц-слюдисто-углеродистые сланцы протерозойского возраста.

Метасоматиты. Рудовмещающие породы претерпели неравномерные локальные метасоматические преобразования, выразившиеся в процессах скарнирования, слюдизации, карбонатизации, окварцевания, пропилитизации, березитизации и др., которые, в свою очередь, сопровождали формирование золото-сульфидного оруденения.

Первичные золото-сульфидные руды. Рудные тела оконтурены по данным опробования метасоматитов с вкрапленностью и редкими прожилками рудных минералов и пылевидных выделений золота, имеют крутое падение. Параметры рудных тел: длина их изменяется от 420 до почти 1000 м, по падению – от 40 до 200 м при колебаниях мощности от 1 м на флангах до 60–80 м в центральной части. На отдельных участках рудные тела пересекают контакты литологических горизонтов, что указывает на наложенный характер оруденения. Рудные минералы – арсенопирит, пирротин, встречаются – антимонит, бертьерит, золото, редко – сфалерит, галенит, халькопирит, висмутин, шеелит и др.

Аргиллизиты (окисленные руды, кора химического выветривания) – глинистые образования следующего состава, %: кварц (65–80), калиевые слюды (14–35), монтмориллонит и каолин (6), гидрогематит (до 7) и др. Окрашены в бурые, палевые, оранжево-желтые, красноватые, темно-серые цвета. Золото приурочено к участкам скопления гидроокислов железа. Эти образования на поверхности занимают площадь в 1,3 раза превышающую площадь рудного тела; на глубину прослежены до 400 м, где они резко сокращаются, грубо повторяя форму рудного тела [1].

Модель процесса аргиллизации. Аргиллизиты на обоих месторождениях по внешнему виду и минеральному составу практически идентичны и рудоносны, но несут следы металлогенической специализации. Метасоматоз рассматривается как механизм, в результате которого кристаллические решетки минералов разрушаются, а химические элементы в горных породах перераспределяются с образованием других минералов. Под воздействием флюида (перегретых горячих растворов?) горные породы преобразуются. Сущность этих преобразований заключается в том, что во вмещающей толще в результате химических реакций происходят перегруппировка химических элементов и образование устойчивых соединений в соответствующих условиях. Одновременно с образованием и осаждением новых рудных (сульфидных) минералов, осуществляются перераспределение и вынос петрогенных элементов, то есть идет замещение одного химического соединения другим, часто совершенно иного состава. Можно полагать, что новые минералы возникают на месте старых, замещают их, сохраняя объем исходной породы.

Кислород. С перераспределением и выносом петрогенных элементов становится подвижным и кислород, который в горных породах составляет 70–80 % их объема.

Свободный кислород в природе может быть атомарным (O), молекулярным (O_2), в виде озона (O_3) и аниона (O^{2-}). Кислород с большинством элементов взаимодействует непосредственно, кроме галогенов, золота и платины.

Анион O^{2-} принимает участие в реакции $2Fe^{3+} + 3O^{2-} = Fe_2O_3$. Это обнаруживается и подтверждается наличием вишнево-красного гематита и гидроокислов железа в аргиллизитах. Высвободившийся кислород, поступая в гидротермальную систему, восстанавливается (то есть принимает на себя электроны, забирая их у других элементов, например, $Fe^{2+} - e^- \rightarrow Fe^{3+}$; $H - e^- \rightarrow H^+$), тем самым окисляя минералообразующие ионы. Появление H^+ в системе является необходимым фактором для создания и поддержания кислых условий в гидротермальных растворах, что обеспечивает так называемое кислотное выщелачивание (кислотный метасоматоз)и отражает концепцию Д. С. Коржинского об опережающей волне кислых компонентов.

Для золота известны два ряда соединений с кислородом – закись Au_2O и окись золота Au_2O_3. Окись золота может получиться при реакции $2Au^{3+} + 3O^{2-} = Au_2O_3$, но эти соединения золота легко распадаются при высокой температуре на кислород и свободное золото [4].

Наличие свободного кислорода в системе, в которой присутствует золото, обуславливает его наличие в свободном (самородном) состоянии, т. е. свободный кислород в системе выполняет роль геохимического барьера. На Олимпиадинском месторождении ассоциация глинистые минералы – золото – гидроокислы железа типична для аргиллизитов и подтверждается тем, что в аргиллизитах содержание золота в среднем в 2,6 раза больше, чем в сульфидных рудах [2].

Высвобождение и вынос активного (эндогенного, ионного) кислорода обеспечивают одинаковые (схожие) условия для формирования аргиллизитов одновременно с рудными (сульфидными) минералами независимо от их металлогенической специализации [3], что, в свою очередь, и обуславливает эндогенную зональность рудных тел.

Метасоматическая природа рудообразования предопределяет эндогенную зональность рудных тел – сульфидные руды и аргиллизиты образуются одновременно. Околорудные аргилли-

зиты являются поисковым и прогнозно-оценочным критерием любого оруденения, сформированного в результате гидротермально-метасоматических процессов.

Таким образом, оба месторождения, как свинцово-цинковое Горевское, так и золоторудное Олимпиадинское, являются уникальными по своим запасам; локализованы в осадочно-метаморфических толщах протерозойского (рифейского?) возраста (Енисейский кряж); являются результатом геологических (метасоматических) процессов, которые по своей энергетике (энергомассопереносу) сопоставимы между собой.

Список литературы:

1. Ли Л. В. Олимпиадинское золоторудное месторождение. – Минеральные ресурсы Красноярского края. Книга 1. – Красноярск, 2002. – С. 420–437.
2. Сердюк С. С., Комаровский Ю. Е., Зверев А. И. и др. Модели месторождений золота Енисейской Сибири. – Красноярск, 2010. С. 91–135.
3. Стримжа Т. П. Метасоматоз-кислород-аргиллизиты (на примере Горевского свинцово-цинкового месторождения, Енисейский кряж). – Красноярск : СФУ, 2017. – 158 с.
4. Рэмсден Э. Н. Начала современной химии. – Л. : Химия, Ленинградское отделение, 1989. – 784 с.

Сурин Т. Н.
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

ПАЛЕОВУЛКАНИЗМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МАГНИТОГОРСКОЙ МЕГАЗОНЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Рассмотрены геолого-петрографические и петрогеохимические особенности вулканогенных пород Гумбейской зоны на Южном Урале, являющейся фронтальной восточной прибортовой частью Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги. Вулканиты объединены в гумбейскую вулканическую ассоциацию. Показано, что она представлена непрерывной гомодромной серией базальт–андезит–дацит–риодацит. Особенности состава вулканитов позволяют уверенно отнести их к островодужной известково-щелочной серии, а точнее, к образованиям «развитых» островных дуг. Сделан вывод о том, что главным процессом, определяющим облик и состав единой петрогенетической серии пород гумбейской ассоциации, является фракционная кристаллизация родоначальных базальтовых расплавов в глубинных, а затем в приповерхностных периферических очагах. Гравитационная дифференциация также осуществлялась in situ при становлении отдельных магматических тел. Принципиальное сходство ассоциирующихся с вулканитами золото-серебряных месторождений с аналогичными объектами современных островных дуг позволяет сделать заключение о больших перспективах всей территории Гумбейской зоны на золото-серебряное оруденение. Выделены два прогнозируемых рудных поля.

Ключевые слова: Южный Урал, Восточно-Магнитогорская палеоостроовная дуга, гумбейская вулканическая ассоциация, гомодромная серия, островодужная известково-щелочная серия, фракционная кристаллизация, гравитационная дифференциация, золото-серебряные месторождения, прогнозируемые рудные поля.

Гумбейская зона представляет собой вытянутую в субмеридиональном направлении более чем на 300 км вулканическую палеогряду, локализованную в крайней восточной прибортовой части крупнейшей на Урале и важнейшей в металлогеническом отношении Магнитогорско-Мугоджарской палеоостроводужной системы, состоящей из двух субпараллельных островных дуг (Западно- и Восточно-Магнитогорской) с разделяющим их междуговым бассейном. Указанная зона является фронтальной частью Восточно-Магнитогорской палеодуги и с востока ограничена шовной Уйско-Кацбахской зоной, трассируемой многочисленными телами альпинотипных гипербазитов [21]. До недавнего времени считалось, что слагающие зону вулканиты аналогичны по составу и возрасту образованиям Ирендыкской зоны Западно-Магнитогорской

палеодуги [2, 26, 29]. В последние годы в результате геолого-съемочных и специальных тематических работ доказано, что доминирующая в Гумбейской зоне вулкано-плутоническая ассоциация пород по возрасту и составу ни в коей мере не соответствует образованиям ирендыкского комплекса, является более молодой (по преимуществу живетско-раннефранской) и гораздо более сложной по составу [13, 14, 31, 32]. Последний вывод очень важен, так как служит одним из доказательств определенной автономности развития двух палеоостровных дуг, составляющих единую островодужную систему [20, 21].

Вулканиты объединены в гумбейскую вулканическую ассоциацию. Установлено, что она представлена непрерывной гомодромной серией базальт–андезит–дацит–риодацит, при этом особенности состава вулканитов позволяют уверенно отнести их к островодужной известково-щелочной серии, а точнее, к образованиям «развитых» островных дуг. Петролого-геохимическое изучение вулканитов позволило сделать вывод о том, что главным процессом, определяющим облик и состав единой петрогенетической серии пород гумбейской ассоциации, является фракционная кристаллизация родоначальных базальтовых расплавов в глубинных, а затем в приповерхностных периферических очагах. Гравитационная дифференциация также осуществлялась in situ при становлении отдельных магматических тел [20, 21].

В середине прошлого века в северной части Гумбейской зоны был открыт ряд достаточно своеобразных и в целом нетипичных для Урала месторождений (Куросанское рудное поле или куросанская группа). Кратко история их открытия и разведки рассмотрены в работе [1]. В дальнейшем они изучались многими геологами, но единства взглядов на их генезис и рудно-формационную принадлежность до сих пор не достигнуто. Сначала они были отнесены к «колчеданному» или «золото-полиметаллическому» типу [28, 29]. В дальнейшем они рассматривались как «золото-колчеданные» [10], «золото-порфировые» [23], «медно-полиметаллические» (медно-порфировые) [4], «золото-кварцево-сульфидно-полиметаллические» [15] или «золото-полиметаллические» [17]. Все эти точки зрения близки между собой и не учитывают ряд важнейших геологических, минералогических и геохимических особенностей этих месторождений, кратко рассмотренных ниже.

Во-первых, все месторождения куросанской группы характеризуются значительными содержаниями и запасами серебра. Величина Au/Ag в значительной степени варьирует, составляя в среднем 2 : 5. Во-вторых, все месторождения обнаруживают отчетливо выраженную приуроченность к небольшим по размерам вулканическим постройкам центрального типа, сложенным среднедевонскими порфировыми пироксен-плагиоклазовыми базальтами и андезибазальтами гумбейской толщи. Сами эти постройки расположены практически на одной субмеридиональной линии, трассирующей синвулканическое «магмоподводящее» тектоническое нарушение. В-третьих, руды представлены как прожилково-вкрапленным, так и жильным типами, контролируются мощными телами метасоматитов весьма специфического состава. Главные метасоматические минералы: адуляр, кварц, серицит, барит, кальцит, гидрослюды, халцедон. Рудные минералы представлены пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, молибденитом, арсенопиритом, пирротином и самородным золотом. Важно отметить, что последнее отличается невысокой пробностью, от 640 до 870 [17]. В-четвертых, пространственная близость концентрически-зонального Краснинского габбро-гранодиоритового массива и сложные, подчас даже противоречивые взаимоотношения руд и рудоносных метасоматитов с контактово-измененными породами позволили ряду исследователей либо вообще связывать образование этих руд непосредственно с интрузивными гранитоидами [4, 10, 15, 28], либо выделять несколько стадий рудообразования, в том числе «доскарновую» и «послескарновую» [17, 29]. Проведенное нами петролого-геохимическое изучение магматических пород гумбейской вулкано-плутонической ассоциации (в том числе и входящих в нее интрузивных пород краснинского комплекса) показало, что все они обязаны своим происхождением дифференциации единого родоначального расплава, отличаются целым рядом общих петрогеохимических особенностей, т. е. являются комагматичными [14, 20, 21]. Именно последним обстоятельством вполне объясняются наблюдаемые весьма непростые взаимоотношения вулканитов, субвулканических и интрузивных пород, скарнов, роговиков, гидротермально-измененных пород и руд, поскольку все они образовались в геологическом смысле близкоодновременно. Видимая «стадийность» ми-

нералообразования, по нашему мнению, вполне объясняется пульсационной гидротермальной активностью, что в целом весьма характерно для приповерхностных магматических очагов.

Охарактеризованные особенности месторождений куросанской группы позволяют достаточно уверенно отнести их к «золото-серебряной формации островных дуг», множество месторождений которой известно практически по всей периферии Тихого океана [7, 8, 30]. Предположение о том, что данные рудные объекты являются именно золото-серебряными вулканогенными островодужными месторождениями, было впервые высказано еще в 1990 г. Е. П. Шираем в многочисленных устных сообщениях. Время подтвердило выводы этого выдающегося ученого [1, 20, 21, 24, 25, 27]. К сожалению, не все уральские геологи пока признали это мнение, а в опубликованных в недавнее время весьма содержательных обзорах также нигде не упоминается о наличии именно золото-серебряных месторождений на Урале [3, 6, 16].

Приуроченность Куросанских месторождений к вулканическим постройкам и широкое развитие адуляра в рудоносных метасоматитах со всей определенностью свидетельствуют о вулканогенном близповерхностном, а точнее, на уровне субвулканической фации глубинности, генезисе руд. В современной систематике рудных формаций подобные образования находят место среди месторождений «золото-серебряной адуляр-кварцевой формации» [7, 8, 18, 19, 27] или близких к ней по названию, а конкретнее – к серебряно-золотому промышленному типу; см. обзор этой проблемы в работе [30]. Субвулканический генетический тип является типичным для подобного рода месторождений [9]. По нашим данным, адуляризация вулканитов в Гумбейской зоне имеет региональное, площадное распространение, поэтому выявленная в ряде случаев повышенная калиевость пород указывает не на наличие в этой зоне более поздних по времени образования пород шошонитовой серии [31, 32], а на широко проявленную гидротермальную активность в этой зоне. На возможность подобных ошибок ранее уже указывалось [23]. Наличие непосредственно на Куросанском рудном поле субвулканических андезитов [22, 32], детально нами изученных [20, 21], по нашему мнению, свидетельствует не о генетической [17], а о парагенетической связи с ними рудоносных гидротерм, так как источником и тех, и других являлся периферический магматический очаг, в которых базальтовый расплав испытывал интенсивную дифференциацию, сопровождающуюся значительным накоплением летучих компонентов. Пульсационная дегазация этого очага и приводит к формированию гидротерм, в местах выходов которых на дневную поверхность образуются специфические гематит-кварцевые породы с повышенным содержанием марганца и благородных металлов [22].

Принципиальное сходство Куросанских месторождений с аналогичными объектами современных островных дуг, по нашему мнению, вполне определенно говорит о больших перспективах всей территории Гумбейской зоны на золото-серебряное оруденение. В пользу ее высоких перспектив также свидетельствует, во-первых, отмеченная выше регионально проявленная адуляризация, а во-вторых, обнаружение уже целого ряда рудопроявлений указанного типа в различных ее частях [5, 11, 13, 14].

По результатам геолого-съемочных работ на территории листов N-40-XXIV (Магнитогорск) и N-40-XXX (Агаповка), т. е. примерно на 150 км по меридиональному простиранию Гумбейской зоны, прогнозные ресурсы по кат. $P_2 + P_3$ золота оценены в 75 тонн, а серебра не менее, чем в 100 тонн. Прогнозируются как минимум два рудных поля [12].

Список литературы:

1. Белгородский Е. А. Куросанские месторождения золото-серебряного типа на Южном Урале // Металлогения древних и современных океанов – 98. Руды и генезис месторождений. – Миасс : ИМин УрО РАН, 1998. – С. 140–143.
2. Бородаевская М. Б., Кривцов А. И., Ширай Е. П. Основы структурно-формационного анализа колчеданоносных провинций. – М. : Недра, 1977. – 153 с.
3. Главные рудные геолого-геохимические системы Урала. – М. : Наука, 1990. – 269 с.
4. Грабежев А. И., Белгородский Е. А. Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений (на примере Урала). – Екатеринбург : Наука, 1992. – 200 с.
5. Зайков В. В., Зайкова Е. В. Палеогидротермальное поле «Лисьи горы» – перспективный участок для поисков золото-полиметаллического оруденения куросанского типа (Южный

Урал) // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. – Екатеринбург, 1994. – С. 319–320.
6. Сазонов В. Н., Григорьев Н. А., Мурзин В. В. и др. Золото Урала. Коренные месторождения (к 250-летию золотой промышленности Урала) / Екатеринбург : УИФ «Наука», 1993. – 211 с.
7. Константинов М. М. Золотое и серебряное оруденение вулканических поясов мира. – М. : Недра, 1984. – 165 с.
8. Константинов М. М. Провинции благородных металлов. – М. : Недра, 1991. – 169 с.
9. Константинов М. М., Стружков С. Ф., Аристов В. В. Генетические типы золото-серебряных месторождений вулкано-плутонических поясов // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 1997. – № 1. – С. 62–66.
10. Контарь Е. С., Либарова Л. Е. Миграция латерально-вертикальных рядов раннегеосинклинальных вулканогенных формаций и сопряженного с ними оруденения // Вопросы геологической корреляции и металлогении Урала. – М. : Геолфонд РСФСР, 1983. – С. 60–72.
11. Криворучко В. А. Проблема эпитермального золото-серебряного оруденения в вулканических структурах центрального типа на Южном Урале // Палеогеографические и геодинамические условия образования вулканогенно-осадочных месторождений. – Миасс : ИМин УрО РАН, 1997. – С. 94–96.
12. Михайлов И. Г., Сурин Т. Н. Палеозойский магматизм и коренная золотоносность Гумбейской зоны (Южный Урал) // Петрография XXI века. – Т. 3. Петрология и рудоносность регионов СНГ и Балтийского щита. – Апатиты : КНЦ РАН, 2005. – С. 220–222.
13. Мосейчук В. М., Яркова А. В., Михайлов И. Г., Кашина Л. В., Сурин Т. Н., Плохих Н. А., Юрецкий В. Н. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXX. Объяснительная записка. – М. : МФ ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2013. – 222 с.
14. Мосейчук В. М., Яркова А. В., Михайлов И. Г., Кашина Л. В., Сурин Т. Н., Плохих Н. А., Цин Д. Ф. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXIV. Объяснительная записка. – М. : МФ ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. – 127 с.
15. Овчинников Л. Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. – М. : ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – 412 с.
16. Прокин В. А., Сазонов В. Н., Полтавец Ю. А. Эволюция эндогенных рудных формаций Урала с позиций тектоники плит // Геология рудных месторождений. – 1993. – Т. 35, № 2. – С. 151–160.
17. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А., Поленов Ю. А. Месторождения золота Урала. – Екатеринбург : УГГА, 1999. – 570 с.
18. Сидоров А. А. Группы золотоносных формаций // Советская геология. – 1984. – № 7. – С. 96–105.
19. Сидоров А. А. О рудноформационном анализе золотых и золотосодержащих месторождений // Геология рудных месторождений. – 1992. – № 6. – С. 70–79.
20. Сурин Т. Н. Вулканогенное золото-серебряное оруденение: геодинамические условия формирования, петрология и геохимия среднедевонского рудоносного вулканизма (Куросанское рудное поле, Южный Урал) // Палеогеографические и геодинамические условия образования вулканогенно-осадочных месторождений. – Миасс : ИМин УрО РАН, 1997. – С. 96–99.
21. Сурин Т. Н. Геохимические и металлогенические особенности рудоносных магматических комплексов Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги // Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. – М., 1999. – С. 284–328.
22. Теленков О. С. Магнетит-гематит-кварцевые породы золоторудного месторождения Южный Куросан (Южный Урал) // Кремнисто-железистые отложения колчеданоносных районов. – Свердловск : УрО АН СССР, 1989. – С. 140–149.
23. Филатов Е. И., Ширай Е. П. Формационный анализ рудных месторождений. – М. : Недра, 1988. – 144 с.
24. Филатов Е. И., Ширай Е. П. Формационный анализ как основа прогнозно-металлогенических исследований // Отечественная геология. – 1995. – № 5. – С. 34–38.
25. Филатов Е. И., Ширай Е. П. Металлогеническая зональность переходных областей от океана к континенту // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. – Екатеринбург : УрО РАН, 1996. – С. 38–43.

26. Фролова Т. И., Бурикова И. В. Геосинклинальный вулканизм (на примере восточного склона Урала). – М. : МГУ, 1977. – 264 с.
27. Ширай Е. П. Металлогения юных островных дуг // Металлогения рядов геодинамических обстановок островных дуг. – М., 1999. – С. 187–268.
28. Шмидт А. И. Возрастные соотношения серно-колчеданного и золотополиметаллического оруденения Куросанского рудного поля (Южный Урал) // Геология рудных месторождений. – 1961. – № 6. – С. 27–40.
29. Шмидт А. И. Соотношение колчеданного оруденения с процессами базальтоидного магматизма и зеленокаменного метаморфизма (на примере Учалинского и Куросанского районов Южного Урала) // Магматические формации, метаморфизм, металлогения Урала. – Свердловск, 1969. – С. 350–357.
30. Щепотьев Ю. М., Вартанян С. С., Орешин В. Ю., Гузман Б. В. Золоторудные месторождения островных дуг Тихого океана. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – 244 с.
31. Язева Р. Г., Бочкарев В. В. Магматические формации Гумбейской зоны (Южный Урал) // Ежегодник 1995. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН, 1996. – С. 125–127.
32. Язева Р. Г., Бочкарев В. В. Геология и геодинамика Южного Урала (опыт геодинамического картирования). – Екатеринбург : УрО РАН, 1998. – 204 с.

Сучков А. В., Шашорин Б. Н.
ФГБУ «ВИМС», г. Москва

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СКАРНОВО-ШЕЕЛИТ-СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИХОТЭ-АЛИНЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НОВЫХ ПОИСКОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ЗВОНКОЙ ПЛОЩАДИ

На основании составления геолого-структурных и геофизических моделей вольфрамовых месторождений Дальнего Востока России, выделения факторов, определяющих пространственную и временную позицию вольфрамоворудных объектов, дается прогностическая оценка перспективных площадей ранга рудных узлов и рудных полей.

Ключевые слова: Сихотэ-Алинь, вольфрам, модели, Восток-2, Лермонтовское, Звонкая площадь.

В центральной части Сихотэ-Алиньской мезозойской аккреционно-складчатой области (САСО) – крупного сегмента Российского Дальневосточного сектора, входящего в структуру Тихоокеанского глобального металлогенического пояса, известны месторождения вольфрама скарнового геолого-промышленного типа (ГПТ) с очень богатой шеелитовой минерализацией. Прежде всего, это месторождения Восток-2 и Лермонтовское с содержаниями полезного компонента от 0,9 до 9,7 % WO_3 [2, 4, 5].

На основе сбора, анализа и обобщения фондового и литературного материала [1–4, 6–8] составлена модель гранитогенной вольфрамово-оловоносной рудно-магматической системы, в идеализированном виде отражаюая магматический фактор мотивации вольфрам-олово-рудного процесса, пространственную и генетическую связь вольфрамово-оловоносных объектов САСО (рудных районов, узлов, месторождений) с ареалами ранне- и позднемеловых гранитоидных интрузий I-S генетических типов – коллизионно-орогенными гранитоидными интрузиями смешанной мантийно-коровой природы, которые во времени и в пространстве тесно ассоциируют с палеогеновыми щелочными анорогенными и посторогенными гранитоидами А-типа (внутриплитными плюмазитовыми литий-фтористыми и редкометальными гранитами).

Составленные геолого-структурные и геофизические модели рудных узлов (РУ) и рудных полей (РП) скарново-шеелит-сульфидных месторождений Восток-2 и Лермонтовское имеют прогностический характер, поскольку построены на основе сбора, анализа и обобщения детального материала и на принципах объемного геолого-геофизического моделирования рудного и околорудного пространства недр данных объектов.

Геофизические модели строились путем ввода в базу данных «КОСКАД 3D» гравиметрической и магнитометрической информации с карт Dg и DT масштабов 1:200 000; далее – обработки по компьютерной технологии «КОСКАД 3D», визуального просмотра полученной информации в серии широтных и меридиональных разрезов, анализа и воспроизведения данной информации в виде 3D моделей объемов недр, в пределах которых развивались и реализовывались MZ (меловые) РМС месторождений Восток-2 и Лермонтовское.

Ведущими факторами (критериями), определяющими пространственную и временную позицию фольфрамоворудных объектов в складчатой-блоковой структуре САСО, являются магматический, формационно-стратиграфический и структурный.

Магматический фактор выражается в устойчивой пространственной и генетической связи вольфрамоворудных объектов САСО с ранними и позднемеловыми гранитоидными интрузиями I-S генетических типов (т. е. коллизионно-орогенными гранитоидными интрузиями смешанной мантийно-коровой природы), которые во времени и в пространстве тесно ассоциируют со щелочными анорогенными и посторогенными гранитоидами А-типа (внутриплитные плюмазитовые литий-фтористые и редкометальные граниты).

Формационно-стратиграфический фактор проявляется в связи вольфрамоворудных объектов САСО с турбидитно-флишевыми и олистостромовыми толщами $J–K_1$ с включениями девонских офиолитов, пермских и триасовых кремней, верхнепалеозойских известняков и т. д. В первую очередь, это Самаркинский и Журавлевский террейны с «молодой» мезозойской континентальной корой. В их пределах сформировались многочисленные месторождения вольфрама, олова, других полезных ископаемых, в т. ч. такие крупные и промышленно значимые вольфрамоворудные объекты скарново-шеелитового ГПТ, как Восток-2 и Лермонтовское.

Структурный фактор выражается в контроле вольфрамового оруденения со сдвиговыми дислокациями. В периоды тектонической активизации разломов в постмагматическое время ($K_2–P$) главными рудолокализующими структурами в рудных районах и узлах Приморья являлись дуплексы растяжения, сформированные в зонах левых сдвигов. Последние в сочетании со сбросами способствовали режиму миграции флюидов, формировали в складчатых тектоноседиментационных комплексах Самаркинского и Журавлевского террейнов контрастные напряженно-деформационные обстановки рангов «рудное поле, месторождение», которые были благоприятны для локализации богатых рудных залежей.

В качестве поисковых признаков для выделения потенциально рудоносных обстановок различных рангов в Центрально-Сихотэ-Алиньском регионе используются геофизические, геохимические, геоморфологические, метасоматические и рудно-минералогические показатели, которые ранжированы в связи с масштабами прогнозируемых рудных объектов, а также видами и масштабами прогнозно-поисковых работ.

Геолого-структурные модели включают в себя сведения о геологическом строении месторождений Восток-2 и Лермонтовское и окружающем их геологическом пространстве недр, рудоконтролирующих и рудовмещающих структурах и комплексах пород (терригенных, магматических, метасоматических), рудных образованиях и их пространственно-временной позиции. Обобщенный анализ собранных геологических данных и представленных в виде моделей свидетельствует о следующем.

1. Позиции РУ и РП данных месторождений контролируются мощными зонами смятия юрских и нижнемеловых турбидитно-флишевых и олистостромовых толщ, сформированных в позднекиммерийское время в зонах влияния северо-восточных глубинных разломов (Центрально-Сихотэ-Алиньского и др.) с левосдвиговой кинематикой в рудное ($K_2–P$) и пострудное время ($P–N–Q$).

2. Магматические породы РУ месторождения Восток-2 представлены мезозойскими (K_1/K_2, альб–сеноман) гранитоидами, слагающими Дальнинский, Каялинский, Бисерный интрузивные массивы. Магматические породы образуют непрерывную петрохимическую серию гипабиссальных интрузивных тел: от гранодиоритов, монцодиоритов, адамеллитов с возрастом 128 ± 16 млн лет (K_1) до лейкогранитов с возрастом 98 ± 15 млн лет (альб–сеноман K_1/K_2). Меловые гранитоиды соответствуют промежуточному I-S типу калий-натриевого и калиевого ряда.

3. Магматические породы РУ месторождения Лермонтовское представлены юрскими субвулканическими образованиями пироксенитов и габбро, а также гранитоидами $К_1$ и $К_2$, которые слагают крупные массивы, а на месторождении шток Васильевский. С последним пространственно и парагенетически связана вся вольфрамовая минерализация РУ.

4. Метасоматические (постмагматические) образования на месторождениях Восток-2 и Лермонтовское представлены скарнами, полевошпатовыми метасоматитами и грейзенами с сопутствующей им шеелитовой и сульфидной минерализацией.

5. Рудные залежи месторождений представляют собой метасоматические тела. Имеют пласто-, линзо- или гнездоподобную формы. Они локализуются в экзо-эндоконтактовых частях штоков Центральный и Васильевский.

Анализ геофизических моделей показал, следующее.

1. Разуплотненные массы со значениями плотностей ≤ 2,59–2,60 г/см^3 занимают в моделях положение MZ интрузивных гранитоидных массивов, а также фиксируют структуры смятия и тектоно-метасоматической проработки юрских и нижнемеловых турбидитно-флишевых и олистостромовых толщ, интрудированных гранитными массивами. В интервале глубин ~ 0,5–10 км локализованы наиболее разуплотненные массы, представляющие собой глубинные рудопродуцирующие магматические центры (или «очаги»). Последние являются магматическим фактором мотивации вольфрамово-оловорудного процесса в рудных узлах месторождений Восток-2 и Лермонтовское, и фиксируют глубинно-плотностную обстановку в РУ месторождений Восток-2 и Лермонтовское.

2. Плотные массы со значениями плотностей 2,68 – 2,71 г/см^3 и выше сосредоточены главным образом в основании верхней коры и/или связаны с породами основного и среднего составов. На модели РМС скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2 они соответствуют диорит-гранодиоритовому субстрату основания верхней коры, в «раме» которой зарождались очаги гранитоидных расплавов. На геофизических разрезах верхней коры территории листа L-53-IX, в пределах которого располагается РУ скарнового шеелит-сульфидного месторождения Лермонтовское, они соответствуют субвулканическим образованиям основного и субщелочного составов (это базальты, пикробазальты, пикриты, меймечиты), а также лавам основного и среднего составов, слагающим на восточном и северо-северном флангах листа L-53-IX обширные ареалы и вулканотектонические структуры.

Наиболее сходна в геологическом строении с вольфрамовоносным районом рудного узла месторождения Восток-2 – это северо-западная часть территории листа L-53-VI: Анюйская СФ подзона. Развитые здесь триас-юрские и нижнемеловые стратифицированные образования джаурской свиты (T_{2-3}dž) и светлореченской толщи (J_3-K_1sr) с горизонтами и линзами известняков и вулканитов основного состава являются наиболее благоприятными породами для образования скарнов с вольфрамовым оруденением в экзоконтактовых частях позднемеловых и палеоценовых гранитоидных интрузий, которые подвержены грейзенизации, сопровождающей шеелитовую минерализацию. Ожидаемый рудно-формационный и ГПТ объектов в Анюйской подзоне – это скарново-шеелит-сульфидные залежи, аналоги месторождений Восток-2 и Лермонтовское.

Анализ гравиметрических и магнитных данных по листу L-53-VI позволил выделить обстановки, близкие по своим геолого-геофизическим характеристикам к вольфрамовоносному рудному району и узлу месторождения Восток-2. Это Супкайская W-Sn (Au) потенциально рудоносная площадь, охватывающая СЗ периферийную область Верхне-Бикинского батолита и фронтальную (приповерхностную) часть Цафактайского глубинного магматического центра.

В серии широтных магнитометрических разрезов до глубин ~ 2–4 км отчетливо выделяются приповерхностные зоны с высокими и аномально высокими значениями магнитных свойств, с которыми повсеместно связаны выявленные в разные годы прошлого столетия и в разной степени оцененные проявления и пункты минерализации W, Sn и сопутствующего оруденения (Pb, Zn, Au, Ag) – это участки Звонкий, Няуха, Боленку, Кенгуру и др.

Наиболее перспективными на выявление скарново-шеелит-сульфидных залежей с богатыми рудами по сумме поисковых критериев и признаков могут считаться участки Звонкий и Левая Тыкпа.

Шеелитовая минерализация на этих участках связана с прожилками и жилами кварца и скарнированными породами. По своим площадным параметрам, геологическому строению, тектонике, магматизму, а также положению в мощной зоне смятия триас-юрских и нижнемеловых кремнисто-глинистых и известковистых пород, «зажатых» между Сукпайским и Цафактайским массивами позднемеловых гранитоидов, данные участки схожи с рудным узлом скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2.

Звонкая площадь выделяется в пределах Сукпай-Чукенского Mo-Sn-W рудного района Центрально-Сихотэ-Алиньской минерагенической зоны и включает в себя рудопроявления Звонкое, Валунистое, Амидей, Динкин, а также ряд пунктов минерализации, ореолов и потоков рассеяния W, Sn, Mo, Pb, Zn, Cu, Bi, Au и Ag.

Установлено, что Звонкая площадь приурочена к локальному гравитационному полю силы тяжести, являющемуся проекцией на поверхность скрытого гранитного массива потенциально перспективного рудного поля на олово-вольфрамовое, молибден-вольфрамовое и вольфрамовое оруденение. Аналогичная позиция – приуроченность месторождений и проявлений к локальным аномалиям гравитационного поля – отмечается для месторождений Тигриное, Забытое, Кордонное, рудопроявлений Арса, Александра, Юбилейное.

По результатам минералого-петрографических и петрохимических исследований установлено, что размещение вольфрамовой минерализации пространственно и генетически связано со штоками гранитоидов участков Звонкий и Амидейский. Наличие штоков субщелочных гранодиоритов с калиевой специализацией и окружающими их роговиками в сочетании с тектоническими нарушениями являются важным поисковым критерием обнаружения вольфрамового оруденения на площади Звонкого рудного узла и Сукпай-Чукенского рудного района.

По результатам исследования петрохимических особенностей гранитоидов Звонкой площади, относящихся к 4 и 5 фазе внедрения интрузивов бутта-коппинского комплекса, установлено, что рудоносные штоки относятся к I-типу и переходной области I- и S-типа и являются внутридуговыми гранитами. Гранитоиды Звонкой площади схожи с гранитоидами I-S-типа, которые располагаются в рудных полях месторождений Восток-2, Лермонтовское, Агылки, что позволяет высоко оценить потенциальную рудоносность площади (в ранге рудного узла) и рудного района на вольфрам.

Исходя из геологической позиции Звонкой площади возможно обнаружение аналогичных объектов в Сукпай-Чукенском рудном районе. Петрохимические особенности, отвечающие рудоносным гранитоидам Звонкой площади, могут использоваться как дополнительные факторы при изучении гранитоидных массивов вдоль Центрально-Сихотэ-Алиньского регионального разлома.

Список литературы:

1. Алексеев В. И. Литий-фтористые граниты Дальнего Востока (петрология, минералогия, рудоносность): специальность 25.00.04 «Петрология, вулканология» : диссертация на соискание ученой степени д-ра геол.-минерал. наук / Виктор Иванович Алексеев. – С-Пб. : СПГУ, 2014. – 433 с.
2. Гвоздев В. И. Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России. – Владивосток : Дальнаука, 2010. – 338 с.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 т. / под ред. А.И. Ханчук. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – Т. 1/2. – 982 с.
4. Родионов С. М., Малышев Ю. Ф., Горошко М. В. [и др.]. Глубинное строение уникальных рудоносных структур Дальнего Востока // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. – М. : ИГЕМ, 2006. – Т. 1. – С. 103–130.
5. Соловьев С. Г., Кривощеков Н. Н. Скарновое золото-полиметалльно-вольфрамовое месторождение Восток-2 (Центральный Сихотэ-Алинь, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53. – № 6. – С. 543–568.
6. Уткин В. П. Сдвиговый геодинамический режим формирования вулканоплутонических поясов Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода / под ред. А. И. Ханчук // Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – С. 321–339.

7. Ханчук А. И., Иванов В. В. Геодинамика Востока России в мезокайнозое и золотое оруденение / Геодинамика и металлогения. – Владивосток : Дальнаука, 1999. – С. 7–30.
8. Шашорин Б. Н., Макаров А. И., Матвеева Е. В., Выдрич Д. Е. Геолого-геофизическая 3D модель рудно-магматической системы скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2 (Центральный Сихотэ-Алинь, Приморский край) // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 4. – С 22–30.

Таракановский В. И.
НО «Союз старателей России», г. Москва

ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ

Рассмотрены основные законодательные трудности на пути современного освоения техногенных образований, в том числе отвалов россыпей. Приведен пример из опыта советских лет по успешной отработке золота техногенных отложений разведочно-эксплуатационными полигонами. Сформулированы основные предложения по уточнению и дополнению нормативной и законодательной базы для более эффективного освоения промышленностью техногенных образований.

Ключевые слова: проблемы отработки, техногенные образования, техногенные месторождения, россыпи, Закон «О недрах», золото, перспективы, разведочно-эксплуатационные полигоны.

После неоднократных обращений Союза старателей России Роснедра 19 января 2023 года продлили разрешение на применение опытно-промышленных работ (ОПР) при отработке техногенных образований до 31.12.2023.

Следует отметить, что эта мера опять временная, вынужденная: пока не разрешат разрабатывать техногенные образования без предварительной разведки и экспертизы запасов, золотодобытчики будут искать лазейки в нормативных документах, а чиновники придумывать такие письма.

В условиях истощения минерально-сырьевой базы россыпных месторождений России все большее значение для обеспечения фронтом работы небольших золотодобывающих предприятий и старательских артелей (а их свыше 500, с общей численностью персонала свыше 40 тыс. человек) приобретают техногенные и непромыленные россыпные отложения. По состоянию на 01.01.2022 года остатки балансовых запасов в недрах для россыпной добычи по категории $A + B + C_1$ составляют 681,4 т, причем в нераспределенном фонде – всего 252 т). Несравненно больше в нашей стране неучтенного россыпного золота, которое не числится на госбалансе. Активно вовлекаются в освоение многочисленные техногенные образования, в которых, по оценкам специалистов, может содержаться до 2500 т золота, что значительно превышает остатки балансовых запасов. Широкое освоение таких участков сдерживается отсутствием законодательного определения понятия техногенных образований и порядка их вовлечения в народнохозяйственный оборот. Россыпная золотодобыча обеспечивает основную занятость в наиболее удаленных регионах страны, во многих районах такие предприятия являются градообразующими. В производстве товаров и услуг для россыпной золотодобычи занято более 10 чел. на одного занятого в основном производстве. По социальной значимости, численности рабочих мест и налогам заменить ее в ближайшие годы невозможно – без россыпей огромные территории Крайнего Севера и Дальнего Востока станут полностью безлюдными.

Законодатели вкупе с чиновниками, казалось бы, озаботились проблемами техногенных отложений и разработали Федеральный Закон № 343 – ФЗ от 14.07.2022 г., но предложенные в нем трактовки не учитывают весь комплекс техногенных образований и не обеспечивают полноты отработки таких образований.

Разработчики Закона 343–ФЗ от 14.07.2022 г. и представители государственных структур, управляющие горной отраслью, учитывают в нем исключительно отходы добычи и отхо-

ды смежных перерабатывающих производств, исключив из отработки недоработанные запасы плотика, бортов полигонов, внутриблоковых и законтурных целиков, которые переходят в разряд неучтенных запасов.

Статистика добычи россыпного золота объединением «Северовостокзолото» с 1972 по 1992 г. говорит о том, что из добытых 1190 т россыпного золота только 701 т металла добыта из учтенных балансом запасов. А оставшийся металл был извлечен из техногенных отложений (35,6 т, или 3%) и из не учтенных балансом запасов (453,3 т, или 38%). Добыча золота в объединении «Северовостокзолото» была организована РЭПами (разведочно-эксплуатационными полигонами), что позволяло добывать значительные объемы золота из не учтенных балансом запасов. Получается, что в Советском Союзе чиновники не боялись применять РЭПы, ориентируясь исключительно на целесообразность полноты отработки, а в современной России тон в работе задают юристы, опирающиеся на букву недоброкачественных законов, а не умудренные опытом производственники. Чиновники рассматривают т. н. техногенку не как отходы горного производства, а как первичные месторождения и предлагают выполнять для них полный цикл подготовительных работ, как для первичных месторождений: поиски, разведка, подсчет запасов, ТЭО кондиций, экспертиза и утверждение запасов. Однако при этом не учтено, что техногенные образования, это, как правило, мелкие объекты и выполнение полного цикла подготовительных работ на них экономически не оправдано. Соответственно, добыча золота на большинстве участков с техногенными отложениями прекратится.

Сегодня недропользователей толкают на то, чтобы они вкладывали деньги в геологоразведку объектов, на которых они готовы работать и без дополнительных исследований. Государство при этом несет существенные потери, поскольку затраты на геологоразведку ложатся на себестоимость производства, и прибыль снижается на ту же сумму, бюджет теряет значительные суммы налогов, учитывая, что на ГРР предприятия затрачивают десятки млрд руб. в год.

О методике оценки техногенных образований в Законе 343-ФЗ ничего не сказано, а это вопрос весьма важный. Техногенные россыпи по строению весьма сложные образования, (4-я группа сложности) поэтому для их достоверной разведки нужно площадное опробование в десятки тысяч квадратных метров. Именно такую площадь обеспечивают РЭПы. Разведывать техногенные образования другими способами – пустая трата денег и времени. Оценка будет просто неправильной. А что такое неправильная оценка? Большая часть золота не будет выявлена и останется в недрах. Кроме того, на разведку и оценку ее результатов с кондициями и экспертизами нужно несколько лет.

Вопросы упрощения отработки техногенных образований постоянно поднимаются золотодобывающими предприятиями, и столь же постоянно игнорируются чиновниками всех рангов. Возникает естественный вопрос: до каких пор можно обсуждать эту проблему и бездействовать?

Первым шагом в подготовке законопроекта о техногенных образованиях Союз старателей России считает необходимым дать полное законодательное определение техногенных образований для внесения изменений в Закон «О недрах». В качестве основных положений к закону о техногенных образованиях при добыче драгоценных металлов, необходимость которого активно отвергают Роснедра, старатели предлагают следующее.

1. Просить ЦНИГРИ дать законодательное определение техногенных образований для внесения изменений в Закон «О недрах», которые позволят эффективно осваивать техногенные месторождения.

2. Включить в определение «техногенное образование» всю площадь участка отработанного месторождения в границах предварительного горного отвода, а не только остаточный отвальный комплекс.

3. Участки с техногенными образованиями предоставлять только действующим золотодобывающим предприятиям с соответствующим опытом работы, без проведения аукционов и конкурсов, на основании рассмотрения заявок предприятий комиссиями с участием представителей Роснедр и органов исполнительной власти.

4. Разрешить недропользователям проводить добычу драгоценных металлов из техногенных образований в границах предоставленного лицензией горного отвода без геологического изуче-

ния недр и установления кондиций с помощью хорошо себя зарекомендовавших разведочно-эксплуатационных полигонов (РЭПов).

5. Запасы техногенных образований ставить на оперативный учет по результатам их отработки и списывать по завершении работ.

6. Отменить требование проведения государственной экспертизы техногенных образований.

Толстых Н. Д., Подлипский М. Ю.
ФГБУ ИГМ им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

ШЛИХОВЫЕ КРИТЕРИИ ПОИСКОВ ПЛАТИНОНОСНЫХ ИНТРУЗИЙ

Минералы ЭПГ в расслоенных и дифференцированных интрузиях, устойчивые к окислению в гипергенных условиях, сохраняют информацию о коренном источнике и могут быть использованы в качестве поисковых критериев для коренных ЭПГ-содержащих месторождений. Наиболее устойчивыми являются сперрилит, один их ведущих или единственный минерал шлиховых ореолов всех ЭПГ-Cu-Ni месторождений, а также Pt-Fe сплавы, накапливающиеся в россыпях, если они присутствуют в коренных рудах. Кроме того, типоморфными поисковыми минералами для Cu-Ni месторождений являются устойчивые к окислению станниды и плюмбиды ЭПГ: паоловит (Pd_2Sn) – для шлиховых ореолов Чинейского и Йоко-Довыренского массивов, а также атокит-рустенбургитовая серия $(Pd,Pt)_3Sn$, станнопалладинит Pd_3Sn_2 и звягинцевит Pd_3Pb – для россыпей, связанных с Норильскими рудами.

Ключевые слова: Чиней, Йоко-Довырен, Кингаш, Норильск I, Великая Дайка, шлиховые ореолы, устойчивые МПГ, сперрилит, Pt-Fe сплавы, звягинцевит, станниды Pd.

Источниками мировой добычи элементов платиновой группы (ЭПГ) являются малосульфидные расслоенные интрузии (платиноносные рифы) и сульфидные Cu-Ni месторождения, связанные с мафит-ультрамафитовыми интрузиями. Для поиска месторождений в таких интрузиях описан минералогический критерий на основе:

1) выявления типоморфных особенностей минеральных парагенезисов минералов ЭПГ (МПГ) в крупных промышленных Cu-Ni месторождениях и в малосульфидных горизонтах расслоенных и дифференцированных интрузий;

2) сопоставления названных парагенезисов с ассоциациями МПГ в шлиховых ореолах, приуроченных к этим интрузиям. Выявлено, что устойчивые в гипергенных условиях МПГ несут генетическую информацию о коренном источнике и о его промышленной значимости.

Чинейский габбро-анортозитовый массив в Кадаро-Удоканском прогибе входит в состав крупнейшей в Сибири меднорудной провинции в Чарском районе Северного Забайкалья. Состав интрузивных пород по направлению к контакту фракционирует от габбро и габброноритов к диоритам и монцодиоритам. Породы вмещают комплексные Fe-Ti-V и Cu-сульфидные руды с ЭПГ и Au-Ag минерализацией. От внутренних частей массива по направлению к контакту уменьшаются размеры зерен МПГ от 30–50 мкм до нескольких мкм; возрастает генетическая связь МПГ с арсенидами Ni, и далее с сульфоарсенидами Ni и Co. В этом же направлении увеличивается медистая составляющая сульфидной фазы. Составы МПГ эволюционируют: Pd-Sn (паоловит, атокит) → Pd-As (палладоарсенид) → Pd-Te (котульскит, меренскиит, майченерит) → Pd-Sb стибиопалладинит, садбериит) → Pd-Bi (соболевскит, фрудит). Регрессивный температурный градиент направлен к контакту интрузивных пород с вмещающими песчаниками [7].

При окислении сульфидных руд на постмагматической стадии и в зоне гипергенеза МПГ перераспределяются вниз по склону по направлению к аллювию. Большинство Pd-минералов разрушается, при этом комплексы Pd сорбируются глинами склоновых отложений [2]; Pt / Pd отношения изменяются в пользу Pt. Степень устойчивости МПГ увеличивается в ряду: PdBiTe → Pd(Bi,Sb,Te) → Pd_2Sn. Устойчивые МПГ (сперрилит и паоловит) накапливаются в тяжелом концентрате рыхлых склоновых отложений и в аллювии, ограниченно представляя

коренную минерализацию. Сперрилитовая ассоциация с примесью паоловита ($PtAs_2$-Pd_2Sn) и Au-Ag сплавов в шлихах может свидетельствовать о наличии в пределах поисковой площади сульфидных руд с ЭПГ и может быть использована для поиска месторождений, аналогичных Чинейскому.

Интрузия Норильск I на северо-западе Восточно-Сибирской платформы входит в состав Северо-Сибирской никеленосной области и является частью рудно-магматической системы Норильского рудного узла. Известны вкрапленные руды малосульфидного горизонта верхней габбровой серии, основной габбро-долерит-пикритовой расслоенной серии и нижней такситовой серии, а также массивные сульфидные Cu-Ni руды в придонной части массива и экзоконтактовые прожилково-вкрапленные «медистые» руды. Богатая МПГ минерализация локализована в пикритовых и такситовых габбро-долеритах. ЭПГ до 10 г/т, Pd / Pt = 3. Известно более 50 минеральных видов, среди которых преобладают Pt-Fe сплавы и атокит-рустенбургит Pd_3Sn-Pt_3Sn. Многочисленные соединения Pd-Pt-Te-As-Pb-Bi (сперрилит, таймырит, мертиит, изомертиит, стибиопалладинит, соболевскит, фрудит, палладоарсенид и др.) находятся в несколько подчиненном количестве [5, 8]. Россыпные ассоциации ручьев Медвежий и Барьерный в целом отражают коренные парагенезисы Норильской интрузии, отличаясь отсутствием неустойчивых Pd-Bi минералов, значительным сокращением Pd-Sb-As фаз и увеличением доли изоферроплатины и станнидов ЭПГ (атокит-рустенбургит, ниглиит, кабриит и др.). Таким образом, шлиховая ассоциация, включающая Pt-Fe сплавы, сперрилит и станниды ЭПГ, отражает коренные минеральные парагенезисы интрузии Норильск I и может быть использована в качестве критерия поиска месторождений такого типа.

Кингашский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый массив, содержащий Ni-Cu-ЭПГ руды, расположен в пределах зеленокаменного пояса Канской глыбы Восточного Саяна и является результатом внедрения пикритоидной и базальтовой магм в условиях малых глубин [1]. Рудные тела локализованы в приподошвенной части перидотитового блока. Их составы изменяются от троилитовых до существенно никелевых (пирротин-пентландитовых). В рудных пробах преобладают сперрилит и соединения Pd-Bi-Te (котульскит, соболевскит, меренскиит, фрудит, майченерит), которые крайне неустойчивы в гипергенных условиях, поэтому шлиховые ореолы представлены исключительно сперрилитом. Сперрилит содержит изоморфные примеси тугоплавких платиноидов (Ir, Os), что является типоморфной особенностью рудоформирующих систем, относящихся к платиноносной неопротерозойской Восточно-Сибирской металлогенической провинции (ВСМП) в обрамлении Сибирского кратона. Сперрилит с примесями Ir и Os в концентратах шлиховых ореолов свидетельствует о наличии в пределах поисковой площади коренных ЭПГ-Ni-Cu руд, относящихся к интрузиям ВСМП.

Йоко-Довыренский дунит-перидодит-троктолит-габбровый массив расположен в пределах Байкало-Патомского перикратонного прогиба. Массив включает приподошвенные Cu-Ni руды в ультрабазитовой части массива и малосульфидный горизонт в габброидах. В рудах МПГ представлены сперрилитом, Au-Ag сплавами и минералами Pd-Sb системы (геверситом, садбериитом, мертиитом II, налдреттитом) [4]. В малосульфидном горизонте минералогия благородных металлов более разнообразна: характерны как соединения платины (тетраферроплатина, сперрилит, мончеит), так и минералы Pd-Te-Sb-Bi системы: потарит, паоловит, котульскит, соболевскит. При этом в аллювии ручья Школьный оказался только сперрилит, а в рыхлых отложениях под малосульфидном горизонтом – сперрилит и изоферроплатина. Таким образом, сперрилит-изоферроплатиновая ассоциация в шлиховых отложениях может свидетельствовать о наличии в районе поисковой площади расслоенной интрузии с Pt-Pd минерализацией, аналогичной Йоко-Довыренской, который также относится к ВСМП [3].

На примере сравнения коренной минерализации ***из пород Великой дайки*** в Зимбабве и ассоциаций МПГ в приуроченных шлиховых ореолах [6] также было показано, что в коренных породах преобладают соединения Pd-Pt-Bi-Te системы, присутствуют сперрилит, куперит-брэггит и Pt-Fe сплавы; отношение Pt / Pd =1,3. При переходе в россыпь в зоне окисления все палладиевые минералы (кроме брэггита) окисляются и разрушаются, а в аллювии присутствуют сперрилит, куперит-брэггит и Pt-Fe сплавы, доля которых значительно увеличивается по сравнению с коренными рудами; происходит возрастание индекса Pt/Pd до 10.

Заключение. Устойчивые к окислению минералы ЭПГ сохраняют информацию о коренном источнике и могут быть использованы в качестве поисковых критериев для коренных ЭПГ-содержащих месторождений: сперрилит, Pt-Fe сплавы, куперит, звягинцевит, станниды Pd. Большинство МПГ системы Pd-Sb-Te-Bi разрушаются в зоне окисления на пути к россыпи.

Список литературы:

1. Гертнер И. Ф., Глазунов О. М., Морикио Т., Тишин П. А., Чернышов А. И., Краснова Т. С., Врублевский В. А. Изотопно-геохимические ограничения модели формирования Кингашского ультрамафит-мафитового массива (Восточный Саян) // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Материалы Всероссийской научной конференции. – Томск : ЦНТИ. – 2005. – Т.1, вып. 5. – С. 61–72.
2. Житова Л. М., Толстых Н. Д., Цимбалист В. Г. Особенности концентрирования благородных металлов в склоновых россыпях Чинейского плутона // Доклады РАН. – 2004. Т. – 2004, № 5. – С. 654–659.
3. Поляков Г. В., Толстых Н. Д., Мехоношин А. С., Изох А. Э., Подлипский М. Ю., Орсоев Д. А., Колотилина Т. Б. Ультрамафит-мафитовые магматические комплексы Восточно-Сибирской металлогенической провинции // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 11. – С. 1689–1704.
4. Рудашевский Н. С., Крецер Ю. Л., Орсоев Д. А., Кислов Е. В. Палладиево-платиновая минерализация в жильных Cu-Ni-рудах Йоко-Довыренского расслоенного массива // Доклады Академии наук. – 2003. – Т. 391, № 4. – С. 519–522
5. Kozyrev S. M., Komarova M. Z., Emelina L. N., Oleshkevich O. I., Yakovleva O. A., Lyalinov D. V., Maximov V. I. The mineralogy and behavior of PGM during processing of the Norilsk-Talnakh PGE-Cu-Ni ores // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. – Montreal, Canada : Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2002. – Special V. 54. – P. 757–791.
6. Oberthur T., Melcher F., Buchholz P., Locmelis M., The oxidised ores of the main sulphide zone, Great Dyke, Zimbabwe: Turning resources into minable reserves – mineralogy is the key // Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2013. – V. 113, No. 3. – P. 191–209.
7. Tolstykh N. PGE mineralization in marginal sulfide ores of the Chineisky layered intrusion, Russia // Mineralogy and Petrology. – 2008. – V. 92, No. 1. – P. – 283–306.
8. Tolstykh N., Garcia J., Shvedov G. Distribution of sulfides and PGE minerals in the picritic and taxitic gabbro-dolerites of the Norilsk 1 intrusion // Canadian Mineralogist. – 2021. – V. 59, No. 6. – P. 1437–1451.

Третяченко В. В.
Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» ПАО, г. Архангельск

ЗИМНЕБЕРЕЖНЫЙ АЛМАЗОНОСНЫЙ РАЙОН – СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Рассмотрены основные аспекты формационно-минерагенических особенностей Зимнебережного алмазоносного района в составе Архангельской алмазоносной области. Приведен анализ современного состояния и перспектив коренной алмазоносности ЗБР, определены первоочередные площади ведения алмазопоисковых ГРР.

Ключевые слова: Зимнебережный алмазоносный район, кимберлитовое (пикритовое) поле, геотектоническая позиция, минерагеническое районирование, состояние и перспективы алмазоносности, месторождения алмазов.

Зимнебережный алмазоносный район (ЗБР) с месторождениями им. М. В. Ломоносова и им. В. П. Гриба наряду с Архангельским минерагеническим районом рассматривается в составе Архангельской алмазоносной области, которая является составным таксоном раннегерцинской Кольско-Двинской субпровинции кимберлитов и карбонатитов [2, 3].

Основополагающими факторами минерагенического районирования Архангельской алмазоносной области являются: наличие месторождений алмазов, формационные особенности кимберлитовых, кимберлит-пикритовых и пикритовых полей; особенности их геотектонической позиции относительно основных структурных элементов кристаллического фундамента и платформенного чехла, а также наличие информативных ореолов индикаторных минералов (ИМК).

В системе формационно-минерагенического районирования *Зимнебережный алмазоносный район* включает в себя 5 кимберлит-пикритовых полей – Золотицкое, Верхотинское, Черноозерское, Кепинское, Мегорское и Мельское, которые расположены в центральной и северной частях Зимнего берега (рис. 1). Формирование данных полей происходило в течение двух эпох: наиболее ранней пражско-раннефранской (410–390 млн лет) – Кепинское, Мегорское и Мельское поля, и самой поздней позднефранско-ранневизейской (375–340 млн лет) – Золотицкое, Черноозерское и Верхотинское.

В геотектоническом плане Зимнебережный алмазоносный район контролируется региональными структурами сжатия – осевой ортогнейсовой зоной палеопротерозойского коллизионного Лапландско-Кольско-Двинского орогена (Зимнебережный блок – 2 млрд лет), Зимнебережно-Полтинской зоной краевых дислокаций внешней зоны Притиманского перикратона рифея–раннего венда и также апикальной зоной раннегерцинского Кольско-Кулойско-Вычегодского поднятия [2, 3]. Данный блок, по данным МТЗ, характеризуется как высоомный, что указывает на наличие мощного литосферного киля. Характерно площадное развитие здесь информативных ореолов ИМК в промежуточных коллекторах нижнекаменноугольного возраста. При этом западный фланг Зимнебережного блока и Мегринско-Соянский блок рассматриваются только как проблемно-алмазоносные.

В противоположность Зимнебережному *Архангельский минерагенический район*, включающий Чидвинско-Ижмозерское, Суксомское и Ненокское поля, представлен исключительно

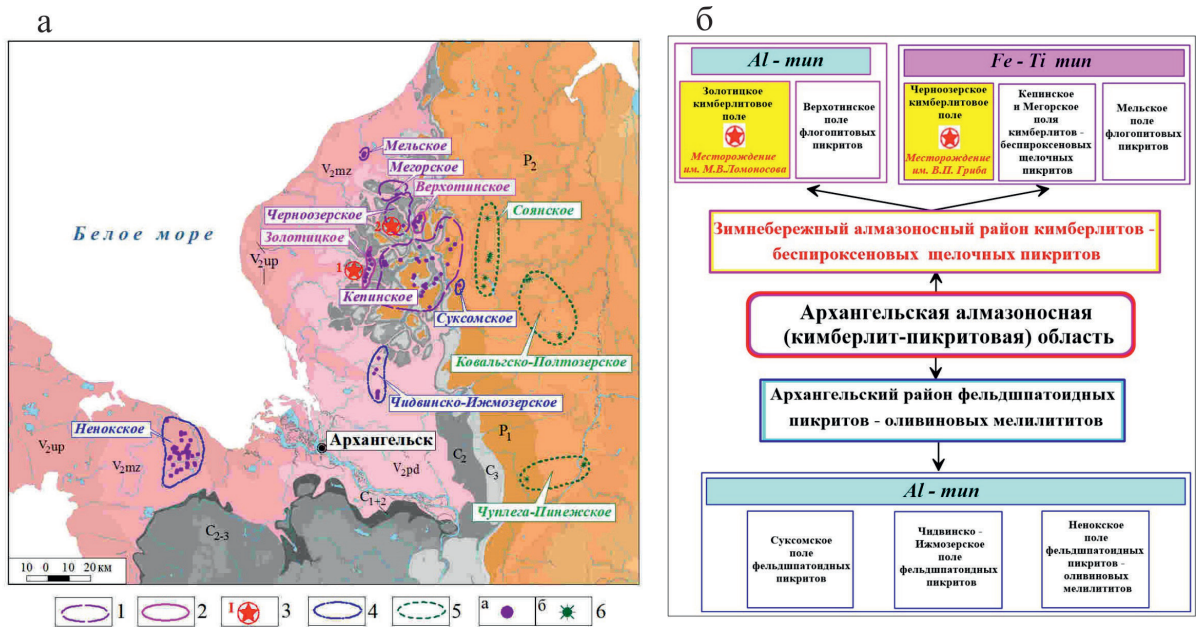


Рис. 1. Схемы расположения раннегерцинских полей кимберлитов и конвергентных пород (а) и строения (б) Архангельской алмазоносной кимберлит-пикритовой области:
1–4 – Кимберлитовые и мелилитит-пикритовые поля: 1–2 – Зимнебережный алмазоносный район кимберлитов-беспироксеновых щелочных пикритов: 1 – Fe-Ti тип: Черноозерское (3), Кепинское (4), Мегорское (5), Мельское (6); 2 –Al тип: Золотицкое (1), Верхотинское (2); 3 – Месторождения алмазов: 1 – им. М. В. Ломоносова, им. В. Гриба; 4 – Архангельский район фельдшпатоидных пикритов-оливиновых мелилититов: Суксомское (7), Чидвинско-Ижмозерское (8), Ненокское (9); 5 – поля базальтовых трубок Сояна-Пинежского района: Соянское (10), Ковальгско-Полтозерское (11), Чуплега-Пинежское (12); 6 – трубки взрыва: а – кимберлитов, пикритов, оливиновых мелилититов, б – толеитовых базальтов

фельдшпатоидными пикритами и оливиновыми мелилититами. При этом имеющиеся «фактические данные», по даже убогой алмазоносности трубок данных полей, являются следствием заражения керновых проб при обогащении. Формирование данных полей происходило в течение позднеживетско-раннефранской эпохи 390–380 млн лет, с которой связаны гигантские трубки взрыва фельдшпатоидных пикритов – Суксомская (1980 × 1100 м, площадь 76 га) и Чидвинская (1810 × 580 м, площадь 76 га [2, 3]).

В структурах фундамента и платформенного этапа развития Архангельский минерагенический район контролируется парагнейсовым юго-западным форландом Лапландско-Кольско-Двинского орогена (Северодвинский блок), Кандалакшско-Двинской рифтогенной зоной рифея–раннего венда и юго-западным флангом раннегерцинского Кольско-Кулойско-Вычегодского поднятия. По данным МТЗ, Северодвинский блок характеризуется как проводящий (низкоомный) [2, 3].

Состояние и прогноз алмазоносности. В целом, характеризуя перспективы алмазоносности в пределах Зимнебережного алмазоносного района, следует иметь в виду, что ЗБР это не бескрайняя территория, которая охватывает собой достаточно большую территорию Зимнего берега Белого моря, как термин исключительно географического плана. Это относительно небольшой участок недр, площадь которого составляет порядка 3600 км^2. И в его пределах установлены 2 рудных поля – Золотицкое и Черноозерское с месторождениями алмазов им. М. В. Ломоносова и им. В. П. Гриба с общими балансовыми запасами около 340 млн карат.

Рассматривая оценку других полей, следует учитывать полученную информацию по керновому опробованию трубок Верхотинского, Кепинского и Мегорского полей. Здесь установлены главным образом знаковые, значительно реже – весьма убогие содержания алмазов до 0,05–0,06 кар/т при том, что максимальная размерность кристаллов ограничена только присутствием класса -2+1 мм, при явном преобладании -1+0,5 мм, и в данном случае следует говорить исключительно о весьма убогой алмазоносности тех или иных объектов, что противоречит сведениям из целого ряда публикаций о низкой алмазоносности этих трубок. При этом общая площадь бесперспективных в плане промышленной алмазоносности кимберлит-пикритовых Кепинского, Мегорского, Верхотинского и Мельского полей составляет порядка 1400 км^2.

Кроме этого, следует иметь в виду, что западная и северо-восточная части территории Зимнего берега в силу отсутствия здесь в достаточной степени обоснованных признаков минералогического и тектонического планов являются по своей сути только проблемно перспективными.

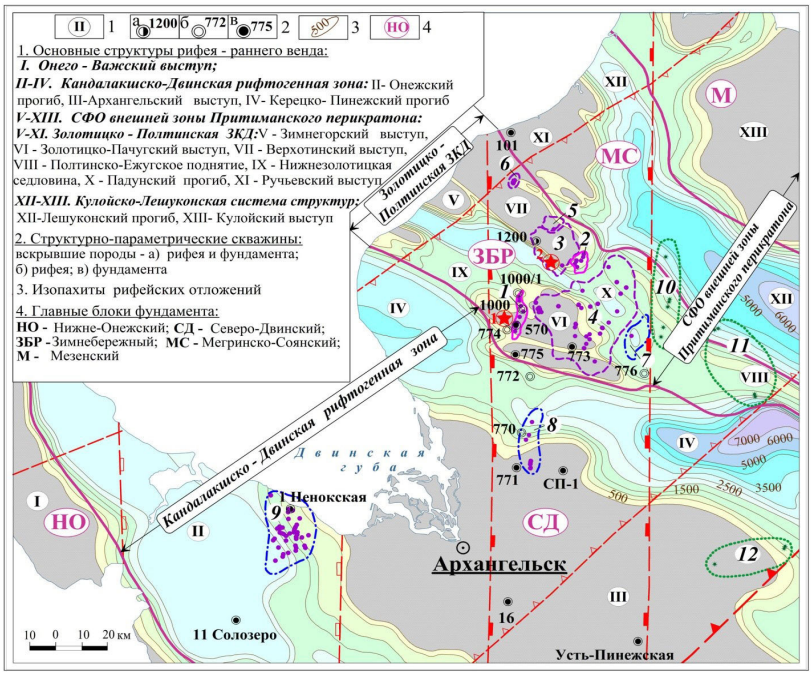


Рис. 2. Схема расположения раннегерцинских полей кимберлитов и конвергентных пород Архангельской кимберлит-пикритовой области в структурах фундамента и рифея–раннего венд

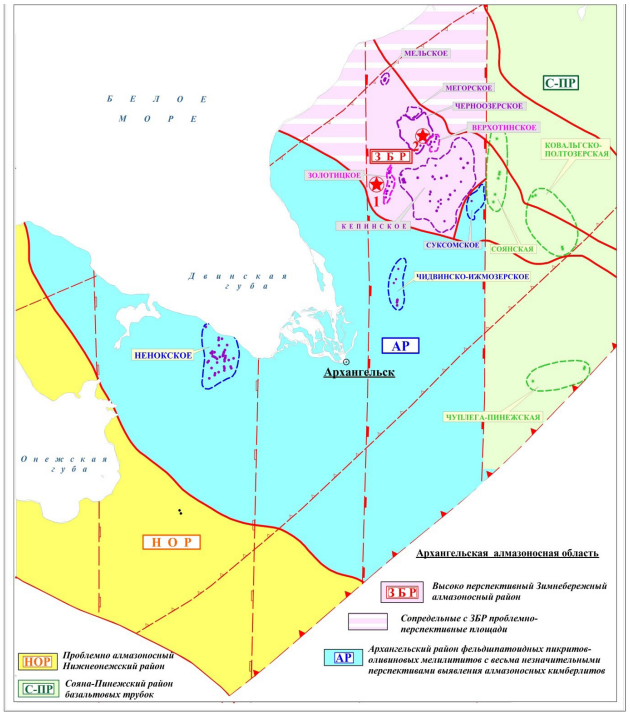


Рис. 3. Схема минерагенического районирования на алмазы Архангельской алмазоносной области

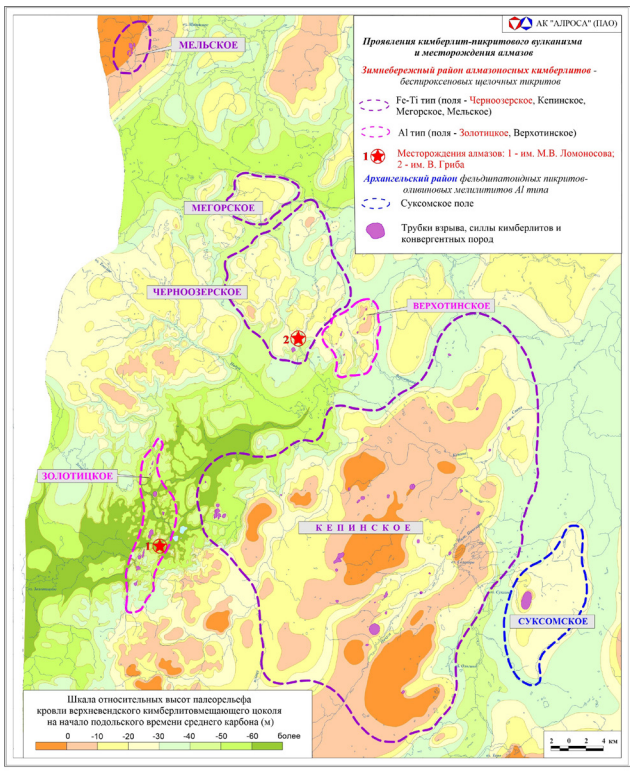


Рис. 4. Схема минерагенического районирования центральной части Зимнебережного алмазоносного района

На настоящее время учтенные Кадастром ресурсы алмазов категории P_3 (ФГБУ ЦНИГРИ, Голубев, 2014) в целом для Зимнего берега оцениваются в 460 млн карат (включая Ручьевскую площадь – 105 млн карат). Но уже в отчете 2018 г. (Голубев, 2018) года указано на то, что общие ресурсы неоправдано завышены, а по некоторым площадям могут быть сняты. Исходя из этого, реальные прогнозные ресурсы категории P_3 могут быть оценены в объеме 260 млн карат (150 млн карат Черноозерское рудное поле и 110 млн карат Золотицко-Кепинское).

Следует особо отметить, что рентабельные для разработки запасы алмазов Ломоносовского ГОКа, оцененные на 2014 г., предусматривают добычные работы на период более 40 лет. Резкоотличную ситуацию мы наблюдаем для месторождения им. В. Гриба, открытая разработка которого планируется только до 2028 г., при том что новые промышленные объекты на настоящее время здесь отсутствуют.

Исходя из вышеизложенного и принимая во внимание авторскую схему минерагенического районирования центральной части ЗБР, основанную на комплексе структурных, палеогеографических построений и характера развития информативных ореолов ИМК в промежуточных коллекторах, мы приходим к выводу, что дальнейшие перспективы алмазоносности связываются только с известными Золотицким и Черноозерским рудными полями и их возможными флангами. При этом границы выделенных полей Зимнебережного района и частично Архангельского в целом соответствуют обобщенным контурам характерных морфоструктур нижнекаменноугольного палеорельефа кимберлитовмещающего цоколя (рис. 4).

Подводя итог изложенному выше и реально оценивая степень перспективности открытия новых промышленно алмазоносных объектов в пределах ЗБР, мы неизбежно приходим к выводу о существенно большем минерагеническом потенциале высокоперспективного Черноозерского рудного поля, включая его западный и юго-западный фланги.

Список литературы:

1. Третяченко В. В. Минерагеническое районирование кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Владимир Васильевич Третяченко. – М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2008. – 28 с.

2. Третяченко В. В. Основные аспекты минерагенического районирования Архангельской кимберлит-пикритовой области // Сборник трудов XXVIII Смирновских чтений (Смирновский сборник-2017). – М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2017. – С. 288–321.
3. Третяченко В. В. Архангельская кимберлит-пикритовая область (особенности формационного состава, геотектонической позиции и минерагенического районирования, прогноз алмазоносности) // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ. – Мирный : НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), 2018. – С. 199–209.

Турапов М. К., Умматов Н. Ф., Кобилов З. М.
ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент

ГЕОДИНАМИКА РУДООБРАЗОВАНИЯ ДАУГЫЗТАУСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Работа посвящена изучению геодинамической обстановки Даугызтауского рудного поля во время формирования золотого оруденения. Показана роль блоковой тектоники в размещении золоторудных месторождений. Геодинамика периода рудообразования характеризуется господством горизонтальных движений, обусловивших активность разрывных структур, а под их воздействием – тектонических блоков.

Ключевые слова: геодинамика, разломы, рудное поле, блок, месторождение, активность, деформация, трещины.

Даугызтауское рудное поле с месторождениями Даугызтау, Асаукак и Высоковольтный занимает почти всю территорию гор Бельтау. Его тектонической особенностью, как указывают исследователи, является ограничение с востока крупной рудоконтролирующей (рудораспределяющей, по А. В. Королеву, 1983) разрывной структурой северо-восточного простирания, а также его блоковое строение, обусловленное системами северо-восточных и широтных разломов. Они являются основным тектоническими элементами, участвовавшими в процессе рудообразования. Они определяют внутреннюю геодинамику гор Бельтау, в том числе рудного поля, каждого взятого в отдельности тектонического блока.

По мнению Л. П. Зоненшайна, Н. Н. Усманова, Т. Н. Далимова, П. А. Мухина, Ю. С. Савчука, И. М. Голованова, Р. Х. Миркамалова и др., тектоника и региональная геодинамика герцинской металлогенической эпохи Центральных Кызылкумов обусловлены тектоникой плит, при господстве горизонтальных движений. Это отразилось на геодинамике рудного поля, что подтверждается результатами экспериментов по моделированию тектонических напряжений в структурах рудного поля.

Геодинамическая обстановка рудообразования характеризуется тем, что региональные тектонические усилия активизировали разрывные нарушения рудного поля. Активность северо-восточных разломов (граничные элементы блоков) вызвала движение блоков относительно друг друга. Морфология блоков и их пространственное расположение в структурной сети рудного поля во многом влияют на характер их движения, на напряженность и деформацию. В пределах площади рудного поля условно выделены 7 блоков.

Первые два небольшие блока занимают северную часть рудного поля. Также одним из активных в движении является блок 6. Его с северо-запада и юго-востока ограничивают северо-восточные рудоконтролирующие разломы, с юга – субширотный разлом, а с востока – Даугызтауская глубинная структура. Под воздействием региональных тектонических сил динамика всей территории блока и ограничивающих его структур характеризуются активными движениями.

Северная и юго-западная части блока, имеющие форму клина, проявили локальное смещение соответственно в южном и северо-восточном направлениях. В этих же направлениях происходит миграция касательных напряжений с их концентрацией в восточной части блока. Концентрация касательных напряжений сопровождается усилением деформаций с образованием

зоны локальной деформации сжатия на фоне региональной деформации сжатия. Геодинамика клиновидных участков блока 6 способствовала образованию зон локальной деформации растяжения, что естественно отразилось на напряженности, понижая ее величину до минимума. Понижение напряженности сопровождается миграцией касательных сил из зоны локального растяжения и высвобождением энергии сжатия. Процесс высвобождения энергии влияет на структуру вмещающей среды, образуя зону трещиноватости пород.

В клиновидных участках, в зонах граничных разломов блока при их активности теоретически должны формироваться новые структуры – трещины отрыва, которые формируются под некоторым углом по отношению простиранию разломов. Во многих золоторудных месторождениях Чаткало-Курамы (Гузаксай, его участки Акбулак и Каракутан, Кочбулак) такие структуры играют важную роль в размещении золотого оруденения и являются структурным поисковым признаком и прогнозным критерием.

Геодинамика клиновидных участков, ее последствия, выраженные новоструктурообразованиями (дробление пород, зоны трещиноватости, трещины отрыва), сыграли важную роль как перспективная позиция для формирования рудных объектов (Даугызтау, Асаукак) и размещения в них эндогенного оруденения. С другой стороны, необходимо напомнить, что при моделировании напряжений в структурах Даугызтауского рудного поля для данного клиновидного участка блока характерно формирование зоны приоткрывания по граням северо-восточного и Даугызтауской разломов. В природе эти зоны являются каналами для циркуляции горячих флюидных рудоносных растворов. Именно таким каналом может является зона приоткрывания граней разломов, так как месторождение Даугызтау пространственно приурочено к этой зоне.

Блок, расположенный в юго-восточной части рудного поля, по морфологии (треугольник) и по геодинамической обстановке отличается от других блоков. Его геодинамическая обстановка на период рудообразования характеризуется проявлением активности всех его граничных разломов. При этом активность имеет локальный характер. По граничному Даугызтаускому разлому, по его северному участку наблюдается незначительное движение: по западному борту наблюдается сдвиг в южном направлении, по другому борту разлома – в северном направлении. Вдоль западного борта Даугызтауской структуры локальные движения, направленные друг против друга, в участке их соприкосновения концентрировали усилия сжатия с повышением касательных напряжений и деформации пород. По северо-восточному и субширотному граничным разломам наблюдается обратная картина: здесь локальная активность направлена от их центра в сторону их сопряжения с Даугызтауским разрывом. Эти явления обусловили формирование зон локального растяжения в пределах блока. По зонам изменения деформации площадь блока можно подразделить на две части, которые относительно друг друга смещаются в противоположных направлениях: восточная часть, приуроченная к Даугызтаускому разлому, смещается в северо-восточном направлении, а западная часть – в юго-западном направлении. При такой геодинамике в зонах локального растяжения должны формироваться трещины отрыва северо-западного направления. В природном объекте в этом блоке наблюдается система северо-западных разломов, которые контролировали жильные тела золото-серебряного оруденения месторождения Высоковольтное. Другой причиной, обусловившей формирование северо-западных рудовмещающих разломов, может стать граничный разлом структурно-формационных зон, который проходит по югу Ауминзатау и Бельтау, ограничивая их. Этот разлом ограничивает Зерафшано-Туркестанскую структурно-формационную зону от Зерафшано-Алайской, а точнее, Центрально-Кызылкумскую подзону, куда входит Бельтау, от Зарафшанской подзоны (А. К. Бухарин, 1985). Эта крупная структура региона в процессе рудообразования находилась в активной фазе развития, о чем может свидетельствовать формирование северо-западных рудоконтролирующих структур Аминзатау.

Выводы. Таким образом, на основании вышеизложенного, можно заключить: 1) в целом геодинамическая обстановка гор Бельтау (и Даугызтауского рудного поля) периода рудообразования определялась воздействием внешних региональных тектонических сил; 2) внутренняя геодинамическая обстановка гор Бельтау, соответственно Даугызтауского рудного поля, помимо воздействия внешних сил, определялась их структурно-тектоническим строением, где ведущим тектоническим элементом являются разломы и блоки, которые под воздействием тектони-

ческих сил сжатия активизировались, создавая структурные позиции (полости приоткрываний, сопряжение разломов и т.д.), благоприятствующие формированию золоторудных месторождений и рудопроявлений и размещению в их пределах эндогенного оруденения.

Список литературы:
1. Бухарин А. К., Брежнев В. Д., Пятков А. К. и др. Тектоника Западного Тянь-Шаня. – М. : АН СССР, 1985. –153 с.
2. Королев В. А. Структурные типы рудных полей и месторождений Средней Азии – М. : Недра, 1983. – 215 с.

Туресебеков А. Х., Садыкова Л. Р., Шукуров Ш. Р., Файзиев Ф. Ф.
Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева, г. Ташкент

МЕТАЛЛОГЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ, ЦВЕТНЫХ, РАДИОАКТИВНЫХ И ДРУГИХ СОПУТСТВУЮЩИХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВОЙ ФОРМАЦИИ ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА: ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПРОГНОЗНЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Основной металлогенической особенностью руд месторождений Булуткан-1, Сержой является совмещение во времени и пространстве трех генетических типов месторождений: уран-ванадиевого, золотосеребряного и медно-молибденового.

Ключевые слова: Булуткан-1, Сержой, месторождения благородных, цветных, радиоактивных, сопутствующих металлов.

1. Ураноносная сланцевая формация известна на всех материках. С ней связаны промышленные месторождения не только урана, но и золота и серебра, где сосредоточены месторождения: Рудное, Новое, Джантуар, Косечка и др. [1–5].

Проведённый расчёт кларков концентраций (КК) в основных литологических разностях черносланцевой формации Таскащганской свиты показал, что кроме урана в них накоплены Mo, Ag, Cd. В связи с этим отмечается парагенетическая ассоциация элементов: U - V - Au - Ag - Se - Cd - Bi - Cu - As - Re - Zn - редкоземельные элементы (Y,Ce), участвовавших в процессе формирования высоко комплексных руд перечисленных выше месторождений, которые подверглись неоднократным гипогенным процессам на различных геохимических барьерах в ходе неоднократных, последовательных неотектонических поднятий [2, 3, 4].

2. Геохимические особенности углеродистых сланцев Средней Азии и Казахстана выражены повышенным содержанием значительного количества сопутствующих не только рудных элементов. Расчеты кларковых содержаний (КК) показали, что накапливающимися элементами (в порядке уменьшения КК) являются Mo, Ag, U, V, Ba, Zn, Cu. Установлено, что парагенетические ассоциации Mo – U – Ag характеризуются величинами КК ≥ 10, довольно часто в сланцах накапливаются Re, Y, TR, As, Ni, Cr, реже Cd, Sb, Pb, Cs, Te, Tl, Sr, Ge, Au, Ag, Be, Ga, B [2].

3. В результате детальных минералогических, геохимических, аналитических исследований (микроскопия, микрозондирование, рентгенофазовый, спектральный, химический, масс-спектрометрический анализы представленных проб руд золоторудных месторождений Булуткан-1 (2 пробы), Сержой (1 проба)), впервые в данных месторождениях выявлены промышленные содержания урана (103–127 г/т) и впервые установлено наличие радиоактивного Tc, Au и Ag, элементов платиновой группы (Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Os), Cu, Mo, Bi, редкоземельных элементов (Y, Ce) и повышенных содержаний Pb, As, Sb, Se, Sn, Te, Tl, Re, Hg, Ni, Cd, In (табл. 1–4).

Полученные результаты исследований позволяют отнести руды данных месторождений к высококомплексным U-V месторождениям, аналогичным ранее установленным высококомплексным U-V месторождениям Новое, Рудное, Джантуар, Косечка и др. [1–5].

4. Металлогеническими, геохимическими особенностями руд месторождений Булуткан-1 и Сержой являются широкое распространение вкрапленной и прожилково-вкрапленной сульфидной и сульфосолевой и других типов минерализации, представленных главным образом пиритом, арсенопиритом, пирротином, арсенопиритом, халькопиритом, самородным золотом, сфалеритом, гринокитом, галенитом, молибденитом, гесситом, антимонитом, висмутином, са-

мородным висмутом, йодаргеритом, сульфидом селена (Fe, $(Se, S)_2$) Особо следует отметить, что сульфиды и сульфосоли содержат значительные концентрации Au, Ag, Pt, Pd, Ni, Co, Cd, Te, Se, Re, Tl, Bi, которые присутствуют в выше-кларковых содержаниях.

5. Нашими исследованиями впервые в высококомплексных уран-ванадиевых месторождениях установлен радиоактивный элемент технеций (Tc), который с ураном образует тесные парагенетические ассоциации с образованием собственных минералов – карнотита, фолбортита, брегерита, уранинита, уранинит-технеция, содержащих (U, Tb) O_2 (см. табл. 4).

6. В рудах месторождений Булуткан-1 установлены высокие показатели суммы редкоземельных элементов (∑TR = 640 г/т), представленных редкоземельными минералами монацитом, селикорабдофаном, Y – апатитом, Y – цирконом.

Табл. 1. Содержание платиноидов (в г/т) в рудах месторождения Булуткан-1 (по данным масс-спектрального анализа)

Месторождение	Au	Ag	Pt	Pd	In	Rh	Ru	Os	∑ Pt
Булуткан	0,10	430	0,60	0,40	0,080	0,10	0,015	0,014	1,33

Примечание. В скобках (2 пробы)

Табл. 2. Содержание золота и серебра в рудах месторождения Булуткан-1, определенные различными методами

Месторождение	Пробирный		Масс-спектральный		Золото-спектральный
	Au	Ag	Au	Ag	Ag
Булуткан	2,20	61,60	2,40	48,40	30,0

Табл. 3. Содержание халькофильных элементов, урана и других сопутствующих элементов в рудах месторождения Булуткан-1, Сержой, в г/т (по данным масс-спектрометрического анализа)

U	Th	Cu	Zn	Pb	Mo	As	Sb	Se	Cd	In	Ga	Sn	Te	Tl	Re	Ni	Bi	Hg
110	7,0	6830	3300	700	270	4730	590	165	2,0	0,10	17,5	25	2,0	7,8	1,0	400	127	7,0
127	2,06	252	208	44	438	910	60	15,1	1,0	0,06	2,5	1,0	0,42	0,17	<0,010	160	5,0	–

Табл. 4. Химический состав минералов урана, тория и технеция (Tc) (по данным микрозондирования), в %

Минералы	SiO_2	V_2O_5	ThO_2	UO_2	Fe_2O_3	TeO_2	Bi_2O_3	SO_3	K_2O	Al_2O_3	CuO
Брегерит – торий содержащий	5,6	0,57	4,91	88,52							
Уранинит – технеций, торий содержащий			1,29	95,32	0,75	2,51					
Уранинит – технеций, торий содержащий			1,90	94,00		3,60					
Смесь минералов бисмута и уран содержащего оксида (Tc, V)O_3	2,6			1,34	6,37	53,87	37,86	2,46			
Карнотит	3,22	19,81							11,06	2,78	
Фолбортит		36,32		3,05	3,04			2,02			53,52

7. Руды месторождения Булуткан-1, Сержой подверглись глубоким гипогенным процессам (окислению и развитию зон вторичного обогащения) и представлены минералами гидрогетитом, гетитом, молибденитом, гипсом, англезитом, мелантеритом, самородным золотом, латунью, опалом и аллофаном. На масштабность окислительных процессов указывают высокие содержания ($FeO+Fe_2O_3$) – до 50 %.

8. Основной металлогенический особенностью руд месторождений Булуткан-1, Сержой является совмещение во времени и пространстве трех генетических типов месторождений: уран-ванадиевого, золото-серебряного и медно-молибденового.

9. Необходимо проведение более детальных исследований руд месторождений Булуткан-1, Сержой на значительно большем количестве проб.

Список литературы:

1. Ежков Ю. Б., Рахимов Р. Р., Новикова И. В., Рустамжонов Р. Р. Геология, геохимия, минералогия и эталонные месторождения урана. – Ташкент : ГП «ИМР», 2016 г. – 220 с.
2. Перельман А. И., Самонов, А. Э. Вопросы геохимии ураноносных углеродистых сланцев (на примере Ауминза-Бельтауского района Кызылкумов и некоторых других районов Средней Азии и Казахстана). Минералогия и геохимия. – М. – 1985 г.
3. Сафонов Ю. Г. Пространственно-генетическое соотношение месторождений урана и золота в ураноносных литосферных плитах // Материалы Республиканской конференции. «Современные проблемы геодинамики, магматизма и оруденения». – Ташкент. – 2012. – С. 92–96.
4. Сим Л. А. Геология, поиски и разведка месторождений урана. – Ташкент: ГП «ИМР», 2010. – 447 с.
5. Туресебеков А. Х., Мирходжаев Б. И., Шарафутдинов У. З., Садыкова Л. Р., Шукуров Ш. Р. и др. Технологическая геохимия и минералогия совмещенных во времени и пространстве высококомплексных V, U, Cu, Mo, Au, Ag, Pt, Pd, Se, Re, W, Sc, редкоземельных (Y > Ce) руд – новый тип полиминерального-редкометального сырья (Узбекистан) // Сборник статей по материалам докладов XIV Российского семинара по технологической минералогии. – Петрозаводск : ИГ Кар НЦ РАН, 2022. – С. 33–36.

Умматов Н. Ф.[1], Турапов М. К.[1], Жонибеков Б. О.[2]

[1] ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент; [2] ТГТУ им. Ислама Каримова, г. Ташкент

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА РУДООБРАЗОВАНИЯ БЕЛЬТАУСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

В работе рассматриваются результаты расшифровки геодинамической обстановки Бельтауского рудного района Центральных Кызылкумов, которая была выполнена на основе новой методики изучения геодинамики рудообразования в локальных рудоносных площадях. Показано, что геодинамика в процессах рудообразования характеризуется активностью территории в горизонтальной плоскости, обусловленной воздействием внешних тектонических сил. Геодинамика рудообразования тесно взаимосвязана с напряженностью и деформацией, которые в комплексе формуют структурные позиции, благоприятные для размещения эндогенного оруденения.

Ключевые слова: геодинамическая обстановка, разлом, фактор, блок, напряженность, деформация, рудообразование.

Принципы расшифровки геодинамической обстановки рудообразования рудных полей и месторождений требуют проводить исследования от регионального масштаба до частного по схеме: геодинамика региона → геодинамика рудного района → геодинамика рудного поля или месторождения. Основываясь на этом, рассмотрим геодинамическую обстановку Бельтау и определим позицию месторождений Даугызтау и Амантайтау в геодинамике района. Бельтауский рудный район характеризуется сложным структурно-тектоническим строением, нали-

чием блоковых структур и различных систем разрывных нарушений, где, по данным геологоразведочных работ, северо-западные, северо-восточные и субширотные системы разрывов контролировали процессы рудоотложения. Каждая из этих систем разломов формировалась в определенных геодинамических и тектонических обстановках под воздействием региональных тектоно-магматических процессов.

К периоду рудообразования эти системы разломов уже существовали в природе. Их заложение и развитие предопределили формирование различных структурных элементов: сопряжение и пересечение разломов, приоткрывание граней при волнистой поверхности разломов, зоны приоткрывания при выклинивании клиновидной структуры и т.д., которые сопровождались дроблением пород, смятием их в мелкие складки, проявлением трещинной тектоники. Все это является следствием тектоники в комплексе с физико-механическими свойствами пород. Под воздействием тектоники активность структур способствовала разрушению вмещающих пород в их зонах, в участках их сопряжений и пересечений. Интенсивность разрушения пород прямо зависит не только от динамики структур, но и от литологического состава вмещающей среды, от их минерального состава и степени вторичных изменений и т.д. Это один из главных факторов, способстующих повышению проницаемости пород. А повышение проницаемости пород – это причина, способствующая проявлению различного рода геологических явлений, в том числе и рудных. Именно к таким геологическим и структурным элементам приурочены многие проявления золота Бельтау.

В формировании благоприятных структурных элементов основную роль играют: морфогенетические особенности разломов, воздействие региональных тектонических усилий сжатия, тектоническая напряженность, деформация и, естественно, благоприятная рудовмещающая среда, в которой происходят эти геологические явления. В герцинском металлогеническом этапе развития региона площадь Бельтау находилась под воздействием региональных тектонических усилий сжатия. Северо-восточные рудоконтролирующие структуры простирались под углом ≈30° по отношению к направлению региональных сжимающих усилий. Даугызтауский разлом простирается параллельно направлению тектонических усилий сжатия, а субширотные – перпендикулярно. В таком пространственном взаимоотношении структурных элементов при сжатии наиболее подвижными элементами стали северо-восточные разломы.

Различными системами разломов площадь Бельтау разбита на блоки, отличающиеся параметрами и формой. Многие блоки, ограниченные с востока Даугызтауским разломом, имеют клиновидную форму. Участок земной коры имеющий такую клиновидную морфологию во многих случаях является очень подвижной структурой. По данным В. А. Королева (1983); Ю. С. Шихина (1991); Х. А. Акбарова (1975); М. К. Турапова и др. (2015), и др., многие эндогенные месторождения Средней Азии, в том числе и эталонные объекты Бельтау, приурочены к площади клиновидных структур. Одной из основных причин формирования месторождений Бельтау в клиновидных структурах является геодинамика. Под воздействием внешних сил клиновидные структуры Бельтау, к которым приурочены месторождения Даугызтау, Ассаукак, в подавляющем большинстве случаев выклиниваются в определенном юго-восточном направлении. Процесс выклинивания сопровождается изменением физического состояния блоков. Это, в первую очередь, касается их напряженности и деформации. С процессом выклинивания блоков синхронно проявляется активность рудоконтролирующих разломов, являющихся граничными элементами блоков. Активность (динамика) разломов в комплексе с изменением напряженности и деформации могут способствовать формированию трещин скола или отрыва, зон трещиноватости и дробления пород в самих зонах разломов и в их околоразломном пространстве, что отражается на проницаемости зон разломов и вмещающей среды. Такой сценарий геодинамики характерен для большинства смещающихся тектонических блоков и их граничных разломов.

Таким образом, выклинивание клиновидных блоков сопровождается изменением напряженности и деформации, формированием новых структур, способствующих повышению проницаемости пород. Все эти тектонические и геодинамические явления создали структурные условия, благоприятные для размещения рудной минерализации. В Бельтау региональная деформация способствовала активизации (смещению) северо-восточных и северо-западных си-

стем разломов. От направления и интенсивности их активности зависит характер смещения блоков. Сформированные зоны локальной деформации сжатия и растяжения, как вдоль разломов, так и внутри блоков, указывают на изменения их физического состояния. Зоны локальной деформации растяжения в большинстве случаев формировались в приразломной зоне рудоконтролирующих структур. Растяжение происходит по направлениям простирания рудоконтролирующих структур. Сжатие характерно для участков сопряжений и пересечений разломов, где наблюдается проявление локальной деформации сжатия.

Формирование зон локальной деформации растяжения сопровождается падением до минимума напряженно-деформированного состояния пород. При растяжении во вмещающей среде формируются зоны трещиноватости пород, трещины отрыва; их полости могут приоткрываться, повышается проницаемость вмещающей среды, что весьма благоприятно для проявления здесь различных геологических процессов.

Наиболее крупная рудоконтролирующая структура Даугызтау – Даугызтауский разлом. При воздействии на район исследования региональных тектонических сил Даугызтауский разлом тектонически менее активен. Его динамика определяется пространственным положением разлома по отношению к направлению региональных тектонических усилий, а также его морфологией. По этой причине вдоль разлома образовалось чередование зон локальных деформаций сжатия и растяжения. Зоны локальной деформации сжатия характерны для участков сопряжения Даугызтауского с северо-восточными разломами.

Следует отметить, что не вся площадь зоны сопряжения разломов находится под влиянием одной величины напряжений и сил деформации. Часть площади зоны сопряжений разломов, имеющей клиновидную форму, характеризуется деформацией растяжения. Следовательно, геодинамическая обстановка здесь имеет соответствующую картину, обусловленную выклиниванием клина в юго-западном направлении.

Падение напряженности – это процесс высвобождения энергии сил сжатия при деформации растяжения, и оно сопровождается растрескиванием пород с образованием мелких трещин, способствующих увеличению проницаемости пород. Именно к структурам (клин), имеющим такие физические особенности, приурочены месторождения Даугызтау, Ассаукак.

Выводы. Таким образом, геодинамика в комплексе с напряженностью и деформацией в клиновидных структурах создали благоприятные условия для формирования рудного объекта и размещения в нем золоторудной минерализации. В процессе рудообразования наиболее тектонически активными структурами Даугызтауского района были северо-восточные разломы. В геодинамике рудообразования особое место занимает блоковое строение района. Активность разрывных структур обусловила горизонтальное смещение блоков, что отразилось на их напряженно-деформированном состоянии и строении. Все это сыграло определенную роль в размещении золоторудной минерализации по всей площади рудного района.

На этапе рудообразования площадь Бельтауского района, как вся территория Центральных Кызылкумов, находилась под влиянием региональных тектонических усилий сжатия. Под влиянием этих процессов изменились напряженность и деформация площади, активизировались его разрывные структуры и блоки. Геодинамика площади района всецело зависела от региональной геодинамической обстановки и структурно-тектонического строения. Внутренняя геодинамика района прямо зависела от его блокового строения, от степени тектонической осложненности блоков разрывными структурами. Геодинамика отдельно взятого блока определялась, в первую очередь, морфологией блока, его позицией в общей структуре района.

Список литературы:

1. Акбаров Х. А., и др. Геолого-структурные типы полиметаллических рудных полей и месторождений Средней Азии и некоторые вопросы их поисков и разведки. – Ташкент : Фан, 1 975. – 200 с.
2. Королев В. А. Структурные типы рудных полей и месторождений Средней Азии. – М. : Недра, 1983. – 215 с.
3. Турапов М. К., Акбаров Х. А., Дулабова Н. Ю., Жанибеков Б. О., Умматов Н. Ф., Хамроев Ж. З. Геодинамическая обстановка формирования золотого оруденения Центральных Кызылкумов.

Научная конференция «Актуальные проблемы геологии, геофизики и металлогении». – Ташкент, 2015 г. – С. 54–56.
4. Шихин Ю. С. Геологическое картирование и оценка рудоносности разрывных нарушений. – М. : Недра, 1991. – 227 с.

Усманова Ш. В.[1], Арипова М. К.[1], Яхшибаев Ш. Б.[2]
[1] НУУз, г. Ташкент; [2] Навоийский научно-исследовательский институт, г. Навои

МИНЕРАЛЬНЫЕ ТИПЫ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛЬМАКЫР И ЁШЛИК (АЛМАЛЫК-АНГРЕНСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ)

В работе рассматриваются типы руд месторождений Кальмакыр и Ёшлик Алмалыкского горно-рудного района. Приведены данные о некоторых минералах, встречающихся на исследуемых месторождениях.

Ключевые слова: валлериит, шток, эндоконтакт, скарн, руда, оруденение, прожилки, медь, молибден, благородные и редкие металлы.

Производство электротехники и освоение возобновляемых источников энергии из года в год расширяются и повышают ценность меди на мировом рынке. Крупных медных залежей на земле остается все меньше и меньше, при этом Узбекистан располагает одним из самых крупных месторождений металла, запасов которого хватит на долгие годы [3].

В настоящее время с той или иной степенью детальности изучены минералого-геохимические особенности типов и сортов руд медно-молибденовых месторождений Алмалыкского горно-рудного района, которые представлены (Бадалов С. Т. и др., Гертман П. Л., Азина В. Н и др., Голованов И. М. и др., Головин А. Ф. и др., Деды Ю. В. и др., Туресебеков А. Х. и др., Шаякубов Т. Ш. и др.) главным образом прожилково-вкрапленным и жильным типами с подчиненной ролью вкрапленных образований. Они являются основным источником для получения меди, молибдена, свинца, цинка, благородных и других металлов в металлургическом производстве АГМК [2].

Прожилково-вкрапленное медно-молибденовое оруденение штокверкового типа локализовано в приконтактовой части штока гранодиорит-порфиров в породах сиенитовой и диоритовой группы, захватывая эндоконтакт штока.

На месторождениях Ёшлик и Кальмакыр выделяются следующие основные типы руд:

- магнетитовый;
- валлериитовый;
- полиметаллический;
- медно-молибденовый;
- жильный полиметаллический (с золотом).

Среди них главным (промышленным) является медно-молибденовый тип. Каждый выделенный тип руд парагенетически связан с различными типами гидротермально-метасоматических формаций (Рехарский М. В., 1970).

Кроме того, выделяются руды вторичного сульфидного обогащения и окисленные руды, имеющие в настоящее время подчиненное значение.

Магнетитовый тип оруденения сопряжен с магнезиальными скарнами, подверженными амфибол-биотитовому, реже тальк-карбонатному метасоматозу.

Магнезиальные скарны с магнетитовым оруденением образовались при становлении интрузии сиенито-диоритов, на контакте с известково-магнезиальными породами карбонатной толщи (D_2–C_1), сохранившейся в пределах карьера в виде разобщенных останцев. Наиболее часто эти образования встречаются в западном, юго-западном и юго-восточном бортах карьера. Форма и размер тел магнезиальных скарнов в юго-восточном борту карьера разнообразны

и повторяют очертания останцев известково-магнезиальных пород. Из рудных минералов присутствует магнетит. Он встречается в виде обособленных гнездообразных выделений неправильной формы. Размеры их обычно не превышают 1–5 см, но иногда встречаются гнезда до 10 см. По магнетиту развивается гематит. В ассоциации с магнетитом отмечаются пирит, халькопирит и титаномагнетит в виде рассеянной вкрапленности. Кроме того, в метакристаллах магнетита встречаются эмульсионные выделения пирита и халькопирита (структура распада твердого раствора), реже встречаются микровключения золота. Содержание магнетита в скарнах колеблется от 2 до 15 % [1].

Амфибол-биотитовые метасоматиты с магнетитовым оруденением широко распространены в пределах карьера, особенно в его юго-западной и западной частях. Они развиваются по диоритам, сиенито-диоритам и магнезиальным скарнам. В зонах развития амфибол-биотитовых метасоматитов наблюдается рассеянная вкрапленность магнетита, иногда с халькопиритом, которая обычно приурочена к участкам изменения темноцветных минералов.

Нередко магнетит и халькопирит присутствуют в амфибол-кварцевых, биотит-кварцевых жилах и прожилках, образуя штокверковые зоны прожилково-вкрапленных магнетитовых руд. В местах их наличия в присутствии амфиболовых метасоматитов в магнезиальных скарнах образуются протяженные ореолы с высоким содержанием (10–20 %) магнетита.

Тальк-карбонатная ассоциация с магнетитом имеет сравнительно ограниченное распространение. Достаточно четко выражена пространственная связь их с участками проявления магнезиальных скарнов и диоритов. Из рудных минералов кроме магнетита присутствуют халькопирит и молибденит. Содержание магнетита незначительно (1–5 %). Аналогичный тип оруденения повсеместно встречается и на месторождения Ёшлик, который также тяготеет к участкам измененных карбонатных пород и диоритов, вскрытых разведочными скважинами.

Список литературы:

1. Каримова Ф. Б., Джуманиязов Д. И., Хужжиев М. О. Новые данные по минералого-геохимическим особенностям руд месторождения Кальмакыр (Алмалыкский район), добыче и технологии обогащения полезных ископаемых // Актуальные вопросы геологии, инновационные методы прогнозирования : Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. 28 июня 2022 г. – Ташкент : ГУ «ИМР», 2022. – С. 197–199.
2. Медно-порфировые месторождения Алмалыка / под ред. Туляганова Х. Т. и др. – Ташкент : Фан, 1974.– 186 с.
3. [Электронный ресурс]. – URL : https://podrobno.uz/cat/obchestvo/bolshe-zolota-i-medi-kak-agmk-nameren-razvivat-odno-iz-krupneyshikh-v-mire-mestorozhdeniy-video/ Дата обращения 10.03.2023.

Фатхуллаева З. М., Шарипов Ш. Ф.
НУУз, г. Ташкент

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ТАМДЫТАУ-БЕЛЬТАУСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ

Рассмотрены результаты изучения основных факторов формирования золоторудных месторождений Тамдытау-Бельтауского рудного района Центральных Кызылкумов. Результаты исследований рекомендуется использовать как критерии поисков золоторудных проявлений.

Ключевые слова: структурная позиция, золото, регион, полезные ископаемые, золотое рудообразование, разломы, факторы.

Проблемами закономерностей размещения золотого оруденения Узбекистана и сопредельных территорий, вопросами их геологических, структурно-тектонических, минералого-

геохимических особенностей в свое время занимались Х. М. Абдуллаев, В. В. Андреев, В. А. Азин, И. А. Айзенштат, К. Л. Бабаев, С. Т. Бадалов, Р. П. Бадалова, А. Т. Бендик, Х. Н. Баймухамедов, И. К. Брагин, С. О. Валейшо, Н. Б. Вольфсон, В. Г. Гарьковец, И. М. Годин, И. М. Голованов, Д. М. Грименицкий, П. М. Голощуков, И. Т. Дектярев, Г. В. Касавченко, Н. Н. Королева, С. Я. Клемперт, С. М. Колоскова, А. Ш. Жураев, Л. Н. Лисогор, А. А. Малахов, М. М. Мансуров, М. М. Мартынов, Д. С. Мукимова, Э. А. Мартынов, Т. М. Мацохина, С. Т. Марипова, М. И. Моисеева, О. А. Мусин, И. И. Нестерова, И. В. Петровская, Л. З. Палей, М. М. Пирназаров, П. Ф. Проценко, Л. Ш. Булатова, Х. Р. Рахматуллаев, М. О. Сулейманов, С. К. Смирнова, Т. С. Тимофеева, В. М. Турличкин, М. К. Турапов, И. Х. Хамрабоев, В. А. Хорват, Р. В. Цой, В. Д. Цой, Г. М. Чеботарев, С. Д. Шер, А. Д. Швецов и многие другие исследователи. И. Х. Хамрабаев, Х. Р. Рахматуллаев, М. М. Мансуров и другие, проводя анализ условий размещения золоторудных месторождений Срединного и Южного Тянь-Шаня, пришли к выводу, что они формировались в различных геологических условиях при наличии глубинных и фациальных магматических тел, с которыми связаны месторождения: 1) приповерхностные, 2) гипабиссальные. Месторождения золота Западного Узбекистана, в том числе Центральных Кызылкумов, относятся ко второй группе. По мнению этих же исследователей, рудно-магматические комплексы Западного Узбекистана размещаются внутри или на периферии древнего докембрийского поднятия и связаны с песчано-сланцевым сиалическим составом среды, обогащенной органикой. Территория Центральных Кызылкумов характеризуется линейно-узловым распределением золотого оруденения. Обычно к узлам приурочиваются рудные поля и месторождения. В линейных структурах золотое оруденение проявляется в участках с наличием магматических образований. Такие участки отмечаются в местах изгибов складок и глубинных разломов, в местах пересечения их другими нарушениями. Как известно, такие участки являются наиболее проницаемыми для постмагматических рудоносных растворов.

Изучение рудоносности, закономерностей размещения золотого оруденения в Южном Тянь-Шане, в том числе и в Центральных Кызылкумах, позволили исследователям (Х. Р. Рахматуллаев, И. Х. Хамрабаев, Ю. В. Тимофеева и др.) [1] выделить основные факторы контроля оруденения: геотектонический, литологический, структурный и магматический.

Геотектонический фактор. По Х. Р. Рахматуллаеву (1970), Южно-Тяньшаньский металлогенический пояс разбит поперечными глубинными разломами на три сектора: Султанувайский, Центрально-Кызылкумский и Ферганский. Каждый сектор отличается друг от друга по геологическому строению, тектонике, магматизму, металлогеническому облику и эрозионному срезу.

По представлению И. Х. Хамрабаева, В. Г. Горьковца и др., геология, тектоника, магматизм и рудоносность региона обусловлены проявлением сопряжения Урала и Тянь-Шаня путем перегиба единой Урало-Тянь-Шаньской складчатой системы. Обоснованием для этого явилось наличие двух систем складок, а также то, что к участкам осложнения их глубинными разломами приурочены эталонные месторождения золота [1].

В участках пересечений продольных и поперечных (антитяньшаньских) разрывных структур также обнаруживаются месторождения золота. О. М. Борисов, М. М. Мансуров указывают на благоприятность шовной зоне парных разломов на наличия золотого оруденения.

Литологический фактор. Этому фактору всегда придается особое значение. Ю. С. Савчук на основании обобщения и анализа результатов исследований С. Т. Бадалова, Р. П. Бадаловой, А. Т. Бендика, В. Г. Гарьковца, Ю. Т. Зверева, Г. В. Касавченко, П. Ф. Проценко, Х. Р. Рахматуллаева, И. Х. Хамрабаева и др. среди рудных объектов Центральных Кызылкумов выделил ряд золоторудных формаций, различающихся по возрасту и минерально-геохимическим особенностям, а также отличающихся вмещающей средой:

1) золото-кварцевая формация (Мурунтау, Восточное, Песчаное) каледонского цикла. Рудовмещающая формация – метавулканогенно-сланцево-карбонатно-кремнистая (R_3), карбонатно-кремнисто-метатерригенная (V–Є?), кремнисто-карбонатно-терригенная ($Є_3$–O_2);

2) вольфрам-золото-кварцевая каледонского цикла (Мурунтау, Мютенбай, Триада, Бесапантау, Аякудук). Рудовмещающая формация карбонатно-метатерригенная (V–Є), кремнисто-карбонатно-терригенная ($Є_3$–O_2), терригенно-полимиктовая (O_3–S_1);

3) вольфрам(?)-золоторудная (Центр. Мурунтау, отдельные жилы Бесапантау). Рудовмещающая формация – кремнисто-карбонатно-терригенные образования (O_3–S_1).

4) золото-сульфидно-(кварцевая) герцинского цикла (Кокпатас, Тамдыбулак, Балпантау). Рудовмещающая порода – метавулканогенные образования (P_2); кремнисто-вулканогенно-терригенные образования (O_1–S_2); вулканогенно-карбонатно-терригенные породы (D_2–C_2); метавулканогенно-кремнисто-карбонатно-сланцевые образования (V–Є);

5) золотосульфидная герцинского цикла (Даугыз, Асаукак, Амантай, Сарыбатыр, Ташбулак, Кумбогут). Рудовмещающая формация – кремнисто-карбонатно-терригенная ($Є_3$–O_2); терригенно-полимиктовая (O_3–S_1); карбонатно-кремнисто-метатерригенная (V–Є);

6) золото-серебро-кварцевая киммерийского цикла (Высоковольтное, Кызымай и др.). Вмещающая среда – карбонатные породы (D_2–C_2); метавулканогенно-сланцево-кремнистые (R3): кремнисто-метатерригенные образования (V–Є) и терригенно-полимиктовые отложения (O–S).

Магматический фактор вслед за геотектоническим и литологическим является ведущим при формировании и при пространственном размещении эндогенных рудных месторождений региона. Следует отметить, что рудовмещающая роль конкретных интрузивных тел в образовании золоторудных месторождений региона далеко не всегда отчетливо доказуема.

По данным И. Х. Хамрабаева, золоторудная минерализация рассматриваемой территории связана с внедрением интрузий I и II (диориты и гранодиориты), в некоторых случаях III фазы (граниты).

Анализируя основные металлогенические особенности интрузивных образований Центральных Кызылкумов, по З. А. Юдалевичу, следует отметить: с офиолитовыми комплексами (учкудукский гипербазит-габбровый, тескудукский плагиогранит-габбро-перидотитовый, тамдынский дайковый, букантауский гипербазит-габбровый) связана убогая хромитовая и асбестовая минерализация, сульфиды никеля, акцессорные платиноиды и золото; бокалинский гранитоидный комплекс специализирован на золотои медь; казахтауский адамеллитовый комплекс геохимически специализирован на золото, висмут и серебро; кокпатаский монцодиорит-гранодиоритовый комплекс, его дайковые образования специализированы на золото. С сарытауским трондъемит-адамеллитовым комплексом связано молибден-вольфрамовое оруденение (Сарытау); металлогеническая специализация Алтынтауского гранит-адамеллитового комплекса определяется скарново- и кварцево-шеелитовой минерализацией, присутствием берилла в пегматитах; саутбайский габбро-сиенит-граносиенитовый комплекс специализирован на хром, никель, циркон, уран, торий, молибден, олово, сурьму; центрально-кульжуктауский дайковый комплекс специализирован на золото, серебро, сурьму и ртуть.

Структурный фактор. Все исследователи отмечают особую роль структур региона в формировании и размещении золотого оруденения. В этом процессе велико значение как складчатых дислокаций, так и разрывных нарушений. Разрывные нарушения различного направления и их сочетания – сопряжение, пересечение – контролируют формирование рудных полей и месторождений региона. Следует отметить, что вопросы изучения структур золоторудных месторождений Центральных Кызылкумов и их систематики занимают незначительное место в публикациях.

Список литературы:

1. Хамрабаев И. Х., Рахматуллаев Х. Р. и др. К золотоносности южной части Тамдытау (Центральные-Кызылкумы) // Узбекский геологический журнал. – 1965. – № 1. – С. 15–19.

Федоров Д. Т.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

О ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ НА МИРОВОМ РЫНКЕ НИКЕЛЯ

Рассмотрено текущее состояние и ближайшие перспективы мирового рынка никеля, объем затрат на его поиски и разведку. Дается прогноз динамики рынка в условиях ожидаемого роста добычи и потребления никеля.

Ключевые слова: никель, нержавеющая сталь, запасы, производство, потребление, цены, баланс рынка.

Никель является одним из важнейших технических металлов с объемом рынка свыше 3 млн т. Широко известна его роль в производстве нержавеющих и специальных сталей, однако в последние годы никель играет все большую роль, как металл новой «зеленой» экономики. Помимо ключевой роли в производстве аккумуляторов для автопрома, никель стал важнейшим

элементом при изготовлении ветряных турбин, солнечных батарей, биоэнергетических установок и другого оборудования для возобновляемых источников энергии. Он также широко применяется в сферах логистики и транспортировки, при производстве оборудования по очистке воды, в кораблестроении и пищевой промышленности. Основная область применения никеля – производство нержавеющих сталей (более 70 %). В аккумуляторной промышленности никель используется в качестве одного из основных компонентов при производстве прекурсоров катодного материала для батарейных ячеек.

Мировое потребление никеля в 2020 г. сократилось на 0,4 % до 2,39 млн т вследствие незначительного снижения потребления высокосортного никеля на фоне пандемии COVID-19. В 2021 г. мировое потребление выросло на 19 % до 2,86 млн т, что было связано с активным восстановлением темпов роста мировой экономики, в 2022 г. по предварительным оценкам, его рост составил 8 % до 3,08 млн т. В 2023–2026 гг. среднегодовой рост потребления, по оценкам аналитиков, составит около 5 %. Спрос на никель будет поддержан экологическими требованиями и связанными с ними «зелеными» проектами в автомобилестроении. По оценкам Института никеля, годовой спрос на никель в низкоуглеродной энергетике вырастет к 2050 г. с текущих 50 тыс. т в год до почти 1 млн т в год за счет развития солнечных и ветряных электростанций.

Производимый первичный никель можно разделить на две основные группы. Это высокосортный никель (катоды, брикеты, карбонильный никель, химические соединения никеля), производимый как из сульфидного, так и из латеритного сырья. Главные его производители – «Норникель», Jinchuan, Glencore, Vale, BHP и Sumitomo Metal Mining. А также низкосортный никель (ферроникель, черновой ферроникель (ЧФН) и оксид никеля), производимый только из латеритного сырья. Основными производителями являются предприятия, выпускающие ЧФН в КНР и Индонезии, а также производители ферроникеля – Eramet, POSCO, Anglo American, Solway, South 32 и др.

Мировое производство никеля в 2020 г. выросло на 5 % до 2,49 млн т, несмотря на влияние пандемии COVID-19. В 2021 г. его рост составил 8 % до 2,7 млн т, а в 2022 г. – 18 % до 3,18 млн т, что связано с увеличением производства ЧФН в результате ввода новых мощностей в Индонезии и КНР, а также с растущими потребностями в металле в условиях активного восстановления темпов роста мировой экономики. В 2023–2026 гг. среднегодовой рост выпуска никеля, по оценкам аналитиков, составит около 5 %.

В 2020 г. рынок никеля находился в состоянии профицита, который составил около 100 тыс. т, или 3 % годового потребления. В 2021 г. он перешел в состояние дефицита (-160 тыс. т). Биржевые запасы никеля в 2021 г. снизились до 104 тыс. т, а к концу 2022 г. стоки Лондонской биржи составляли всего 55 тыс. т или около шести дней мирового потребления, т. е. текущие запасы никеля находятся на многолетних минимумах. При этом на рынке выросли опасения перебоев поставок из России, которая обеспечивает в мире около 10 % добычи никелевого сырья. По предварительным оценкам, профицит рынка в 2022 г. составит около 100 тыс. т, а в 2023 г. – 110 тыс. т. Предполагается, что в 2024–2026 гг. рынок будет находиться в сбалансированном состоянии с преобладанием небольшого профицита. Рост спроса будет компенсироваться увеличением выпуска ЧФН, сбором и переработкой ломов в условиях высоких цен, а также ростом добычи в результате дополнительного вовлечения в переработку относительно более бедных руд (забалансовых при низких ценах).

В начале 2021 г. цена никеля находилась на уровне 16,5 тыс. долл. США за тонну, а уже в конце апреля, после того как в Китае завершился период жестких карантинных мер и началось восстановление экономической активности, динамика цены на никель сменилась на положительную. Никель дорожал на фоне дефицита и снижения складских запасов этого металла на крупнейших биржах. Во втором полугодии ценовое ралли усилилось благодаря введенным мерам государственной поддержки, дальнейшему возобновлению производственных процессов в Китае, росту оптимизма инвесторов вследствие положительных результатов испытания вакцины от коронавируса и ожидания ускоренной электрификации автотранспорта. Средняя цена никеля в 2021 г. составила 18,4 тыс. долл. США за тонну. Большинство позитивных факторов сохранялось и в начале 2022 г., что позволило цене на никель в феврале достичь уровня в 25,2 тыс. долл. США/т. В конце месяца неопределенность с поставками

из РФ вызвала панику на рынке, потребовавшую временного закрытия биржевых торгов (из-за всплеска цены до 100 тыс. долл. США/т), и затем почти двукратный рост официальной цены (48,2 тыс. долл. США/т на 9 марта). Средняя цена никеля в 2022 г. составила максимальное с 2007 г. значение – 26,1 тыс. долл. США/т. Некоторые инвестбанки допускают рост цены свыше 30 000 долл. США за тонну в 2023 г. По мнению экспертов, нынешний значительный рост цен может привести к серьезным проблемам в производстве нержавеющей стали и спецсталей, а также в выпуске компонентов для автомобильных аккумуляторов.

В 2020 г. из-за последствий пандемии было отмечено снижение мировой добычи никеля на 4 % до 2,42 млн т, что затем было компенсировано высоким ростом в 2021 г. (11 % до 2,69 млн т), связанным с увеличением добычи в Азии и Африке. Аналитики S&P Global оценивали рост мировой добычи в 2022 г. в 24 % до 3,35 млн т, а в 2023–2026 гг. среднегодовой рост темпов производства составит около 6–7 %. Ведущим мировым производителем никеля является «Норникель» (233 тыс. т или около 10 % мировой добычи в 2020 г.). В тройку крупнейших также входят Glencore (188 тыс. т) и Vale (135 тыс. т).

По данным USGS, суммарные запасы никеля категории Proved & Probable Reserves в мире составляют по состоянию на 2022 г. около 95 млн т, а прогнозные ресурсы (Measured & Indicated Resources) – порядка 300 млн т (из них 60 % в латеритных и 40 % в сульфидных рудах). При текущем уровне добычи промышленность обеспечена запасами никеля на 28 лет, а с учетом ресурсов – более чем на 100 лет. Крупнейшими запасами никеля (преимущественно латеритных) обладают Австралия и Индонезия (по расчетам USGS, по 21 млн т в пересчете на никель). За ними следуют Бразилия (16 млн т), Россия (около 8 млн т) и Филиппины (около 5 млн т).

По расчетам S&P Global Market Intelligence, после некоторого снижения в 2020 г. вследствие пандемии, в 2021 г. затраты на разведку месторождений никеля в мире выросли и составили 423 млн долл. США. Исторически за последние 15 лет максимальные затраты пришлись на 2008 г., а минимальные – на 2016 г. Существует высокая корреляция между ценами на металл и средствами, которые компании готовы выделять на поисково-разведочные работы. Максимальные затраты на поиски и разведку месторождений никеля в 2021 г. приходились на Австралию (145 млн долл. США), Канаду (109 млн долл.), РФ (51 млн долл.), Китай (30 млн долл.) и Бразилию (28 млн долл.). Растущий спрос будет стимулировать увеличение добычи никеля горнодобывающими компаниями и рост инвестиций в поисковые и разведочные работы для поддержания и развития минерально-сырьевой базы.

Список литературы:

1. Годовой отчет ПАО «ГМК «Норильский никель» за 2021 год. – URL: https://ar2021.nornickel.ru/ (дата обращения: 27.01.2023).
2. Никель допрыгался до остановки торгов. Рост цены грозит снизить потребление металла // Коммерсантъ. – 2022. – № 40. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/5250470 (дата обращения: 27.01.2023).
3. Прокладывая курс к безуглеродному будущему – Норникель, ноябрь 2021. – URL: https://www.nornickel.ru/upload/iblock/a2f/strategy_day_presentation_2021.pdf (дата обращения: 27.01.2023).
4. Green energy revolution – Boost for industrial metals demand. S&P Global Market Intelligence. 22.09.2021. – URL:
5. https://www.capitaliq.spglobal.com/web/client?auth=inherit#news/article?id=66680749&KeyProductLinkType=58&utm_source=MIAlerts&utm_medium=realtime-minewsresearch-researcharticle-metals%20and%20mining-metals%20and%20mining%20research&utm_campaign=Alert_Email (дата обращения: 10.03.2022). LME Nickel Official Prices. – URL: https://www.lme.com/en/Metals/Non-ferrous/LME-Nickel#Averages (дата обращения: 27.01.2023).
6. Mineral Commodity Summaries 2022 by U.S. Geological Survey. – URL: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf (дата обращения: 27.01.2023).
7. Quintessentially Nickel. Nornickel' Market research team. 30.11.2022. – URL:https://www.nornickel.ru/upload/iblock/6db/sz4a9yalgh3p07mhzusrzz1zgrv68sbo/2022_11_30_Quintessentially_

Ni.pdf (дата обращения: 27.01.2023). https://www.lme.com/en/Metals/Non-ferrous/LME-Nickel#Averages (дата обращения: 27.01.2023).
8. S&P Global Market Intelligence. SNL Commodity Profile – Nickel. – URL: https://www.capitaliq.spglobal.com/web/client?auth=inherit#industry/commodityProfile (дата обращения: 10.03.2022).

Филатова Л. К., Филатов Е. И.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ РУДОВМЕЩАЮЩИХ КРЕМНЕКИСЛЫХ ВУЛКАНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ДЕВОНСКИХ ВУЛКАНИТОВ РУДНОГО АЛТАЯ)

Сделана попытка систематизировать вулканические и вулканокластические образования кремнекислого состава наземных современных вулканических сооружений и палеотипных вулканов, сформированных в подводных условиях. Предложено обоснование принадлежности одного из типов риолитов к игнимбритам. Установлено отсутствие в составе рудоносной контрастной базальт-риолитовой формации вулканитов промежуточного (андезитового) состава между базальтами и риолитами.

Ключевые слова: кремнекислые вулканиты, вулканокластические породы, игнимбриты, рудоносная формация, газонасыщенные вулканиты.

Вулканиты – один из наиболее сложных объектов изучения в геологии, особенно это касается кремнекислых палеотипных вулканических комплексов, сформированных в подводных условиях [2, 3]. Современные классификации кремнекислых вулканитов базируются главным образом на изучении кайнотипных, в большинстве своем наземных вулканических образований, значительно уступающих древним в количественном отношении [4, 11].

До настоящего времени не существует общепринятой классификации вулканокластических пород. Так, много разночтений возникает при определении вулканогенных образований, таких как игнимбриты, туфолавы, кластолавы, игниспумиты, гиалокластиты и т. д. Иногда эти термины рассматриваются как синонимы, и породам, обозначенным ими, приписывается одними авторами лавовое происхождение, а другими – пирокластическое [11].

Совокупность продуктов кремнекислого подводного вулканизма рассмотрена на примере эталонной для металлогенических зон рудноалтайского типа девонской базальт-риолитовой формации Рудного Алтая [7, 8]. Колчеданно-полиметаллические месторождения здесь приурочены к ареалам развития этой формации и не выходят за ее пределы как по латерали, так и по вертикали [6, 8]. Петрографическая, петрохимическая и геохимическая характеристики рудовмещающих кремнекислых вулканитов формации достаточно убедительно указывают на правомерность выделения среди них двух разновидностей по степени газонасыщенности исходных расплавов [6, 7, 9]: это производные высокотемпературной «сухой» вязкой магмы, обедненной летучими компонентами, и производные флюидизированной подвижной магмы остаточных расплавов-рассолов. Последние рассматриваются нами как игнимбриты [8, 10].

Продукты игнимбритового магматизма носят черты подводных излияний (что исключает сваривание кислого пирокластического материала), играют значительную роль в составе кремнекислых толщ, являясь неотъемлемой составляющей рудоносных колчеданоносных формаций [1]. Непосредственная рудогенерирующая роль среди вулканитов рудовмещающей формации несомненно принадлежит игнимбритам [9].

В разрезе девонской рудоносной контрастной формации отсутствуют вулканические породы промежуточного состава между кислыми и основными членами. Однако, интенсивная хлоритизация кислых стекол в игнибритах и присутствие в них фенокристаллов темноцветных минералов (таких как оливин и пироксен) зачастую служат основанием для ошибочного отнесения данных кремнекислых вулканитов к породам повышенной основности (главным образом – андезитам) [10].

Список литературы:
1. Авдонин В. В, Дороговин Б. А., Округин В. М. Признаки ликвации в среднедевонских вулканогенных породах (Лениногорский район, Рудный Алтай) // Вестик МГУ. – 1975. – № 6. – С. 70–74.
2. Березнер О. С, Скрипко К. А. Эти загадочные игнимбриты: текстурно-структурные особенности и происхождение // Жизнь Земли. – 2017. – 39 (4). – С. 403–410.
3. Караулов В. Б., Филатова Л. К., Никитина М. И. Девонские геологические формации Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // Известия вузов. Геология и разведка. – 1997. – № 2. – С. 27–31.
4. Маракушев А. А., Яковлева Е. Б. Генезис кислых лав // Вестник МГУ. Геология. – 1975. – № 1. – С. 3–23.
5. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. 2-е. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
6. Стейнер А. Происхождение игнимбритов острова Северный, Новая Зеландия. Петрографическая концепция / Сб. Проблемы палеовулканизма. – М. : Изд-во ИЛ, 1963. – С. 490–532.
7. Филатов Е. И., Филатова Л. К. Геологические и геохимические критерии рудоносности геологических формаций // Вестник РУДН. Сер. Инженерные исследования. – 2016. – № 1. – С. 118–123.
8. Филатов Е. И., Филатова Л. К. Основы металлогении и формационный анализ рудоносных комплексов. Учебное пособие. – М. : РУДН, 2016. – 144 с.
9. Филатова Л. К., Филатов Е. И. Кремнекислые вулканиты девонской базальт-риолитовой формации Рудного Алтая // Вестник РУДН. – 2015. – № 1. – С. 37–43.
10. Филатова Л. К., Филатов Е. И. Кремнекислые вулканиты колчеданоносных вулканогенных формаций фанерозоя // Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2019. – С. 205–206.
11. Уткин Ю. В. Вулканогенные обломочные породы (систематика, строение, генетические типы. Учебное пособие. – Томск : ТГУ, 2017. – 142 с.

Филина Т. В.[1], Станишевская Ю. Л.[1], Перхурова В. А.[1], Саид Илмен[2]
[1] ОАО «СЗГГК «ГЕОКОМПЛЕКС», г. Санкт-Петербург;
[2] Университет Ибн Зора, г. Уарзазат, Марокко

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ РУДНОГО РАЙОНА BOU AZZER, 2021 гг.

Добыча цветных металлов была и остается одним из важнейших направлений для развивающихся стран. В горном районе Бу-Аззер-Эль-Граара находятся около сотни проявлений и месторождений Co и Cu, включая кобальтовые и медные рудники Бу-Аззер и Блейда. В период с 01.10.2021 по 29.12.2021 г. ООО «СЗГГК «Геокомплекс» совместно с геологической компанией ООО «ОЗГЕО» проводила комплексные геофизические работы на флангах месторождения Бу-Аззер (Марокко), которое расположено в центральной части хребта Антиатлас, близ границы с Алжиром. Это среднее по масштабу месторождение, относящееся к арсенопирит-глаукодот-кобальтиновой формации плутоногенного гидротермального промышленного типа.

Для успешного поиска объектов, представляющих промышленный интерес, необходимо повышать эффективность геофизических работ, которая зависит главным образом от правильно подобранного комплекса геофизических методов.

В статье описываются комплекс геофизических методов, применяемый для решения поставленных задач, примеры интерпретации полученных данных, а также приводятся результаты выполненных работ.

Ключевые слова: цветные металлы, комплексирование, поиски геофизическими методами, Бу-Аззер, Марокко, кобальт, медь, электроразведка, магниторазведка, гамма-спектрометрия.

Краткое описание геологии района работ

Район работ находится в пределах Центрального Антиатласского домена на северной границе Западноафриканского кратона и включает в себя поднятие Бу-Аззер-Эль-Граара. В региональном масштабе Анти-Атлас представляет собой орогенную фронтальную область, сформировавшуюся в период герцинской орогении. Его фундамент включает в себя большое разнообразие горных пород, свидетельствующих о многофазной и сложной геологической истории (Project GL190096 MANAGEM GROUP, 2021).

Месторождения кобальта в районе работ приурочены к верхнепротерозойскому офиолитовому массиву Бу-Аззер, обдуцированному на континентальную окраину. Нижняя часть офиолитового разреза представлена серпентинизированными дунитами и гарцбургитами. Месторождения Co-Ni-Fe-арсенидов (±Au ± Ag) структурно контролируются и состоят из сложной системы транснапряженных субвертикальных разломов-выступов, пламеневидных рудных тел, плоских линзовидных и кармановидных тел, жил, прожилок, цементированных брекчий внутри жил и заполнений оперяющих разломов растяжения. Сами рудные тела приурочены в основном к серпентинитам и их контактам с кварцевыми диоритами (гранитами), габбро и вулканитами. Кварцево-диоритовый плутон интрудирует офиолитовый комплекс [2].

В пределах рудного пояса Бу-Аззер-Эль-Граара присутствует также медная минерализация вулканогенно-осадочной серии с общим структурным и литологическим контролем. Структурные исследования в районе медных месторождений показали пространственную и генетическую связь минерализованных тел и их минералогической зональности с разломами карбонат-кварцевого заполнения. Причем по возрасту и степени формации эти рудоконтролирующие разломы похожи на разломы в районе месторождения Бу-Аззер [3].

Выбор комплекса геофизических работ

В соответствии с запланированными задачами был подобран следующий оптимальный, на наш взгляд, комплекс геофизических методов: 1) электроразведочные работы методом вызванной поляризации установкой срединного градиента (СГ-ВП) для решения структурных задач, выделения и локализации аномальных зон проводимости и поляризуемости; 2) наземная магниторазведка для решения структурно-картировочных задач и уточнения границ потенциально рудоносных массивов и особенностей их внутреннего строения; 3) гамма-спектрометрия для прослеживания зон гидротермально-метасоматически измененных пород, связанных с повышением содержаний урана (U), которые могут быть маркером сопутствующей рудной минерализации кобальта; 4) электротомография ВП для определения основных геометрических параметров и положения в пространстве аномалообразующих объектов, выбранных как перспективные.

Электроразведка ВП-СГ

Использование установки срединного градиента значительно увеличивает скорость измерений и глубину исследования. В результате проведённых работ были выделены три аномальные поляризующиеся зоны. В качестве интересных с точки зрения обнаружения объектов рудной минерализации были выбраны две аномалии – №1 и №3. Первая, наиболее протяженная аномальная зона с поляризуемостью (η_k) порядка 10–15 % проходит по всему южному краю участка и соответствует проводящей зоне по параметру $\rho_к$ (удельное электрическое сопротивление), значение которого ниже 320 Ом·м. В геологическом плане она достаточно четко коррелирует с выходами на поверхность ультраосновных пород офиолитового комплекса. Третья аномальная зона по поляризуемости расположена в северо-восточной части участка. Значения η_k находятся в пределах 2,5–5 %, аномалия приходится на непроводящую зону со значениями $\rho_к$ выше 3000 Ом·м.

С помощью расчёта 1-й вертикальной производной *(Derivative in Z direction)* по параметру $\rho_к$ были выделены структурные границы, которые совпали с границами контуров различных пород, вынесенных с геологической карты. Применение этого фильтра также позволило по поляризуемости выделить локальные аномалии, скрытые на фоне интенсивных. В дальнейшем полученная информация о структурах и аномальных зонах использовалась для построения итоговой структурно-интерпретационной схемы.

Магниторазведка

Значения параметра ΔTa на участке находятся в пределах от –8286 до 12171 нТл. В общем, массив серпентинитов по данным магниторазведки выделяется неоднородным интенсивным магнитным полем. Высокоинтенсивная положительная аномалия порядка 3600 нТл, расположенная на геологической карте на юго-востоке участка, соответствует кумулатам ультраосновных и основных пород, частично перекрытых толщей серпентинизированных перидотитов. Магниторазведка позволила решить следующие структурно-картировочные задачи: выделить на поисковом участке породы с различными магнитными свойствами, разрывные нарушения и магнетитовые жилы внутри серпентинитового комплекса.

Гамма-спектрометрия

Радиогеохимические характеристики продуктов распада гидротермально-метасоматической деятельности флюидогенных систем позволяют применять полевые гамма-методы измерения радиоактивности при поисках рудных месторождений полезных ископаемых. При формировании метасоматической зональности особенности концентрирования индикаторных отношений определяются физико-химическими параметрами гидротермальной системы и химическим составом флюидов. [1].

В районе работ была установлена закономерность – кобальтовые руды месторождения Bou-Azzer связаны с дискретной зоной повышенных значений U/K и повышенных значений отношения U/Th. В свою очередь, для участка El Bleida (медные руды) более характерны проявления аномалий Th/K и умеренные значения U/K, U/Th (Geotech Interpretation Report, 2021). Непосредственно для выявления зон гидротермально-метасоматического изменения пород используются специальные показатели. Особое внимание уделяется нормализованным индикаторным отношениям (kU/kTh, kU/kK, kTh/kK) и компонентам факторного анализа (PCA1, PCA2). Первая компонента (PCA1) отвечает в основном за повышение значений параметров U, U/K и в меньшей степени U/Th при почти неизменных Th, K и, соответственно, Th/K. Вторая компонента (PCA2) – за повышение значений параметров Th/K и Th при почти неизменном калии. Уран в данной компоненте проявляется как нейтральный элемент.

На юго-востоке участка, вблизи контакта серпентинитов с породами основного состава по PC1 была выделена зона 1 северо-восточного простирания. Она видна также на карте PCA2, но менее широко и имеет более дискретный характер. Поэтому выдвинули предположение, что выявленная зона связана, в первую очередь, с повышенными содержаниями урана. С южной стороны зоны 1 есть геохимические точки повышенных содержаний кобальта. Однако при отборе геохимических проб в траншеях 1–3 вблизи кварц-карбонатной жилки были обнаружены повышенные содержания меди, а повышенных содержаний кобальта не выявлено. Для увязки данных наземной спектрометрии с геологией проводились измерения вдоль стенки траншеи № 2. На основании полученных данных выявлена корреляция зон повышенных значений Th/K с увеличением содержания меди, что подтверждает косвенную связь отношения Th/K с медной минерализацией в данном регионе. Исходя из этого, аномалия ВП-СГ № 3 была отнесена к медной, что позднее подтверждено геологом. Несмотря на то, что в районе зоны 1 траншеи не обнаружено повышенных значений кобальта, все же ввиду выявленных в этом месте посредством гамма-спектрометрии и геохимии косвенных признаков кобальтовой минерализации было решено выполнить здесь электротомографию.

Электротомография и результаты финальной интерпретации

На глубине, вдоль контакта серпентинитов, с применением электротомографии был выделен поляризующийся объект (рис. 1).

На рисунке 2 показан характер индикаторных отношений над этим объектом и то, как он проявляется в магнитном поле. На графике АМП (см. рис. 2, а) резкими скачками на ПК1000 выделяется контакт массива серпентинитов, на ПК1600 – тектоническое нарушение. Поляризующийся объект (ПК1300–1600) контактирует с предполагаемым тектоническим нарушением. В этой области наблюдаются наиболее характерные зоны повышенных аномальных значений U/K (см. рис. 2, б). Дискретные аномальные пики U/Th над объектом тяготеют к краям аномалий U/K. На повышенные аномальные значения U/K и сопутствующие им дискретные пики U/Th в районе ПК1100–1300 влияет близость контакта с серпентинитами, поэтому характер

этих аномалий немного отличается от аномалий непосредственно над объектом. Для более детального изучения выделенной области, перспективной на кобальтовую минерализацию, были использованы трансформации магнитного поля – Тилт, Гаусс и горизонтальная производная (см. рис. 2, г, д). Градиентные операции подчеркивают приповерхностные объекты и погрешности в преобразованиях поля. А операция Tilt (наклон вектора производной) помогает провести линеаментный анализ изучаемой территории [4]. Эти трансформации позволили определить направление локальных структур и неоднородности поля. Направление структур – преимущественно северо-западное. Северо-западная аномалия, выделенная по ТЭЗ-ВП, находится в интенсивном магнитном поле и приурочена к области повышенного отрицательного АМП.

По итогам работ построена 3D модель среды, на которой прослеживается контакт серпентинитового массива на глубину и выделен поляризующийся объект, по косвенным признакам перспективный на кобальтовую минерализацию. В результате проведенного комплексного анализа создана структурно-интерпретационная схема участка. Метод гамма-спектрометрии опробован в качестве дополнительного к стандартному комплексу методов для поиска цветных металлов.

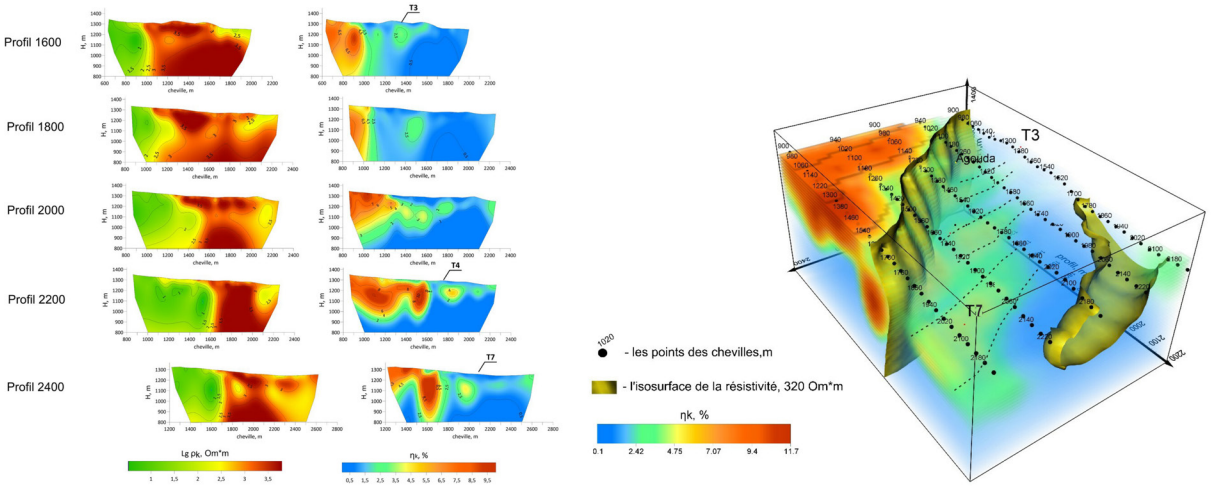


Рис. 1. Результат электротомографии: слева – 2D-модель, справа – 3D-модель

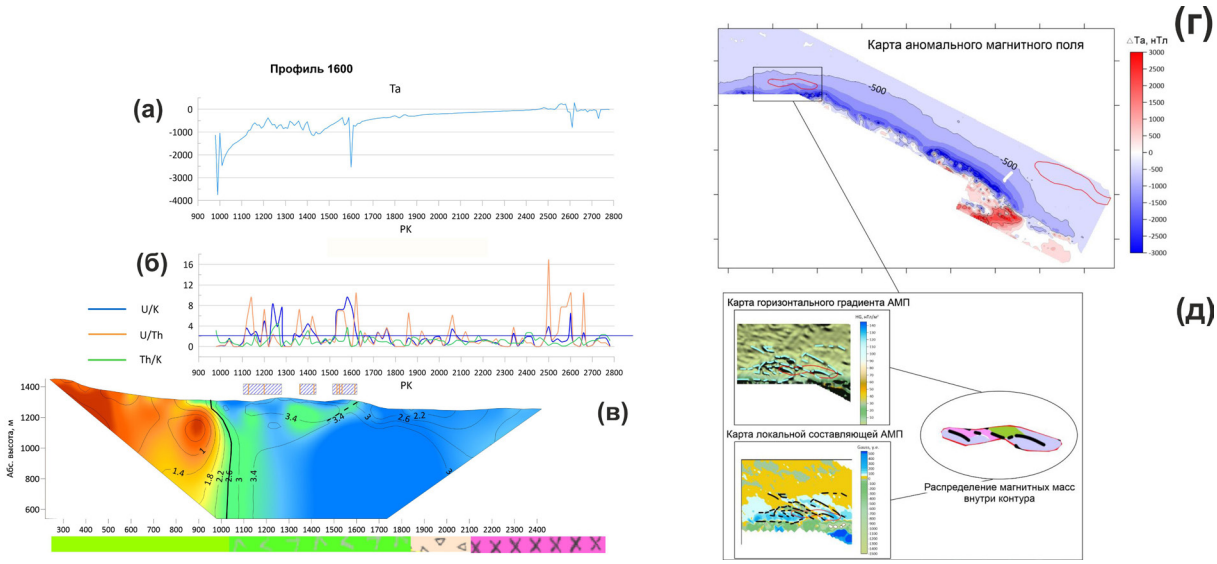


Рис. 2. Характер индикаторных отношений над поляризующимся объектом и его проявления в магнитном поле: а – график аномального магнитного поля; б – график отношений U/K, U/Th, Th/K; в – разрез кажущейся поляризуемости с наложенными изолиниями по удельному кажущемуся сопротивлению (ρ_k); г – карта аномального магнитного поля; д – анализ найденного объекта в магнитном поле по дополнительным параметрам

Список литературы:
1. Соболев И. С. Использование элементов многомерной статистики для обработки данных наземной гамма-спектрометрии при поисках гидротермальных месторождений золота // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 7. – С. 104–115.
2. El Hadi H., Simancas J. F., Martinez-Poyatos D., Azor A., Tahiri A., Montero P., Fanning C. M., Bea F., González-Lodeiro F. Structural and geochronological constraints on the evolution of the Bou Azzer Neoproterozoic ophiolite (Anti-Atlas, Morocco) // Precambrian Research. – 2010. – 182. – 1–14 p.
3. Maacha L. Minéralisations sulfurées de Cuivre de la série de plateforme de Bleïda boutonnière de Bou Azzer-El Grâara (Anti-Atlas occidental) / Elghorfi M., Zouhair M., Sadiqui O. et al // Actes du 8ème colloque international du magmatisme, metamorphisme et mineralisations associees. – 2013. URL : (PDF) Minéralisations sulfurées de Cuivre de la série de plateforme de Bleïda. Boutonnière de Bou Azzer-El Grâara (Anti-Atlas occidental) (researchgate.net)
4. Verduzco B., Fairhead J. D., Green C. M., Mackenzie C. New insights into magnetic derivatives for structural mapping // The Leading Edge. – 2004. –V. 23. – P. 116–119

Фозилзода М. М.
ГУГ при Правительстве Республики Таджикистан, г. Душанбе

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕРЕБРО-СВИНЦОВО-ВИСМУТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В АДРАСМАН-КАНИМАНСУРСКОМ РУДНОМ ПОЛЕ (СРЕДИННЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

К факторам, определяющим закономерности размещения серебро-свинцово-висмутового оруденения в Адрасман-Канимансурском рудном поле, относятся главным образом геолого-тектонические, структурные, магматические и литолого-стратиграфические. Анализ этих факторов позволил разработать критерии поисков и прогнозирования скрытого оруденения в пределах Адрасман-Канимансурского рудного поля: оценить характер распределения оруденения на глубину и перспективы оруденения во фланговых зонах изученных месторождений, а также определить масштабы скрытого оруденения в перспективных рудных зонах.

Ключевые слова: Срединный Тянь-Шань, Центральный Карамазар, Адрасман-Канимансурское рудное поле, Большой Канимансур, Адрасманская мульда (кальдера), серебро-свинцово-висмутовое оруденение, факторы контроля оруденения.

Адрасман-Канимансурское рудное поле, в пределах которого находится гигантское многометалльное месторождение Большой Канимансур, входит в состав Срединно-Тяньшаньской металлогенической провинции, представляющей собой область распространения цветных (Pb, Zn, Cu, Bi, W, Mo), благородных (Ag, Au) и радиоактивных элементов, а также плавикового шпата [1, 2, 6 и др.]. Месторождения данного рудного поля (Большой Канимансур, Чукурджилга, Замбарак, Тарыэкан, Адрасман, Каптархана и др.) расположены на территории Адрасманской мульды (или кальдеры), которая находится в пределах Янгиабад-Гушсайской сквозной рудоконтролирующей зоны [3]. Общая мощность комплекса выполнения мульды составляет 2,0–2,5 км. Интервал времени развития магматизма в Адрасманском магматическом узле представляет собой длительный многоэтапный процесс и охватывает диапазон времени от среднего карбона до перми и, вероятно, нижнего триаса включительно. В Адрасманской кальдере вулканогенные толщи залегают периклинально с общим погружением на северо-запад, север и северо-восток. По данным Г. А. Тананаевой и Н. Т. Кочневой [5], Адрасманская мульда выступает в современном рельефе как концентрически полигональная структура, расположенная на пересечении разноориентированных крупных линеаментов. Этой структуре соответствует телескопированная кальдерная постройка, которая сформировалась в позднем палеозое. Внутренняя морфоструктура Адрасманской мульды выступает в форме системы вложенных кольцевых структур с от-

носительно приподнятым периферическим поясом, который отличается меньшей расчлененностью в рельефе. Другими словами, внутри основной кальдеры выделены дополнительные кальдерные просадки меньшего диаметра. Наиболее поздняя толща вулканитов образует «вложенную» полукальдеру, ограниченную на юге разломом северо-восточного простирания. Таким образом, в пределах Адрасманской кальдеры в современном рельефе выделяются центральная впадина, состоящая из трех перекрывающих друг друга кольцевых структур, и периферические кольцевые поднятия [5]. Многочисленные линейные нарушения осложняют концентрическое строение кальдеры, смещая ее отдельные части относительно друг друга.

К факторам, определяющим закономерности размещения серебро-свинцово-висмутового оруденения в Центральном Карамазаре в целом и в Адрасман-Канимансурском рудном поле в частности, относятся главным образом геолого-тектонические, структурные, магматические и литолого-стратиграфические факторы, которые обычно можно использовать как поисковые критерии.

Геотектонический фактор является одним из определяющих в размещении эндогенных месторождений меди, висмута, серебра, свинца и цинка в пределах рассматриваемого региона. Месторождения, содержащие одно или несколько полезных компонентов, обычно образуются в участках континентальной земной коры, которые прошли полный цикл геосинклинального развития, или в срединных массивах, претерпевших тектоно-магматическую активизацию с многофазным, хорошо дифференцированным магматизмом. И. Н. Томсон с соавторами [7] считают, что типоморфными структурами орогенного этапа Кураминской подзоны являются наложенные на различные складчатые структуры сводовые поднятия, которые играют важную роль в размещении оруденения. Адрасман-Канимансурское рудное поле расположено в пределах Кураминского свода, который характеризуется наибольшей рудонасыщенностью со сложным складчато-блоковым строением и широким развитием разрывных нарушений. В пределах этого свода распространены важнейшие в промышленном отношении месторождения свинца, цинка, серебра, золота, меди, висмута, вольфрама, молибдена, урана, флюорита и барита, что и определяет его металлогеническую специализацию. При этом наиболее продуктивным для всех типов оруденения в регионе является позднегерцинский тектоно-магматический цикл. При прогнозировании оруденения в Кураминской подзоне, как в прочем и в любой другой, должны учитываться состав и строение земной коры, соотношение гранитного и базальтового слоя и др. Для Кураминской подзоны характерен сиалическо-фемический (кураминский) тип земной коры с умеренной мощностью (в среднем около 49 км), где «базальтовый» слой резко преобладает над «гранитным», а также присутствует промежуточный «диоритовый» слой. В пределах описываемого региона размещение и состав руд в месторождениях определяются составом пород фундамента. Так, медно-висмутовые месторождения и проявления распространены в основном на площадях развития гранитоидных пород среднекарбонового возраста, а серебро-полиметаллические и свинцово-цинковые – карбонатных и вулканогенных пород среднедевонского и нижнекарбонового возрастов.

Структурный фактор можно считать основным в контроле оруденения в исследуемом районе. В пределах Центрального Карамазара все известные рудные поля, месторождения и рудопроявления приурочены к участкам, испытавшим тектоническую напряженность – зонам региональных разломов, участкам пересечения разрывных нарушений различных порядков, оперяющим трещинам, а также вулкано-тектоническим депрессиям и вулкано-купольным поднятиям.

В размещении оруденения разрывные нарушения играют роль рудоподводящих, рудораспределяющих, так и рудолокализующих структур. Для них характерны субширотное, северо-восточное, северо-западное и субмеридиональное простирания. Нарушения северо-восточного направления являются рудоконтролирующими структурами – промышленное оруденение в них отсутствует. Только на их стыках с разломами субширотного простирания отмечается рудная минерализация. Субширотные разрывные нарушения, сочленяющиеся с разломами северо-восточного простирания, вмещают основную массу месторождений в Центральном Карамазаре. В качестве коллекторов рудных и жильных образований в пределах Адрасман-Канимансурского рудного поля выступают зоны дробления, интенсивной трещиноватости, приоткрытые участки швов разломов.

В пределах Адрасманской мульды известны проявления серебро-полиметаллической, медно-висмутовой, свинцовой, урановой, гематитовой, флюоритовой и баритовой минерализаций. Серебро-полиметаллические проявления сосредоточены в едином рудном узле и приурочены к наиболее опущенному участку Адрасманской кальдеры. Этот участок расположен на стыке куполовидных поднятий периферического пояса кальдеры и относительных поднятий внутри структуры. Серебро-полиметаллический рудный узел локализован преимущественно в участках пересечения крупных линейных структур широтного и меридионального направлений, а также в местах сопряжения разновысотных блоков. Характерной особенностью серебро-полиметаллических проявлений является то, что в них серебро находится как в виде минералов, так и в качестве примеси почти во всех сульфидах, особенно блеклой руде и галените. К югу от серебро-полиметаллических проявлений во внешнем поясе Адрасманской мульды располагается область развития свинцовых минерализаций с небольшим количеством цинка и меди. Сфалерит в этих проявлениях появляется лишь на нижних горизонтах (Замбарак, Бурочар, Карабулак). Висмутовые минералы в них не обнаружены. Не обнаружены и собственные серебряные минералы, хотя в галените содержится серебро. По отношению к участкам развития серебро-полиметаллических проявлений область распространения свинцовой минерализации представляет собой относительно приподнятые участки кальдеры. Свинцовые проявления в рассматриваемой кальдере жильного и прожилково-жильного типа. Серебро-полиметаллические и свинцовые проявления в Адрасманской мульде со всех сторон охвачены широким поясом медно-висмутовых проявлений, локализующихся в относительно приподнятой части структуры (Адрасман, Канимансур, Каптархана, Алмадон и др.). При бурении скважин этот тип оруденения установлен и под серебро-полиметаллической минерализацией. Медно-висмутовые проявления приурочены к внутренней части кальдеры. Они так же, как и серебро-полиметаллические проявления, встречаются в виде жил и штокверков. Висмутовая минерализация в этих проявлениях наряду с висмутином встречается в виде различных сульфосолей, причем последние распространены на верхних горизонтах, а висмутин – на нижних. Медно-висмутовая минерализация распространена среди вулканитов кислого и среднего состава. Флюорит – распространенный тип минерализации в кальдере. Он образует собственные рудные тела и находится в проявлениях других минеральных типов. Особенно большие скопления плавикового шпата обнаружены в участках распространения серебро-полиметаллических проявлений. Наиболее продуктивная флюорит-полиметаллическая минерализация располагается в кальдере – во внутренней ее части, в зонах мощных разломов и в секториальном блоке кальдеры. По данным И. Н. Томсона с соавторами [6], флюоритовые проявления, тяготеющие к кальдерным постройкам, могут контролироваться дополнительными куполами в их пределах. Флюоритовое оруденение встречается в виде жил и прожилков в вулканитах преимущественно среднего состава. В Адрасманской кальдере широко распространены кварц-гематитовые жилы, которые не только ассоциируют с медно-висмутовым оруденением, но и образуют самостоятельные рудопроявления. Во внешних зонах кальдеры проявлено также галенит-баритовое оруденение. В кальдере присутствуют и проявления урановой минерализации. В размещении оруденения в Адрасманской кальдере отмечается отчетливая горизонтальная концентрическая зональность: в периферической зоне большой впадины локализуются свинцовые проявления, во внутренней, более поднятой, – медно-висмутовые, а в наиболее опущенном секториальном блоке, сложенном молодыми вулканитами, – основные серебро-полиметаллические проявления с флюоритом. В кальдере также установлено ярусное распределение оруденения: серебро-полиметаллические руды локализованы в молодых вулканитах верхнего яруса, на более глубоких уровнях развиты медно-висмутовое и кварц-гематитовое оруденения.

Заметное влияние в размещении оруденения оказывает различие в характере трещиноватости вмещающих пород: при других равных условиях участки пород с повышенной трещиноватостью оказываются наиболее минерализованными. Обычно подобные участки представляют собой наиболее ослабленные и легко проницаемые зоны и занимают места в тектонических блоках, заключенных между кулисами.

Литолого-стратиграфический фактор. Приведенные ранее данные исследований и наши данные не позволяют говорить о том, что на месторождениях Адрасман-Канимансурского руд-

ного поля существует какая-либо четкая зависимость локализации оруденения от возраста вмещающих вулканитов. Также не удалось выявить избирательную приуроченность того или иного типа оруденения к породам того или иного состава: различные виды минерализации можно встретить в одних и тех же толщах. Так, Ю. Г. Сафонов и Л. И. Лукин в оясайской свите (нижнекушайнакской толще) Канимансурского рудного поля отмечали как медно-висмутовые, так и серебро-полиметаллические руды, иногда и кварц-гематитовую минерализацию [4]. В то же время они отмечают, что серебро-полиметаллические руды развиты преимущественно в верхних и средних частях свиты, а медно-висмутовые тяготеют к средним и нижним ее частям.

Литология вмещающих пород все же оказывает определенное влияние на размещение оруденения, что и показало детальное исследование различных участков месторождения Большой Канимансур. Удалось установить, что кварц-барит-карбонатные и барит-флюорит-галенитовые жилы и прожилки преимущественно развиты в кислых эффузивах, в особенности там, где наблюдается переслаивание эффузивов и туфов. Серебряное оруденение отмечается как среди кислых, так и средних пород. В то же время основное количество этого типа оруденения приурочено все же к кислым эффузивам и туфам. Медно-висмутовое оруденение тяготеет к вулканитам с умеренно-кислым составом и относительно высоким отношением натрия к сумме щелочей. Продукты полиметаллического с серебром комплекса более широко развиты в эффузивах среднего состава, хотя отмечаются и в эффузивах умеренно-кислого и кислого состава, а также туфах.

Флюоритовая минерализация сосредоточена во всех типах пород, слагающих месторождения, при преимущественном развитии в средних породах – андезитовых порфиритах, только в которых отмечаются ее промышленные скопления. Медно-висмутовая минерализация встречается в средних эффузивах, однако основная ее масса предпочитает умеренно-кислые и кислые эффузивы и туфы.

Из изложенного выше следует, что состав вулканитов в контроле оруденения рудного поля играл подчиненную роль, по сравнению со структурным фактором. Предполагается, что состав вулканитов определял характер распределения оруденения в пределах отдельных рудовмещающих структур. В то же время, из вулканитов были заимствованы некоторые элементы, участвовавшие в процессе минерало- и рудообразования.

Околорудный метасоматоз. Во многих месторождениях интенсивность зон развития гидротермально измененных пород указывает на значимость оруденения и может служить важным поисковым признаком. Закономерности размещения подобных зон можно использовать в качестве одного из надежных критериев при прогнозировании скрытого оруденения.

На месторождениях Адрасман-Канимансурского рудного поля выявлена следующая закономерность: вид изменений напрямую зависит от состава исходных пород, а выдержанность изменений от литологической однородности пачек. Так, окварцевание, серицитизация и калишпатизация характерны для кислых вулканитов, а хлоритизация, карбонатизация и пиритизация – для средних. В пространственном распределении метасоматитов отмечается как горизонтальная, так и вертикальная зональность. С разными типами рудной минерализации связаны разные типы околорудных изменений, что может явиться надежным признаком для поисков и прогнозирования. Наличие или отсутствие ангидритизации, которая развита только в самых нижних горизонтах и флангах рудных зон, можно использовать для оценки степени эрозионного среза, т. е. перспективности или неперспективности оруденения на глубину соответственно.

Всесторонний анализ опубликованных и фондовых материалов, а также наши данные позволили установить, что размещение серебро-свинцово-висмутового оруденения в Центральном Карамазаре определялось геолого-тектоническими, структурными, магматическими, литолого-стратиграфическими и другими факторами. На основании соотношений этих факторов удалось разработать критерии поисков и прогнозирования скрытого оруденения в пределах Адрасман-Канимансурского рудного поля, что в итоге позволило оценить характер распределения оруденения на глубину и перспективы оруденения во фланговых зонах изученных месторождений, а также определить масштабы скрытого оруденения в перспективных рудных зонах.

Список литературы:

1. Баратов Р. Б., Литвиненко К. И. Важнейшие черты эндогенной металлогении Таджикистана // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 1996. – Т. 39, №7/8. – С.10–14.

2. Мацокина-Воронич Т. Н. Региональная металлогения центральной части Средней Азии. – Ташкент : Фан, 1979. – 267 с.
3. Потапьев В. В., Кочнева Н. Т. Признаки скрытой Янгиабад-Гушсайской сквозной рудоконтролирующей зоны // Сквозные рудоконтролирующие структуры. – М. : Наука, 1989. – С.150–155.
4. Сафонов Ю. Г., Лукин Л. И. Канимансурское рудное поле // Особенности структур гидротермальных месторождений. – М. : Наука, 1968. – С.108–127.
5. Тананаева Г. А., Кочнева Н. Т. Строение и металлогения Адрасманской кальдеры (Западный Тянь-Шань) // Известия АН СССР. Сер. Геологическая. – 1983. – № 11. – С. 86–96.
6. Томсон И. Н., Кравцов В. С., Кочнева Н. Т. и др. Металлогения орогенов. – М. : Недра, 1992. – 272 с.
7. Томсон И. Н. и др. Орогенные структуры Западного Тянь-Шаня и методы их выявления // Закономерности размещения полезных ископаемых. – М. : Наука, 1981. – Т. XIII. – С. 215–224.

Хабибуллаев С. С.[1], Умаров Ш. А.[2], Баратов А. Х.[1], Акобиров А. М.[1]
[1] Министерство геологии Республики Узбекистан, г. Ташкент;
[2] Навоийское отделение АН Узбекистана, г. Навои

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ МЕТОДОВ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И МОНИТОРИНГА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОТКРЫТЫХ И ПОГРЕБЕННЫХ ЧАСТЯХ ГОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ УЗБЕКИСТАНА

В настоящем исследовании изложены технологические этапы аналитической обработки гиперспектральных данных, используемых при поиске перспективных площадей золотого оруденения. Приведены примеры по применению гиперспектральных аэрокосмогеологических данных при оконтуривании зон гидротермально-метасоматических изменений горных пород, перспективных на золотое оруденение.

Ключевые слова: минералы-индикаторы, гидротермальные изменения пород, золотое оруденение, гиперспектральные данные, ASTER, аэрокосмогеология, космоснимки, геологоразведочные работы (ГРР), цифровое геологическое картирование.

В Узбекистане вопреки всем привычным высказываниям и мнениям о том, что основная его территория в основном покрыта пустынями и равнинными зонами, геологическая изученность показывает сложные горные сооружения на всей территории страны. Разница между определениями открытых и погребенных территорий – это уже отдельное направление моделирования, которое требует проведения геологоразведочных работ (ГРР) и сопутствующих работ по комплексному анализу выбранных территорий.

Кроме того, большое количество труднодоступных площадей на территории Узбекистана еще ждут своего геолога-исследователя. Ранее проведенные исследования открытых территорий, включая их приграничные погребенные части, до современного уровня состояния геологической изученности способствовали развитию научно-практического направления применения результатов обработки и анализа результатов ДЗЗ, аэрокосмогеологических данных.

За последние десятилетия Министерство геологии Узбекистана все больше отдает предпочтение сингулярному применению результатов комплексных исследований, которые не исключают использование данных и направлений, по результатам которых можно получить более точную геологическую информацию.

Среди наиболее эффективных направлений по количеству и качеству получаемой информации, а также способствующих повышению эффективности геологоразведочных работ при поиске полезных ископаемых, прогноз и поиски золотого оруденения имеют важное научное и экономическое значение и являются направлением, охватывающим весь спектр действий от применения инновационных технологий с использованием данных нового поколения – материалов аэрокосмогиперспектральной съемки – до их сопряжения с имеющимися базами геологоразведочных данных.

В течение многих лет и до настоящего времени преобладающим с точки зрения используемых космоснимков является применение доступных японских космических данных ASTER (Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection radiometer). Характеристика данного вида космоснимков приведена в таблице.

Спектральные диапазоны данных ASTER

Система	Номер канала	Спектральный диапазон, мкм	Цвет	Пространственное разрешение, м
VNIR (видимые и ближние инфракрасные)	1	0,52–0,60	Зеленый	15
	2	0,63–0,69	Красный	
	3	0,76–0,86	Ближний ИК	
SWIR (ИК)	4	1,60–1,70	Средний ИК	30
	5	2,145–2,185		
	6	2,185–2,225		
	7	2,235–2,285		
	8	2,295–2,365		
	9	2,36–2,43		
TIR (тепловой)	10	8,125–8,475	Дальний ИК	90
	11	8,475–8,825		
	12	8,925–9,275		
	13	10,25–10,95		
	14	10,95–11,65		

Описание метода картирования ареалов минералов по гиперспектральным данным. Построение ландшафтно-земной поверхности основывается на технологии сопряжения из узких интервалов (около 10 нм), регистрируемого спектра электромагнитных волн, которые имеют разновидности отраженного, собственного теплового излучения природных объектов; все данные вводятся в комплексный анализ и очерчивание контактов. Гиперспектральные изображения интерпретируются с доступными данными с целью определения контактов и картирования минералов по их спектрам; границы в основном проходят по контуру отражения материала вдоль амплитуды волны [3]. Минералы имеют уникальный спектр отражения или поглощения, их спектральные диапазоны выделяются на разных индикаторах (рис. 1, 2).

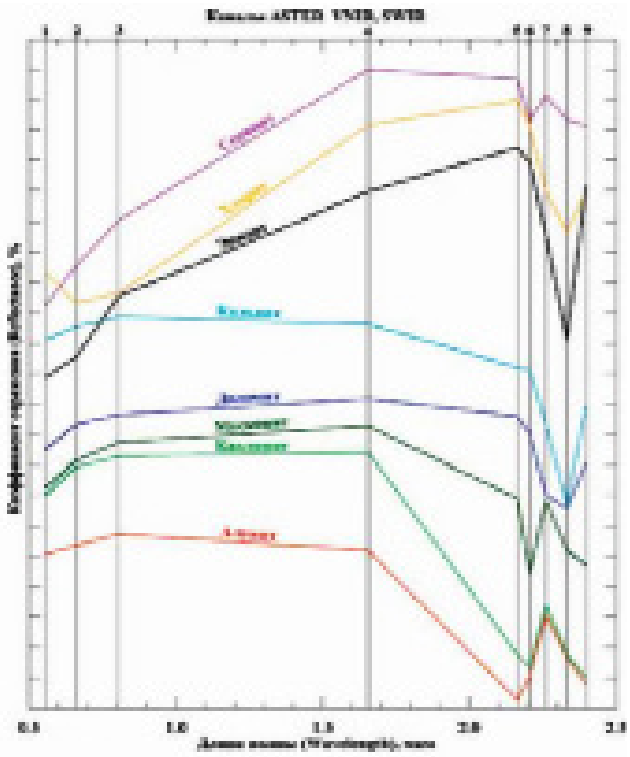


Рис. 1. Спектры алунита, доломита, кальцита, каолинита, мусковита, серицита, хлорита и эпидота в соответствии с VNIR и SWIR каналами КС ASTER

На изображении регистрируется смешанный сигнал от всех минералов, входящих в пиксель всей картины территории исследования.

По изображениям на рисунках видно, что спектры минералов разнообразны, это объясняется химическим составом, структурой минерала, кристаллической решеткой. Использование материалов гиперспектральных съемок, полученных при помощи аэрокосмических устройств, при проведении прогнозно-поисковых работ увеличивает возможности диагностики по спектральным характеристикам отдельных индикаторных минералов или минеральных ассоциаций [2]. Эти индикаторы являются основными при выявлении рудных объектов, а также их классификации.

Существует еще ряд методов и методических направлений по работе с аэрокосмогеологическими материалами. В рамках одного исследования невозможно описать все

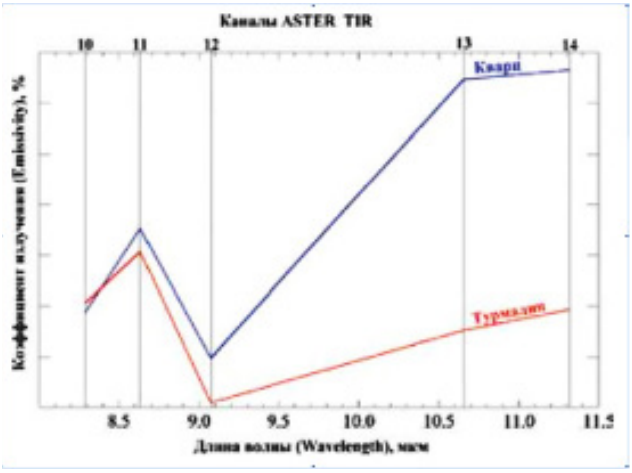


Рис. 2. Спектры кварца и турмалина в соответствии с TIR каналами КС ASTER

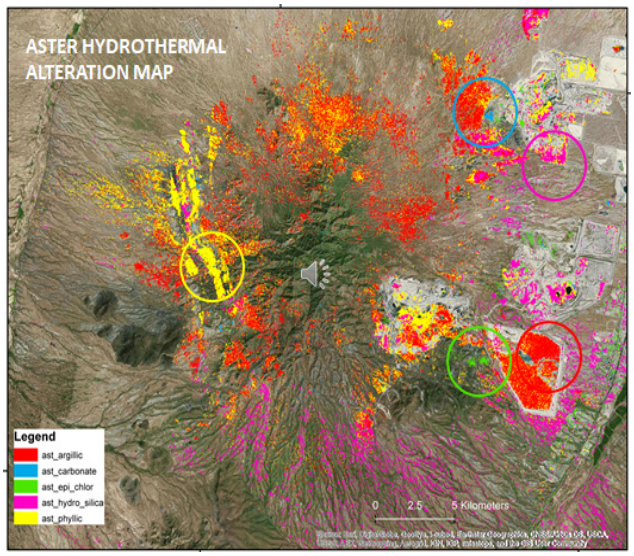


Рис. 3. Совмещенная комплексная обработка гидротермальной картины снимка ASTER

материалы и выполнить соответствующий анализ. Именно поэтому хотелось бы остановиться на проведенной работе. Для достижения поставленных целей авторами исследования применена методика комплексного анализа геоданных без привязки к рудным, углеводородным или нерудным признакам изучаемых геологических комплексов [1, 4]. С этой целью авторами исследования были проведены работы по созданию цифровых картографических материалов с помощью геологического информационно-коммуникативного аналитического комплекса ГИС платформы ArcGIS. Проведенные исследования и анализ накопленного опыта показывает, что геологическая обстановка должна быть обоснована на основе полного комплексного анализа как геодинамических процессов, съемочных работ, так и интерпретации материалов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), а также указываются другие факторы (рис. 3).

Корреляция существенных признаков с бассейновыми признаками позволит в дальнейшем выполнить глубинное моделирование. На сегодняшний день горы Ауминзатау и Кулджуктау требуют глубинного моделирования с целью определения движения термомасс по структурным единицам и обоснования геодинамической обстановки. В процессе создания подобной модели будет возможно создание эталонного специфического классификатора геологических, геохимических, гидрогеологических, геофизических, геодинамических признаков.

Создание подобного классификатора будет важным этапом для обоснования строения и прогнозирования строения Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП).

Разработка отдельного классификатора минералов, горных пород и их признаков в геологических комплексах, отложениях разного периода формирования на основе созданных цифровых моделей позволит обосновать Центрально-Азиатский подвижной пояс (ЦАПП) и его составляющие. Геостатистический анализ, а также последующее ранжирование узлов пересечения разнонаправленных геологических структур определяют наибольшее совпадение с точками известных рудопроявлений и максимальных значений отобранных проб на расстоянии 300 м и уменьшение значений концентрации совпадений на расстоянии более 500 м, где совпадение минимально или отсутствует. Поэтому на ранжированной карте узлов пересечений более темными цветами отображены дистанции наибольших совпадений.

Заключение. При проведении геологоразведочных работ в пределах горнорудных регионов Узбекистана применяются современные методы по цифровому геологическому картированию территорий. В частности, опыт регионального изучения недр на территории гор Кулджуктау является одним из важнейших, так как на данной территории проводятся работы по поискам полиэлементных минералов, остатков органических веществ, стратиграфических признаков. Авторами исследования выполнена работа по совмещению ранее проведенных работ по геологическому изучению территорий, в том числе проведена комплексная обработка материалов дешифрирования и анализа аэрокосмогеологических данных.

Комплексный анализ материалов территории гор Кулджуктау и их оцифровка, итогом которого является цифровая геологическая карта, легко коррелируется с другими данными. В частности, на данной территории важно выделить геодинамические факторы, которые в период формирования этого горного сооружения являлись основной зоной миграции тепломассопереноса и энерговыделения. Именно для этого применяются результаты структурного дешифрирования материалов космической съемки, которые позволяют трассировать на значительные расстояния тектонические нарушения, зафиксированные сейсморазведкой, устанавливать новые тектонические зоны. Выявленные результаты служат для обоснования геодинамических единиц, в том числе флексурно-разрывных зон и зон повышенной тектонической трещиноватости, позволяют выявлять аномальные участки, связанные с проявлением зон энерговыделения, т. е. результаты дешифрирования содержат принципиально важные сведения о глубинном строении осадочного чехла и складчатого основания.

Список литературы:

1. Баратов А. Х., Хабибуллаев С. С., Жамолов А. Т., Умаров Ш. А. Опыт цифрового геологического картирования гор Кулджуктау при региональном изучении недр на поиски месторождений полезных ископаемых // Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы геологии, разработки и эксплуатации месторождений, транспорта и переработки трудноизвлекаемых запасов тяжелых нефтей». – Ухта, 2021. – С. 242–249.
2. Измененные околорудные породы и их поисковое значение. Сборник статей / под ред. Н. Н. Курек. – М. : Госгеолтехиздат, 1954. – 270 с.
3. Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Павлова В. О., Кирсанов Г. А., Смирнов М. Ю. Выявление площадей, перспективных на поиски твердых полезных ископаемых, по данным обработки аэро- и космических гиперспектральных данных // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. Сборник материалов тезисов докладов VII научно-практической конференции. – М. : ЦНИГРИ, 2017. – С. 23.
4. Мухутдинов Н. У., Бикеева Л. Р., Адылов Д. М., Юлдашева М. Г., Акрамова Н. М., Умаров Ш. А. Прогнозирование ловушек нефти и газа по данным структурного дешифрирования космических снимков в пределах Айбугирского и Шорджинского поднятий южного Устюрта // Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы геологии, разработки и эксплуатации месторождений, транспорта и переработки трудноизвлекаемых запасов тяжелых нефтей». – Ухта, 2021. – С. 22–28.
5. Хаин В. Е. Основные проблемы современной геологии // М. : Научный мир, 2003. – 348 с.

Хамраев А. Х., Мамарозиков У. Д.

Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева, г. Ташкент

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ЛАМПРОФИРОВЫХ ДАЕК, РАЗВИТЫХ В ПРЕДЕЛАХ ТАУШАНСКОГО ИНТРУЗИВА

Кратко изложены геолого-петрографические черты лампрофировых даек, участвующих в строении Таушанского золоторудного месторождения (Кульджуктау, Центральный Кызылкум). По минеральному составу и текстурно-структурным особенностям они разделены на одиниты и малхиты, которые широко распространены и в других золоторудных месторождениях Центрально-Кызылкумского региона (Западный Узбекистан).

Ключевые слова: Кульджуктау, Таушан, лампрофир, одиниты, малхит, амфибол, биотит, плагиоклаз.

Таушанский интрузив расположен на северных склонах центральной части гор Кульджуктау. Площадь выхода массива – 14 км^2.

В северной части он сложен габбро, габбродиоритами, в южной – биотитовыми гранитами. Интрузив залегает преимущественно среди песчано-сланцевой толщи D_3–C_1, но контакты его в большой степени закрыты делювиальными отложениями и вскрыты лишь в руслах саев. Падение плоскостей контактов крутое, почти вертикальное. Вокруг основного тела расположено большое количество мелких, штокообразных и дайкообразных тел, являющихся, по-видимому, сателлитами и апофизами последнего. На юге и юго-западе он перекрыт мезозойско-кайнозойскими отложениями. Массив несколько вытянут в широтном направлении. Контакты массива с вмещающими породами крутые (60–80°). Биотитовые граниты (около 50 % площади выхода) в северной части интрузива прорывают габбро и габбродиориты [3].

Краткие сведения о геологическом строении палеозойских отложений и петрографии магматических пород и постмагматических образований гор Кульджуктау приведены в работах следующих исследователей: А. Н. Чистякова, И. М. Евфрименко, И. Х. Хамрабаева, Я. Б. Айсанова, В. С. Владимирского, Ю. А. Лихачева и др.

Наши данные по отобранным образцам позволяют судить о том, что в геологическом строении участка Таушан принимают участие метаморфизованные терригенно-осадочные образования и прорывающие их магматические тела. Среди терригенных пород основную часть слагают расслоенные и рассланцованные глинисто-песчанистые образования за счет регионального метаморфизма. В пределах магматических тел наблюдаются концентрически-зональные участки ороговикования и последующей пропилитизации. В результате пликативных и дизъюнктив-

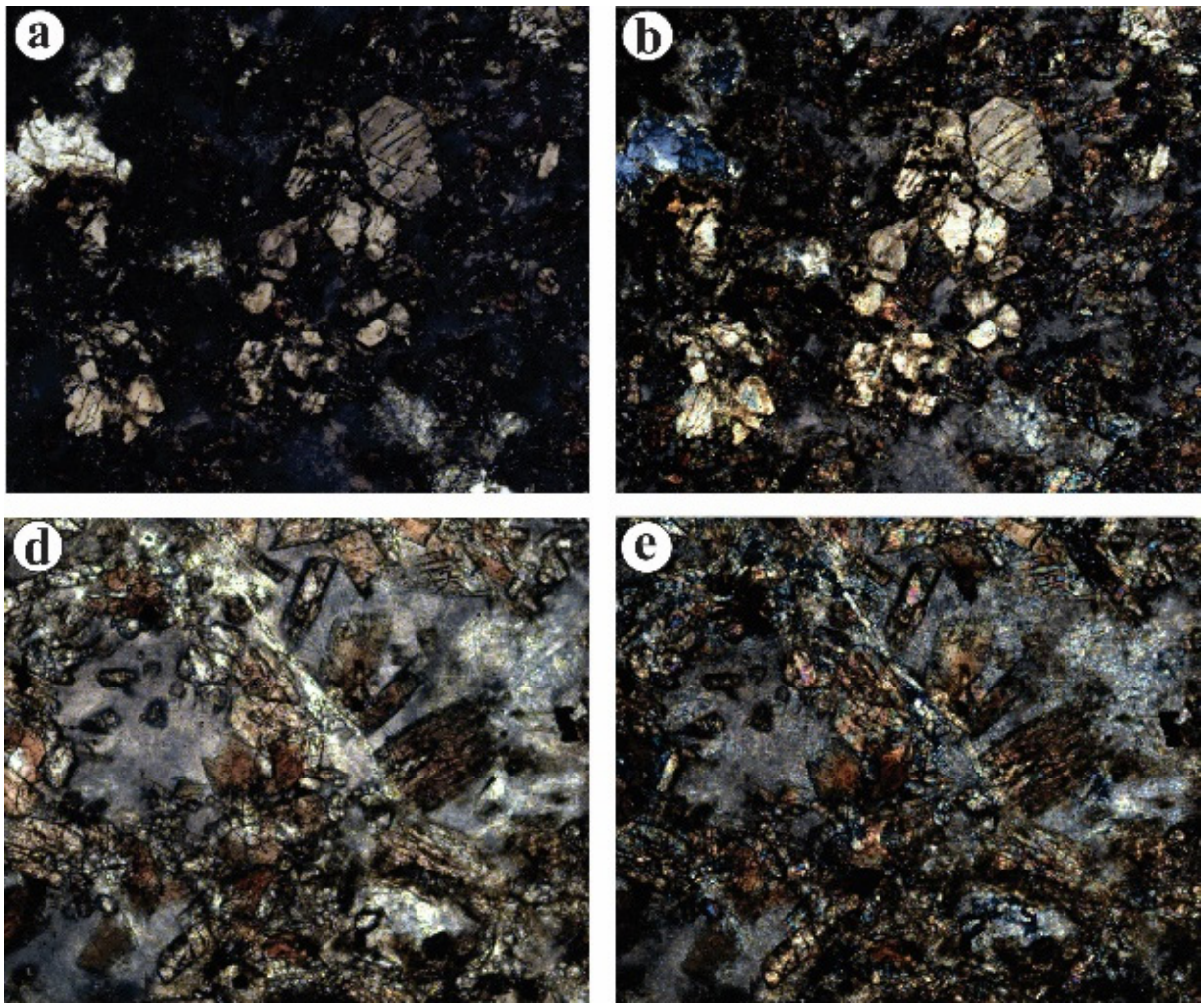


Рис. 1. Текстурно-структурные особенности дайки одинита. Таушан, шл. №БХ-5:
a–b – мелкопорфировые выделения титано-авгита и амфибола в плагиоклазовом базисе; d–e – взаимоотношение порфирового выделения плагиоклаза с удлиненно-призматическими зернами титано-авгита и амфибола. Текстура массивная, структура лампрофировая; a и d – николи параллельные, b и e – николи скрещенные

ных нарушений эти породы смяты в складки и пересечены как регматическими, так и поздними разломами. В створе разломов породы раздроблены, превращены в милониты и филониты. Интрузивные породы в обследованных участках представлены гранитоидной формацией. Имеются крупно-, средне- и мелкозернистые разности биотит-роговообманковых гранодиоритов, биотитовых и мусковитизированных гранитов [1].

Лампрофировые дайки, развитые в пределах интрузива визуально отличаются друг от друга. Это обусловлено не столько различиями в их минеральном составе, сколько текстурно-структурным разнообразием. Встречаются равномернозернистые массивные однородные, пятнистые неравномернозернистые (такситовые), а также глобулярные текстуры. При этом все вышеперечисленные текстуры могут встречаться даже в одной маломощной дайке.

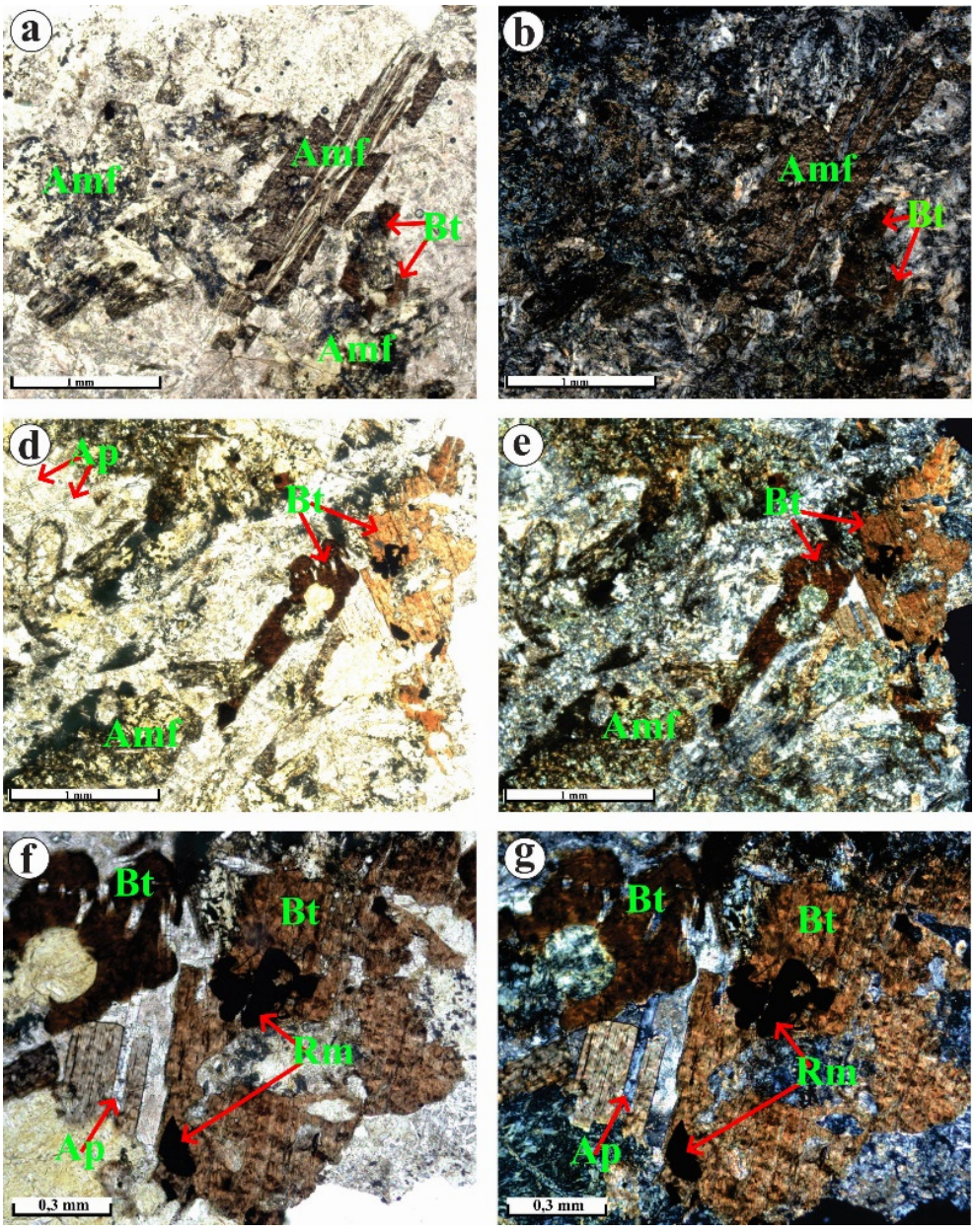


Рис. 2. Идиоморфные фенокристаллы амфибола и биотита в малхитовой дайке. Таушан, шл. № БХ-10:
a–b и d–e – массивная текстура и мелкопорфировая структура малхита; мелкопорфировые выделения представлены амфиболом, биотитом и плагиоклазом; f и g – полнокристаллическая мелкозернистая основная масса малхита, состоящая из плагиоклаза, амфибола, биотита, кальцита, стекла и апатита; a, d и f – николи параллельные, b, e и g – николи скрещенные

Для всех даек характерна типичная для лампрофиров структура – лейкократовая – основная масса, в которой заключены идиоморфные и гипидиоморфные фенокристаллы амфибола, иногда пироксена и псевдоморфоз по первичным вкрапленникам. Основная масса может быть как стекловатой, так и раскристаллизованной.

Лампрофировые дайки Таушанского интрузива представлены в основном одинитами. Они более поздние, чем диабаз-порфириты, что установлено по их взаимному пересечению. Ими же прорваны граниты, диориты, габбро и вмещающие их осадочно-метаморфические породы [2].

Дайки одинитов отличаются небольшой протяженностью (20–100 м), прямолинейностью контактов и тупым выклиниванием. Мощность даек не превышает двух метров, иногда наблюдаются раздувы до 5–10 м. Они являются наиболее ранними по времени внедрения в группе лампрофиров и образуют отдельные поля скоплений, расположенные субпараллельно, реже в виде отдельных даек. По простиранию это самые короткие дайки, прослеживающиеся на 20–50 м. Кроме типичных даек, они образуют в плане тела неправильной формы. Обычно это темно-серые, реже зеленовато-серые тонкозернистые полнокристаллические породы с хорошо видимыми фенокристаллами пироксена, роговой обманки и плагиоклаза.

Одиниты отличаются значительным однообразием в отношении минералогического состава. Под микроскопом порода состоит из плагиоклаза, титано-авгита, амфибола и биотита. Второстепенные минералы – калиевый полевой шпат и кварц. Из вторичных минералов присутствуют: серицит, карбонат, хлорит, эпидот и актинолит (рис. 1).

Малхиты темно-серые мелкозернистые плотные породы, состоящие из плагиоклаза и роговой обманки. Второстепенные минералы – биотит, кварц и калишпат. Акцессорные минералы – магнетит, апатит, титанит. Вторичные минералы представлены хлоритом, биотитом. Структура породы микрозернистая (рис. 2).

Плагиоклаз представлен короткопризматическими кристаллами. По составу отвечает андезину. Калишпат и кварц образуют очень мелкие ксеноморфные зернышки в небольших количествах. Амфибол образует удлиненно-шестоватые кристаллы, представлен буровато-зеленоватой обыкновенной разновидностью роговой обманки.

Из акцессорных минералов широко распространен рудный минерал – магнетит в виде отдельных небольших зернышек. Апатит образует очень тонкие призмочки. Титанит – встречается в виде крупных ксеноморфных зерен.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что в строении Таушанского золоторудного месторождения, приуроченного к одноименному гранитоидному интрузиву, участвуют лампрофировые дайки одинитового и малхитового состава. Если учесть пространственно-временную связь лампрофировых даек с золоторудным оруденением в других месторождениях Центрально-Кызылкумского региона (Даугыз, Кокпотас и др.), то можно допустить немалую роль одинитов и малхитов при формировании и локализации золотого оруденения в месторождении Таушан.

Список литературы:

1. Каримова Ф. Б, Джуманиязов Д.И, Хамраев А.Х. Петрографически-геохимические черты Таушанского интрузива (Западный Узбекистан) // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – 2021. – № 4. С. – 85–89.
2. Мамарозиков У. Д., Норматов У. А., Хамраев А. Х. Диабаз-лампрофировая формация Кульджуктау (Центральные Кызылкумы) : геолого-петрографичесие особенности, минералогия и геохимическая специализация // Геология и минеральные ресурсы. – 2021. – № 5. – С. 10–18.
3. Хамрабаев И. Х., Айзенштат В. И., Далимов Т. Н., Урунбаев К. У., Шарипов Т. Т. Каталог интрузивных массивов Узбекистана. Ч. II. – Ташкент : Фан, l975. – 429 с.
4. Хамрабаев И. Х. (гл. ред.), Исамухамедов И. М., Раджабов Ф. Ш., Головин Е. М., Висьневский Я. С. Петрография Узбекистана. Кн. 1. – Ташкент : Наука, l964. – 445 с.

Хафизов У. А.[1], Мирхамдамов М. М.[2]
[1] УГН, г. Ташкент; [2] ГУ «ИМР» УГН, г. Ташкент

ПОВЫШЕННЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ХРЕБТА КУЛЬДЖУКТАУ (УЗБЕКИСТАН)

Рассматриваются перспективы выявления редкоземельного оруденения в мезозойских толщах гор Кульджуктау. Редкоземельные элементы приурочены в основном к нижнемеловым отложениям, сложенным каолиновыми и каолинсодержащими глинами с линзами интенсивно ожелезненных песчаников и на отдельных участках с графитом. Для распределения повышенных концентраций редкоземельных элементов главным фактором является стратиграфический.

Ключевые слова: мезозойские толщи, горы Кульджуктау, редкоземельные элементы, каолинсодержащие глины, стратиграфический.

В мировой практике в связи с тенденцией увеличения потребности минерально-сырьевой базы редкоземельных элементов прогнозирование нетрадиционных типов имеет особо важное значение. В развитых странах мира ведутся работы по выявлению новых месторождений редких металлов и редкоземельных элементов и их переработке. В настоящее время в мире проводится ряд исследований, направленных на выявление месторождений редкоземельных элементов. Интенсивное проведение геологоразведочных работ на комплекс редких элементов позволило в последние два десятилетия прошлого века резко увеличить в мире их ресурсный потенциал, особенно в отношении REE, Ta и Nb.

В последние годы в Республике Узбекистан приняты активные действия по проведению научной оценки редкометалльности территории Узбекистана и переоценке известных проявлений редких элементов, генетически связанных с литий-фтористыми гранитами, их производными и гранитными пегматитами.

Поднятие Кульджуктау относится к одному из наименее изученных в геологическом отношении районов Центральных Кызылкумов.

В процессе проведения тематических и полевых работ ГУ «Институт минеральных ресурсов» в период 2012–2014 гг. в нескольких пробах, отобранных из обогащенных фосфором и железом осадочных меловых пород в южной части хребта Кульджуктау, масс-спектрометрическим методом выявлены повышенные концентрации редких и редкоземельных элементов. С учетом слабой изученности геохимического потенциала осадочных пород мезозоя, в 2016–2019 гг. были проведены тематические исследования по оценке перспектив выявления редкометалльно-редкоземельного оруденения в мезозойских толщах хребта Кульджуктау.

В исследованиях применялись современные методы, включающие комплекс полевых наблюдений (геологические маршруты, составление литологических, минералогических и структурных разрезов, отбор проб, геологическую документацию и др.), современные высокоточные аналитические исследования (масс-спектрометр ICP-MS и др.), методы теоретического обобщения материалов, полученных в лабораторных условиях, сравнительный анализ результатов исследований.

Детальное обследование нижнемеловых отложений в горах Кульджуктау, Ауминзатау и Букантау показало, что их нижние горизонты представляют собой продукты переотложенных предмеловых кор выветривания палеозойских пород, чем и объясняется наличие в их составе горизонтов и линз каолиновых и каолинсодержащих глин, линзовидных прослоев тонкодисперсного графита, горизонтов полимиктовых песчаников и линзовидных прослоев интенсивно ожелезненных песчано-глинистых отложений. Остатки палеозойских кор выветривания сохранились на южных склонах хребта Кульджуктау, где они представлены интенсивно каолинизированными гранитами, интенсивно ожелезненными сланцами, каолинизированными сланцами (рис. 1).

В результате обследования и опробования меловых отложений на 20-ти площадях южной части хребта Кульджуктау (от хребта Бельтау до Кынгыртау) установлено, что повышенные концентрации редкоземельных элементов приурочены к подстилающим горизонтам нижнемеловых отложений, которые сложены, как правило, каолиновыми и каолинсодержащими глинами. Гораздо реже редкоземельные элементы концентрируются в бурожелезняковых песчаниках

(площадь Джаманьяр, Аяк-Гужумды, Кынгыртау и др.). ΣREE + Y: от 320 (церий – от 150 до 500 г/т) до 1400 г/т. (рис. 2).

В верхних горизонтах нижнемеловых отложений, сложенных рыхлыми песчано-глинистыми породами, участками интенсивно ожелезненными, с линзами черных плотных гравийных



Рис. 1. Остаточные коры выветривания палеозойских пород и горизонты переотложенных продуктов кор выветривания

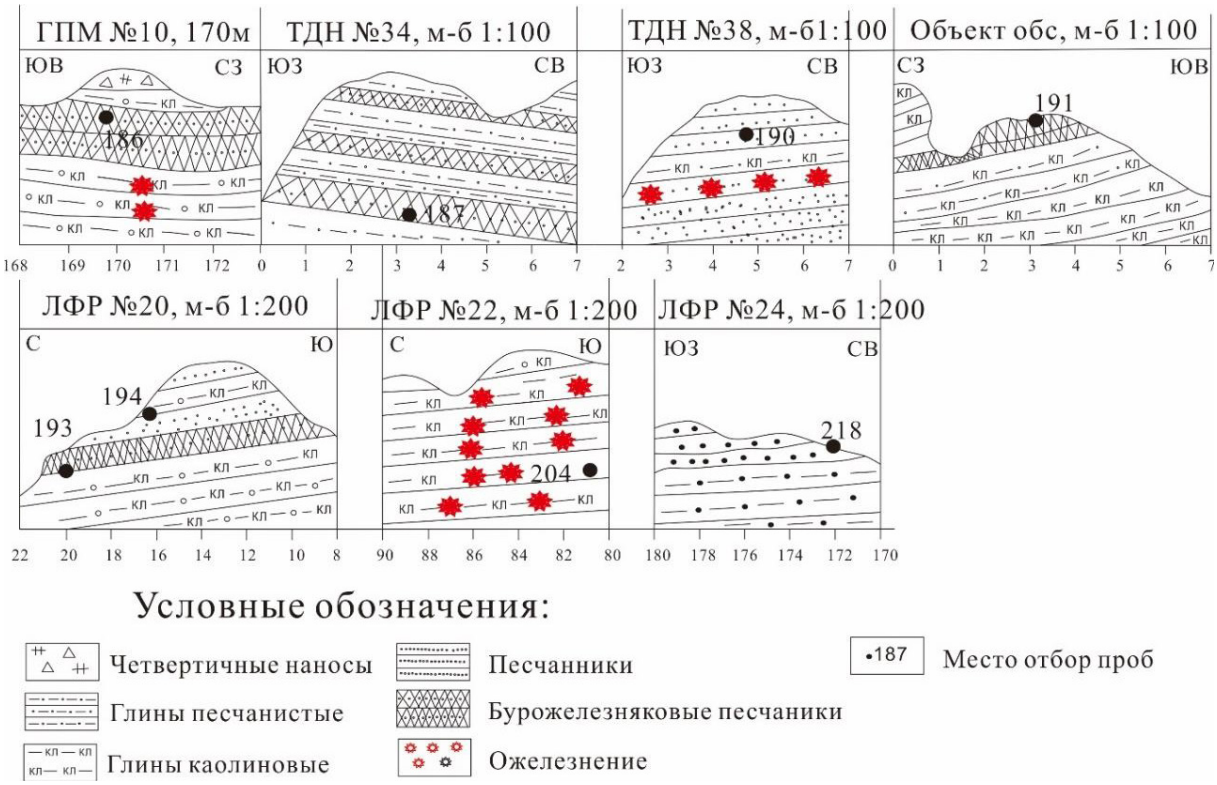


Рис. 2. Фрагменты коренных обнажений нижнемеловых отложений, опробованных на участке Джаманьяр

песчаников и песчаников на бурожелезняковом цементе, отмечаются низкие, ближе к кларковым, содержания редкоземельных элементов.

Полученные данные позволяют утверждать, что для распределения повышенных концентраций редкоземельных элементов главным является стратиграфический фактор. Один из косвенных факторов проявления их повышенных концентраций – магматический. Ранее проведенными исследованиями выявлены точки оруденения с высокими концентрациями элементов группы лантаноидов, генетически связанными с различными типами магматических пород и зонами тектонических нарушений в карбонатных породах и скарнах. Поскольку меловые отложения сформировались за счет размыва и переотложения предмеловых продуктов кор выветривания палеозойских пород, можно предположить, что повышенные концентрации редких земель в нижнемеловых горизонтах связаны с их переносом из палеозойских пород вместе с продуктами кор выветривания в нижнемеловые горизонты.

В заключении следует сказать: в результате проведенных исследований установлено, что редкоземельные элементы в южном меловом обрамлении хребта Кульджуктау приурочены к нижнемеловым горизонтам, сложенным каолиновыми и каолинсодержащими глинами с линзами интенсивно ожелезненных песчаников и на отдельных участках – с графитом. Это подтверждает перспективы исследованных объектов хр. Кульджуктау ионно-абсорбционного типа редкоземельного оруденения.

Список литературы

1. Ежков Ю. Б., Рахимов Р. Р., Панасюченко В. К., Новикова И. В. Редкие элементы Узбекистана. – Ташкент : ГП НИИМР, 2013. – 181 с.
2. Ежков Ю. Б., Рахимов Р. Р., Новикова И. В. Редкоземельные элементы. Геохимия, минералогия, месторождения. – Ташкент : ГП НИИМР, 2013. – 150 с.
3. Турамуратов И. Б. Геологические условия образования и генетические типы редкоземельных элементов / Материалы международной конференции «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан». – Ташкент. – 2016 г.
4. Турамуратов И. Б. Критерии прогноза редкоземельного оруденения территории Республики Узбекистан. Новая стратегия развития минерально-сырьевой базы : 04.00.02 «Геология, поиски и разведка месторождений твёрдых полезных ископаемых. Металлогения и геохимия» : автореф. дис. на соискание учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Ихломбай Бекчанович Турамуратов. – Ташкент, 2020. – 49 с.

Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ РОССЫПЕЙ ПРИСАЯНЬЯ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ИХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

С применением методов ИК-Фурье спектроскопии и цветной катодной люминесценции исследованы генетически информативные свойства алмазов из россыпей Присаянья. По морфологическим характеристикам и распределению азота алмазы из россыпей Присаянья сходны с алмазами трубки им. Ломоносова Архангельской области, но отличаются от них пониженным содержанием структурной примеси водорода. Алмазы из россыпей Присаянья по комплексу типоморфных свойств и условиям формирования наиболее близки к алмазам из россыпей Северного Тимана. Коренные источники сопоставляемых россыпей до настоящего времени не выявлены и могут быть представлены телами кимберлитов или лампроитов.

Ключевые слова: алмаз, кристалл, структурные примеси, азот, водород, внутреннее строение, ИК-спектроскопия, россыпи, кимберлиты, лампроиты.

Россыпные проявления алмазов в Присаянье известны с середины прошлого столетия благодаря исследованиям сотрудников ЦНИГРИ, впервые обнаруживших алмазы в аллювии р. Уда. Позднее на этой территории на реках Туманшет-Бирюсинского междуречья и других было найдено несколько сотен кристаллов алмаза массой от 10 до 1500 мг. Коренные источники этих алмазов до сих пор не установлены, а их тип и генезис дискуссионны. На основании морфологического сходства кристаллов с алмазами Ингашинских жильных тел флогопит-оливиновых лампроитов высказывалось предположение о лампроитовых коренных источниках алмазов из россыпей Присаянья [1].

Ранее для алмазов из россыпей Присаянья были исследованы преимущественно внешние признаки кристаллов – гранулометрия, морфология, скульптуры поверхности, окраска и т. д. [2]. Согласно этим данным, для алмазов Присаянья типичны повышенная средняя масса кристаллов (в среднем около 40 мг), преимущественно округлая форма (додекаэдроиды, реже октаэдроиды, в подчиненном количестве встречаются октаэдрические индивиды при единичных находках желтых кубов и поликристалльных образований – карбонадо). Значительное количество среди всех рассматриваемых алмазов составляют кристаллы с зеленой, желто-бурой, бурой, желтой, лилово-коричневой окраской. Несколько округлых кристаллов из россыпей Присаянья ромбододекаэдрического, октаэдрического габитусов и переходной от октаэдра к ромбододекаэдру формы изучены методом масспектрометрии [5]. Наряду с обычными «мантийными» значениями изотопного состава углерода алмаза (от -5,3 до -9,8 ‰) около трети из них характеризуются изотопно легким составом углерода от -12,3 до -14,6 ‰.

Морфологические особенности кристаллов отражают лишь заключительную стадию их эволюции, но для более обоснованного суждения о генезисе алмазов Присаянских россыпей и типе их коренных источников необходимо использовать весь комплекс генетически информативных типоморфных признаков алмаза, которые ранее не изучались. К ним относятся распределение структурных примесей в кристаллах, позволяющее оценивать химизм среды, температурные условия и глубинность алмазообразования [3], а также внутреннее строение кристаллов, отражающее механизм и историю их роста.

С применением метода ИК-Фурье спектроскопии проанализированы 24 кристалла алмаза размером -2+1 мм, реже -4+2 и -1+0,5 мм из россыпей Присаянья. Среди них преобладают (~60 % от общего числа) скрытослоистые додекаэдроиды «уральского» типа, октаэдры и октаэдроиды составляют около 22 % от всей выборки, а остальные кристаллы представлены ламинарными ромбододекаэдрами и переходными от ромбододекаэдра к октаэдру формами. Наряду с бесцветными кристаллами, составляющими порядка половины от всех изученных образцов, распространены алмазы со светло-желтой, коричневой, красно-коричневой и зеленоватой окраской.

По общему содержанию азота (N_{tot}) кристаллы относятся главным образом к низкоазотным разностям (N_{tot} < 400 at. ppm). Подобные алмазы составляют около 70 % от всей выборки. Основной формой вхождения азота в кристаллы являются пары замещающих углерод азотных атомов (А-центры). При этом доля азота в форме тетраэдрически сгруппированных атомов (В-центров) в подавляющем большинстве кристаллов не превышает 50 %. Относительное содержание структурной примеси водорода в кристаллах, выраженное коэффициентом поглощения спектральной линии около 3107 $см^{-1}$, невелико и, как правило, не превышает 1 $см^{-1}$.

По распределению азота и водорода изученные алмазы сходны с кристаллами средне- и высокоалмазоносных трубок Далдыно-Алакитского района Якутии и относятся преимущественно к III типу алмазных популяций [3]. Однако кристалломорфология алмазов из россыпей Присаянья и трубок Якутии существенно различна. В россыпях преобладают скрытослоистые додекаэдроиды, нехарактерные для алмазов якутских трубок. Кроме того в россыпях Присаянья присутствуют поликристаллы алмаза – карбонадо (X разновидность, по Ю. Л. Орлову), которые в Якутии практически не обнаружены [2].

Морфологические характеристики и распределение азота в алмазах из россыпей Присаянья сходны с соответствующими параметрами алмазов трубки им. Ломоносова Архангельской области. Однако среднее содержание водорода в саянских алмазах значительно ниже, чем в архангельских.

Наиболее близким аналогом изученных кристаллов являются алмазы из россыпей Северного Тимана [4], коренные источники которых также не установлены. Сопоставляемые алмазы сходны как по распределению азота и водорода в кристаллах, так и по их морфологическому спектру (преобладание скрытослоистых додекаэдроидов, присутствие карбонадо).

По данным катодной люминесценции алмазной пластины, вырезанной из низкоазотного округлого ромбододекаэдрического кристалла, история его формирования была сложной, многоэтапной, сопровождалась перерывами и неоднократной сменой условий и механизмов роста. Подобные особенности весьма характерны для алмазов краевых частей платформ в разных регионах земного шара.

Таким образом, по комплексу типоморфных свойств и условиям формирования алмазы из россыпей Присаянья сходны с алмазами из россыпей Северного Тимана. Коренные источники сопоставляемых россыпей разных регионов на сегодняшний день не выявлены и могут быть представлены телами кимберлитов или лампроитов.

Список литературы:

1. Афанасьев В. П., Лобанов С. С., Похиленко Н. П. и др. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 3. – С. 335–353.
2. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М. : Недра, 2003. – 604 с.
3. Хачатрян Г. К. Азот и водород в кристаллах алмаза в аспекте геолого-генетических и прогнозно-поисковых проблем алмазных месторождений // Отечественная геология. – 2013. – № 2. – С. 29–40.
4. Хачатрян Г. К., Копчиков М. Б., Гаранин В. К. и др. Новые данные о типоморфизме алмаза из россыпей Северного Тимана // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2009. – № 2. – С. 39–47.
5. Galimov E. M., Kaminsky F. V., Ivanovskaya I. N. Carbon-isotope composition of diamonds from the Urals, Timan, Sayan, the Ukraine and elsewhere // Geochemistry International. – 1978. – V. 15, № 2. – P. 11–18.

Чайка И. Ф.[1, 2], Изох А. Э.[2], Каменецкий В. С.[1], Лобастов Б. М.[3], Сокол Э. В.[2], Петренко Д. Б.[4, 5], Житова Л. М.[2], Шевко А. Я.[2], Гора М. П.[2], Служеникин С. Ф.[5], Калугин В. М.[6], Шведов Г. И.[4]

[1] ИЭМ РАН, г. Черноголовка; [2] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; [3] СФУ, г. Красноярск; [4] ГИН РАН, г. Москва; [5] ИГЕМ РАН, г. Москва; [6] ФБГУ «ЦНИГРИ», г. Москва

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ МАЛОСУЛЬФИДНЫХ Pt-Pd РУД ИНТРУЗИИ НОРИЛЬСК-1

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90082.

В месторождениях норильского типа породы с сульфидным платинометалльным (ЭПГ) оруденением, характеризующиеся повышенным относительно типичных вкрапленных сульфидных руд отношением ЭПГ / сульфиды и нередко содержащие богатую хромитовую минерализацию, образуют прерывистый горизонт в верхней эндоконтактовой зоне интрузий, называемый малосульфидным (МС) горизонтом. Для интрузии Норильск-1 был обоснован экономический потенциал этого типа руд и проведена оценка запасов в 2000–2006 гг. Нами проведено комплексное исследование верхней эндоконтактовой зоны интрузии Норильск-1 с целью составить генетическую модель МС-оруденения. Результаты исследования показали, что 1) породы МС-горизонта образовались в ходе кристаллизационной дифференциации базитового (8–9 % MgO, 48–49 % SiO_2) расплава при ограниченном привносе материала вмещающих интрузию осадочных толщ, 2) хромитовая минерализация образовалась в результате длительного сдвига фазовых равновесий в область насыщения расплава только хромитом благодаря контаминации магмы

пелитовыми осадочными породами, 3) образование МС-оруденения связано с концентрацией ЭПГ в сульфидной фазе и происходило в два этапа: раннемагматическое распределение ЭПГ в сульфидную жидкость из силикатного расплава и дополнительное позднемагматическое концентрирование ЭПГ за счет их флюидного переноса из вкрапленных сульфидных руд нижних частей интрузии. Пространственное совмещение хромитовой и ЭПГ-сульфидной минерализаций связано с избирательной адгезией сульфидной жидкости и кристалликов хромита к пузырькам флюида, массово образующихся в ходе ассимиляции магмой осадочных пород.

Ключевые слова: Норильск-1, малосульфидные руды, месторождения норильского типа, платинометалльные руды.

Малосульфидный тип руд элементов платиновой группы (ЭПГ), характеризующийся высоким содержанием ЭПГ, пересчитанным на 100 % сульфид (тенор ЭПГ) – в среднем от 100 г/т и выше – характерен для ряда дифференцированных интрузий (Бушвельд, Стиллуотер, Дулут, Великая Дайка, интрузии Мончегорской группы) и является важнейшим источником ЭПГ в мире [5]. В интрузиях норильского типа наряду с разрабатываемыми вкрапленными и массивными сульфидными рудами (рис. 1), был установлен малосульфидный тип оруденения в верхних эндокотактовых зонах, и для интрузии Норильск-1 обоснован экономический потенциал этого типа [2]. Вкрапленные и массивные сульфидные руды в нижних частях интрузий норильского типа (см. рис. 1) достаточно хорошо изучены, и главенствующей на сегодняшний день является гипотеза выноса экстремально-обогащенной ЭПГ сульфидной фракции, несмешиваемой с силикатной магмой, из глубинной камеры на уровень становления интрузий [4]. Вместе с тем малосульфидные руды остаются «белым пятном» в исследовании петрологии и рудообразования в интрузиях норильского типа.

Мы провели комплексное исследование пород верхней эндоконтактовой зоны (ВЭЗ) и, в частности, МС-горизонта на материале коллекции, отобранной из карьера «Медвежий ручей»

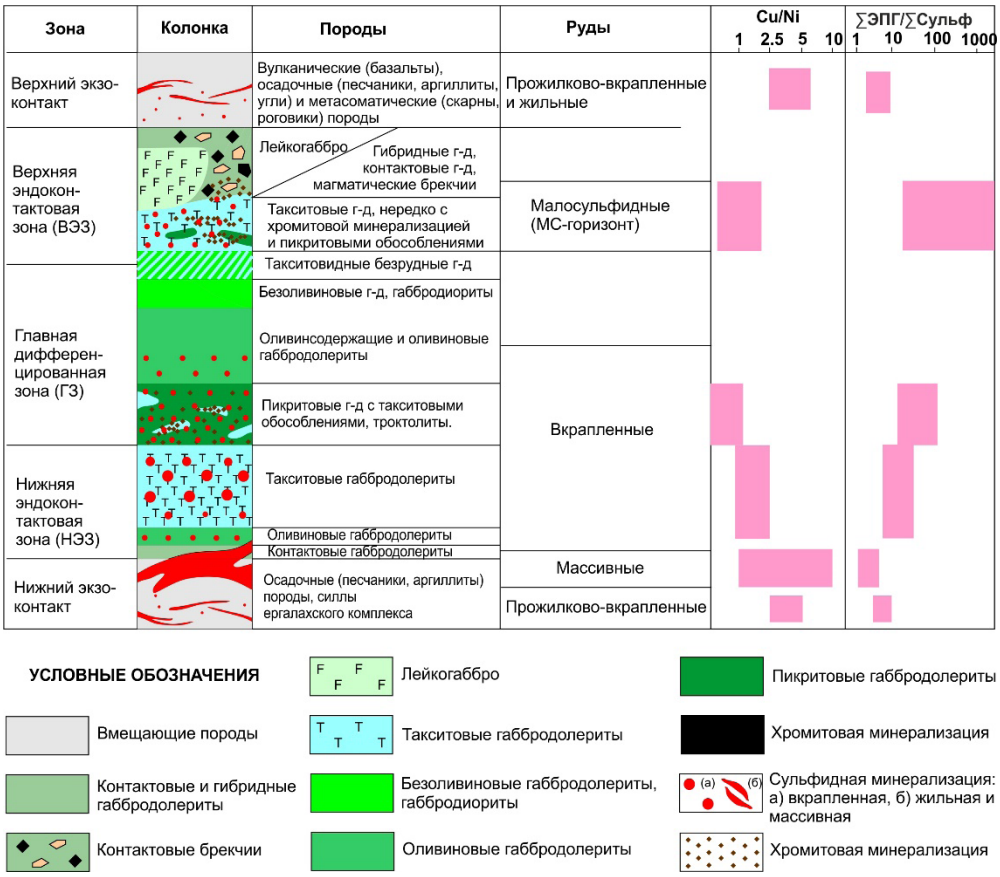


Рис. 1. Схема вертикального строения интрузий норильского типа и расположения главных типов оруденения (по [1])

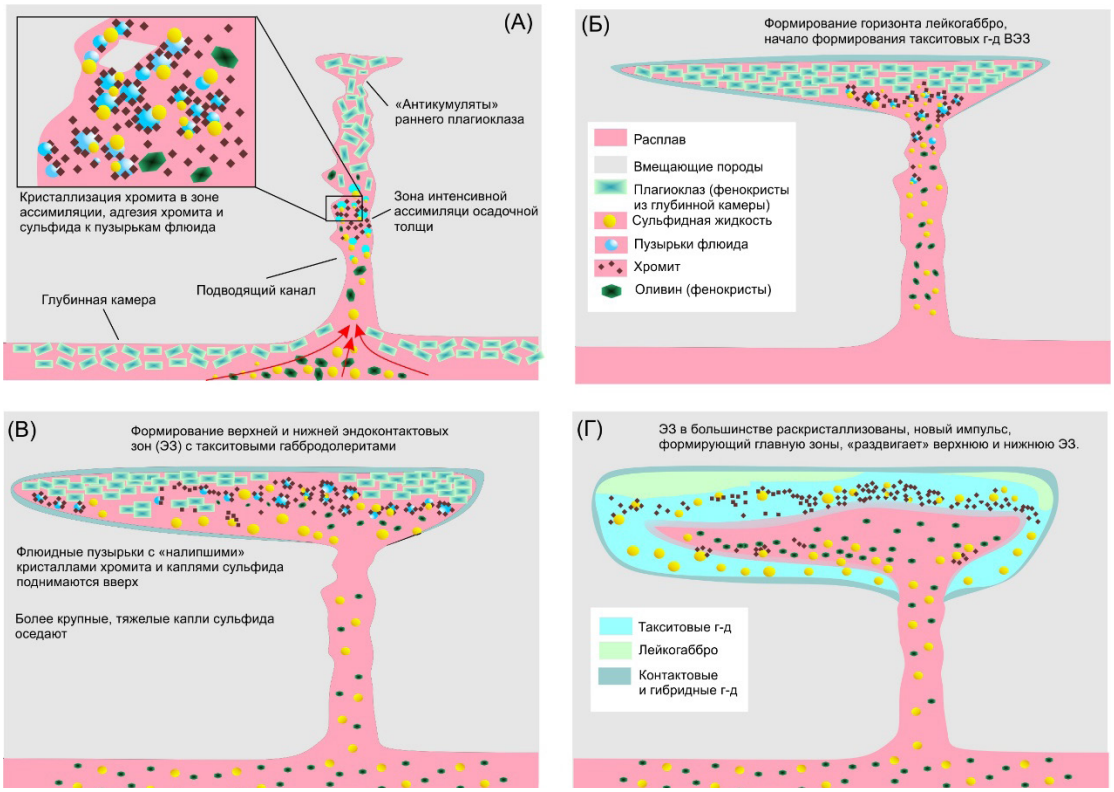


Рис. 2. Принципиальная схема образования МС-горизонта на стадии внедрения интрузии: (А) – формирование магматической колонны, (Б) – внедрение лейкогаббро, (В) – внедрение такситов ВЭЗ и НЭЗ, (Г) – внедрение ГЗ, разделяющее частично раскристаллизованные ВЭЗ и НЭЗ

и шести разведочных скважин. Методика исследования включала: (1) петрографическое и минералогическое изучение; (2) геохимию главных, рассеянных, рудных элементов и изотопов Rb, Sr, Sm, Nd; (3) изучение многофазных включений в хромшпинелидах с использованием экспериментального прогрева до предполагаемой температуры захвата с последующей быстрой закалкой в целях оценки их валового состава.

Верхняя эндоконтактовая зона состоит из (сверху вниз): гибридных, контактовых габбродолеритов и контактовых брекчий, прерывистого, но относительно мощного горизонта лейкогаббро, такситовых габбродолеритов (характеризующихся сильно неоднородной текстурой и обилием водосодержащих минералов), переходящих ниже в габбродолериты и габбродиориты главной дифференцированной зоны (ГЗ) (см. рис. 1). МС-оруденение вмещается, как правило, такситовыми габбродолеритами, реже – контактовыми брекчиями. На основании присутствия хромитовой минерализации, выделено два типа МС-оруденения: хромитовый и бесхромитовый. В хромитовом типе хромит образует тонкую, но густую вкрапленность, содержание Cr_2O_3 достигает 15–20 %. Породообразующими минералами в обоих типах МС-горизонта являются плагиоклаз, клинопироксен и оливин, состав которых во многом аналогичен составу этих минералов из пород нижней эндоконтактовой зоны, несущей вкрапленную сульфидную минерализацию. Валовый химический состав пород соответствует умеренно дифференцированным породам интрузий норильского типа в целом. Распределение трейс-элементов также соответствует породам интрузий норильского типа, однако непосредственно для контактовых пород, контактовых брекчий и некоторых пород с хромитовой минерализацией присутствуют выраженные геохимические (трейс-элементные и изотопные) метки контаминации вмещающими породами: базальтами ивакинской свиты и аргиллитами осадочных толщ норильского района.

Результаты исследования первичных силикатных включений в зернах хромита как реликтов среды его роста показали, что их состав резко отличается от пород интрузии и трапповых составов в целом и соответствует гибридной среде между базитовой магмой и аргиллитами осадочной толщи. Основываясь на принципах фазовых равновесий, сделали вывод, что хромитовая минерализация образовалась в результате пересыщения расплава по хромиту при интен-

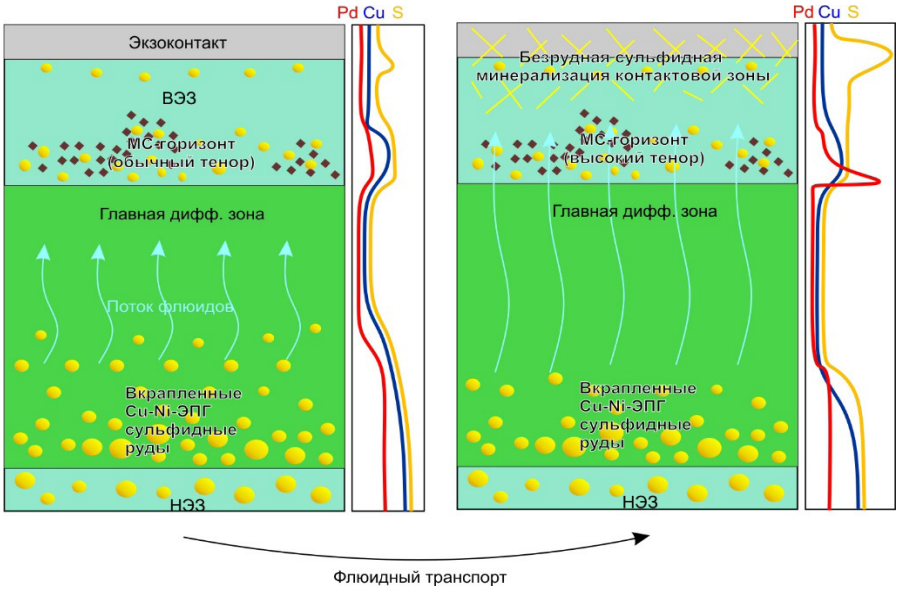


Рис. 3. Схема поздне- и постмагматического этапа формирования МС-горизонта за счет флюидного транспорта. Слева – гипотетическое состояние после флюидного концентрирования ЭПГ, справа – фактическое распределение сульфидной минерализации и концентраций ЭПГ (после флюидного переноса). Профили Pd, Cu и S – качественные, на основании данных автора и [1]

сивной ассимиляции вмещающих осадочных пород (рис. 2, А). Эта ассимиляция привела также к выделению большого количества флюида, что отразилось в большом количестве миндалин и водосодержащих минералов в рудоносных породах, а также кольцевых мотивов расположения зерен хромита.

Сульфидная вкрапленная и прожилково-вкрапленная минерализация представлена в целом высокосернистой ассоциацией халькопирит + пентландит + пирротин и аналогична таковой в такситовых габбродолеритах НЭЗ. Платинометалльная минерализация тесно ассоциирует с сульфидной и представлена сперрилитом ($PtAs_2$), изоферроплатиной (Pt_3Fe) и многочисленными халькогенидами Pd и Rh. Геохимия ЭПГ, Cu, Ni, S и Cr показывает, что первичным концентратором ЭПГ, так же как Cu и Ni, выступает сульфидная составляющая, однако некоторая корреляция в паре ЭПГ-Cr также прослеживается для хромитового типа МС-горизонта. Тем не менее, тенор ЭПГ в МС-горизонте существенно (в 10–100 раз) выше, чем во вкрапленных сульфидных рудах, а Cu и Ni, наоборот, несколько ниже, что не объясняется в рамках раннемагматических процессов или низкотемпературного преобразования сульфидов. Однако, подобное распределение халькофильных и благородных металлов объясняется с точки зрения теории поздне- и постмагматического переноса ЭПГ и халькофилов во флюиде в виде комплексов и формирования на фронте насыщения сульфидом «хроматографической колонки» [3]. Следуя этой гипотезе, предложенной ранее для малосульфидных руд Стиллуотерской интрузии [3], мы предполагаем, что МС-оруденение образовалось в два этапа. На первом этапе аналогично вкрапленным сульфидным рудам на уровень становления интрузии выносилась силикатно-сульфидная эмульсия с обогащенной ЭПГ сульфидной составляющей, и образовывался «протолит» с характеристиками обычных вкрапленных руд (см. рис. 2, Б, В, Г; рис. 3). На втором этапе, в результате дегазации сульфидсодержащих кумулятов нижних частей интрузии и вертикальной миграции S-Cu- и ЭПГ-содержащих флюидов, этот «протолит» дополнительно обогащался, причем обогащение ЭПГ было наиболее резким и происходило на самой границе сульфидсодержащих и бессульфидных пород (см. рис. 3).

Список литературы:

1. Дистлер В. В. Платиновая минерализация Норильских месторождений // Геология и генезис платиновых металлов. – М. : Наука, 1994. – С. 7–35.
2. Рябов В. В. Нетрадиционные типы руд платиновых металлов в сульфидных месторождениях норильского типа // Геология и геофизика. – 1992. – Т. 11. – С. 79–88.

3. Boudreau A. E. Hydromagmatic processes and platinum-group element deposits in layered intrusions. – United Kingdom : Cambridge University Press., 2019 – 275 p.
4. Li C., Ripley E. M., Naldrett A. J. A new genetic model for the giant Ni-Cu-PGE sulfide deposits associated with the Siberian flood basalts // Economic Geology. – 2009. – V. 104.,Is. 2. – P. 291-301.
5. Mungall J., Naldrett, A. Ore deposits of the platinum-group elements // Elements. – 2008 – V. 4., Is. 4. – P. 253–258.

Черемисина Е. Н., Любимова А. В., Толмачева Е. Р., Марков К. Н.
ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

В докладе представлены основные возможности цифровой платформы геоинформационного сопровождения региональных геологоразведочных работ, разработанной отделением Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ» на основе отечественного программно-технологического обеспечения. Рассматриваются основные технологические этапы работ и возможности платформы для их реализации, обсуждаются результаты апробации на примере ГРР на нефть и газ и перспективы применения платформы в других направлениях геологоразведочных работ.

Ключевые слова: геоинформационные системы, геологоразведочные работы, геофизические съемки, ГИС INTEGRO.

Одним из ключевых направлений деятельности ФГБУ «ВНИГНИ» является комплексное сопровождение геологоразведочных работ (ГРР) на углеводородное сырье, выполняемых за счет средств федерального бюджета. Данное направление включает геолого-техническое и технологическое сопровождение полевых работ, пробную выборочную обработку полевых сейсмических данных, а также научно-методическое обеспечение обработки геофизических материалов.

Важным условием эффективного выполнения перечисленных задач является качественное геоинформационное обеспечение на всех этапах жизненного цикла объекта ГРР: планирование – проектирование – выполнение – защита и сдача материалов в фонды. В рамках реализации данного направления в отделении Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ» разработана и успешно используется специализированная геоинформационная платформа, обеспечивающая все необходимые технологические этапы работ. Платформа функционирует на основе импортозамещающего программно-технологического обеспечения ФГБУ «ВНИГНИ» и включает веб-приложение (MGS-framework) для оперативного геоинформационного сопровождения деятельности по планированию, проектированию и мониторингу выполнения проектов ГРР и настольное приложение (ГИС INTEGRO), обеспечивающее выполнение картографических работ на всех стадиях проекта ГРР, включая формирование итогового ГИС-проекта, представляющего полученные результаты исследований по каждому объекту ГРР.

Геоинформационная платформа полностью интегрирована в информационное пространство ФГБУ «ВНИГНИ» и позволяет использовать все необходимые информационные ресурсы Единого банка данных ВНИГНИ: ретроспективные геологические отчеты, слои оперативной картографической базы, тематические геоинформационные проекты и пр. Систематизированное хранение и регламентированный доступ ко всем цифровым материалам (в том числе пространственным данным), получаемым в ходе выполнения каждого проекта ГРР, реализуется через среду информационного взаимодействия – Личный кабинет ГРР. Для доступа к компонентам геоинформационной платформы в интерфейсе Личного кабинета ГРР выделены специализированные разделы:

- оперативная интернет-карта, визуализирующая актуальные схемы объектов геологоразведочных и тематических работ института совместно с базовой геологической информации,
- базовые ГИС-проекты по текущим объектам работ и результирующие ГИС-проекты по выполненным проектам с возможностью их просмотра непосредственно в браузере, а также их скачивания на компьютер пользователя для работы в настольном приложении.

Основные технологические этапы работ по геоинформационному сопровождению региональных ГРР на нефть и газ, реализуемые на основе разработанной платформы:

1. Планирование постановки новых объектов ГРР. На данном этапе в задачу геоинформационного сопровождения входят сбор и систематизация пространственных данных по перспективным участкам, которые могут быть вынесены на рассмотрение в качестве новых объектов ГРР. Источником информации являются результаты тематических и опытно-методических работ, выполняемых в рамках государственного задания, а также предложения недропользователей. С помощью настольного приложения выполняется подготовка наборов векторных слоев, определяющих предлагаемые контуры и конфигурацию наблюдательной сети. Далее эти материалы оперативно публикуются в составе соответствующего раздела Оперативной интернет-карты ЛК ГРР для их предварительной оценки и согласования с учетом имеющейся базовой информации геологического содержания (изученность, геологическое строение, объекты недропользования и пр.). После того, как согласован список и конфигурация объектов, с помощью настольного приложения готовятся комплекты картографических схем для геологического обоснования для объектов, предлагаемых к включению в Перечень объектов ГРР на УВС Роснедра.

2. Проектирование объектов, включенных в Перечень Роснедр. Работы по ГИС-сопровождению проектирования объектов ГРР, начинающихся в текущем году, должны обеспечить точную координатную привязку контуров и проектных сетей съемки и оценки их пространственных характеристик (длины, площади и пр.). Для этого на данном этапе используются следующие инструменты настольного приложения:

- Создание объектов по значениям координат (плановым и географическим) с возможностью автоматического перепроецирования их значений при вводе в том случае, когда они представлены в иной системе координат – Пулково-1942 или WGS-84;
- Редактирование векторных объектов с автоматическим примыканием с объектами другого слоя (например, при решении задачи проведения границы контура по границе уже выданной лицензии);
- Оценка площадей и длин объектов для их внесения в техническое (геологическое) задание по объекту с возможностью их расчета в любой проекции, а также с разбивкой по зонам Гаусса-Крюгера (для протяженных по широте объектов);
- Автоматизированное формирование таблиц координат контуров и линий непосредственно из векторного слоя, а также выборка по пространственному запросу номенклатурных листов и объектов административного деления, для формирования раздела пространственной привязки объекта работ в итоговом техническом (геологическом) задании по объекту работ.
- Специализированный функционал для проектирования сети геофизической съемки: выделение на полевых проектных профилях интервалов, соответствующих зоне набора кратности заданного значения, построение набора линий ретропрофилей на основе заголовков трасс сейсмограмм для формирования векторного слоя объектов на переобработку и пр.

Подготовленные в ходе проектирования картографические слои и вся информация по ним оперативно публикуются в Оперативной интернет-карте ЛК ГРР для обсуждения на уровне рабочей группы, а также согласования возможных вариантов проектных решений с руководством института и Федерального агентства по недропользованию.

На данном этапе формируется базовый настольный ГИС-проект по каждому объекту работ, в состав которого включается полимасштабная векторная картографическая основа по территории работ, данные по объекту работ (контур участка работ, проектная съемочная сеть и пр.), векторные слои по геологии и недропользованию, рельеф, а также веб-сервисы для визуализации отраслевых ресурсов и подключения космоснимков. Базовый ГИС-проект является основой для выполнения всех последующих картографических работ по объекту. Поэтому доступ к базовому ГИС-проекту по объекту ГРР открыт для всех участников рабочей группы в соответствующем разделе Личного кабинета ГРР, а также при выборе контура работ в Оперативной интернет-карте. При этом для удобства реализована возможность просмотра каждого базового ГИС-проекта непосредственно в браузере, без необходимости его скачивания на свой компьютер. Данная возможность обеспечивается функционалом настольного приложения, позволяющим автоматически сформировать на основе ГИС-проекта веб-сервис, отображающий все его компоненты в форме масштабируемых картографических изображений с возможностью просмотра атрибутов по объектам заданного набора слоев.

3. Выполнение работ по текущим объектам Перечня Роснедр. Задачами геоинформационного сопровождения работ на этом этапе являются:

• Подготовка итоговых картографических слоев проектной сети (профили, маршруты и пр.) по итогам предварительной рекогносцировки с учетом особенности местности и геологической обстановки, их актуализация в составе базового ГИС-проекта и на Оперативной интернет-карте ЛК ГРР;

• Подготовка к печати проектной схемы работ для утверждения в Роснедрах, а также комплектов картографических материалов для проектно-сметной документации (обзорные схемы, картограммы геолого-геофизической изученности территории работ, схемы геологического и тектонического строения и пр.);

• Формирование ежемесячной сводки по объемам выполненных полевых работ по каждому объекту с публикацией на Оперативной карте ЛК ГРР, а по итогам их выполнения – подготовка итоговых схем фактических объемов полевых работ;

• Контроль корректности трансформации координат цифровых данных (первичных и интерпретированных) в ГСК-2011 в случае использования других систем координат (Пулково-1942, WGS-84) при съемке или обработке данных;

• Формирование с помощью настольного приложения платформы итогового ГИС-проекта, объединяющего геолого-информационную основу исследований, схемы объемов выполненных полевых работ, собранные в процессе исследований ретроспективные картографические материалы и полученные результирующие материалы на унифицированной картографической основе.

Благодаря функционалу ГИС INTEGRO в состав ГИС-проекта включаются не только картографические материалы (векторные или растровые), но и цифровые трехмерные модели, геолого-геофизические разрезы, данные по скважинам. Чрезвычайно важно, что все эти материалы могут быть визуализированы в двумерном и трехмерном режиме с синхронизацией по X/Y/Z. Сводный ГИС-проект позволяет наглядно визуализировать подготовленные цифровые материалы и провести контроль объемов работ и качества полученной информации, что делает его эффективным инструментом на этапе защиты результатов по каждому проекту ГРР. Как уже было отмечено выше, доступ к итоговым ГИС-проектам обеспечивается через Личный кабинет ГРР. При этом доступна возможность онлайн-визуализации всех компонентов ГИС-проекта в браузере. Такой подход позволяет удобно и быстро познакомится с составом проекта, увидеть результирующие карты, модели и разрезы, загруженные в него, выполнить предварительный анализ этого материала без затрат времени на скачивание и установку программного обеспечения.

Разработка и апробация представленной геоинформационной платформы выполнялась в процессе решения задач сопровождения региональных геологоразведочных работ на нефть и газ в 2020–2022 гг. Удобный инструментарий и расширенные возможности для работы с геолого-геофизическими данными позволили в сжатые сроки в производственном режиме выполнить все необходимые технологические этапы работ по геоинформационному сопровождению 15 проектов по сейсморазведочным, аэрогеофизическим и комплексным геолого-геофизическим работам и трех проектов по параметрическому бурению, а также обеспечить планирование и проектирование объектов следующего трехлетнего периода. По каждому из завершенных объектов ГРР подготовлены и сданы в фонды итоговые геоинформационные проекты, реализованные на базе отечественного программно-технологического обеспечения, при этом общий объем представленных в них цифровых материалов составил около 200 Гб. Интернет-публикация итоговых ГИС-проектов в составе информационных ресурсов Единого банка данных ВНИГНИ открывает отличные возможности для прямой интеграции полученных результатов ГРР в реестр ФГИС «ЕФГИ» и обеспечивает простой и удобный доступ к цифровой геологической информации, полученной за счет средств федерального бюджета, для ее использования в отраслевых работах. Подчеркнем, что все эти работы проведены на основе отечественного программно-технологического обеспечения. Таким образом, результаты апробации позволяют сделать вывод о функциональности представленной цифровой платформы и перспективности ее применения в смежных отраслевых направлениях (твердые полезные ископаемые, региональная геология и др.).

Черемисина Е. Н., Финкельштейн М. Я., Деев К. В., Большаков Е. М.
ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва

ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА INTEGRO ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В докладе представлены функциональные возможности отечественной геоинформационной системы INTEGRO, разработанной отделением Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ», используемые при решении задач изучения глубинного строения Земли, прогноза полезных ископаемых и геологического картопостроения.

Ключевые слова: геоинформационная система, прогноз, картопостроение, комплексная модель, потенциальные поля.

Программный комплекс ГИС INTEGRO создан, поддерживается и развивается коллективом сотрудников отделения Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». Этот комплекс является примером импортозамещающего геоинформационного обеспечения для решения задач недропользования. С его помощью можно визуализировать и обрабатывать геологические карты (сканированные и векторизованные), геофизические и геохимические данные, сейсмические профили и кубы, аэро- и космоснимки, скважинные и трехмерные данные. Основные аналитические возможности ГИС INTEGRO сфокусированы на решении задач геологического картопостроения, прогноза полезных ископаемых, изучения глубинного строения Земли и др. ГИС INTEGRO является полнофункциональной геоинформационной системой, однако далее мы не будем описывать его возможности в этом плане, а ограничимся рассмотрением обрабатывающих различную геолого-геофизическую информацию компонентов комплекса.

В ГИС INTEGRO имеется блок хранения визуализации и обработки скважинной информации. Изначально он предназначался для хранения и редактирования данных, их визуализации в одномерном, двухмерном и трехмерном виде и интеграции в ГИС-проекты. В настоящее время расширился функционал блока: создан модуль корреляции скважин и возможность перенесения установленных при этом границ пластов на профиль, разработан модуль, позволяющий рассчитывать необходимые статистические характеристики для скважин, а также калькулятор, позволяющий по имеющимся скважинным данным получать нужные производные характеристики.

Для обработки потенциальных полей в ГИС INTEGRO имеется исчерпывающий набор формальных процедур:

• корреляционно-спектральный анализ данных: одномерная автокорреляционная функция, двухмерная автокорреляционная функция (ДАКФ), расчет интервалов корреляции по ДАКФ, одномерные спектры, одномерные автокорреляционные функции;

• разделение на компоненты (фильтрация): фильтрация с постоянными коэффициентами (энергетическая, энтропийная, осреднение, полиномиальная, треугольная, метод вариаций), адаптивная фильтрация (осреднение в круглом окне, треугольная фильтрация в круглом окне, фильтрация поля целиком, метод главных компонент);

• обнаружение аномалий на фоне помех: обнаружение линейных аномалий, обратные вероятности, коэффициент Спирмена, самонастраивающаяся фильтрация, непараметрическая адаптивная фильтрация, построение осей линейных аномалий;

• расчет характеристик: статистик в скользящих окнах, статистик в закрепленных окнах, статистик в круглом скользящем окне, парной корреляции в скользящем окне, парной корреляции в адаптивном окне (с учетом районирования и без), аппроксимации полиномом, производных и градиентов в скользящих окнах, производных и градиентов в квадратных окнах;

• зондирование: статистическое, взаимнокорреляционное, градиентное, на основе треугольной фильтрации.

Как указывалось выше, одной из основных задач, решаемых ГИС INTEGRO, является изучение глубинного строения Земли. Для этого в системе имеется целый набор инструментов, предназначенных для построения комплексной 3-D модели территории. Предполагается, что имеется буровая, сейсмическая и гравитмагнитная информация, и модель должна соответство-

вать всем имеющимся данным. При этом предполагается, что буровая и сейсмическая изученность недостаточно подробна для построения адекватной модели, и поэтому приходится привлекать потенциальные поля.

В ГИС INTEGRO реализованы методы решения прямых и обратных задач грави- и магниторазведки для сеточных моделей. При этом усовершенствованы методы И. И. Приезжева [1], поскольку в отличие от его варианта модули системы базируются на дискретном, а не на непрерывном преобразовании Фурье (ДПФ), реализованном через так называемое быстрое преобразование. Однако модель, построенная с помощью решения обратной задачи, является лишь одной из многих из-за принципа эквивалентности и, как правило, не согласуется с другими данными. Поэтому приходится подбирать подходящую модель более аккуратно, все время проверяя с помощью решения прямой задачи, соответствует ли она наблюдаемому полю, а также согласуются ли результаты с скважинными и сейсмическими данными. Подбирается модель в классе слоистых, градиентно-слоистых, блоково-слоистых или градиентно-блоково-слоистых моделей с учетом внедрений. В ГИС INTEGRO разработан целый спектр инструментов для такого подбора, например, утилита построения слоистой модели по сейсмической информации с использованием известного рельефа одной из поверхностей раздела на основании принципа подобия. Особенно сложен вопрос определения формы внедрения. Для этого в системе присутствует так называемый монтажный метод, который стартует от геометрических примитивов (набора эллипсоидов), а затем пошагово приближает к форме внедрения, причем критерием правильности направления подбора служит уменьшение невязки между полем, рассчитанным от модели, и полем наблюдаемым. Это приближение происходит при учете утилитой набора заданных пользователем ограничений, базирующихся на сейсмической информации. Кроме того, геолог, анализируя результаты итераций, может остановиться не на последней, а на той, которая кажется ему более адекватной, или запустить процесс заново, изменив ограничения. Такой подбор удалось осуществить на настольном компьютере за разумный срок, используя видеокарту и распараллеливание вычислений. Разработанная технология комплексирования всей имеющейся информации при построении объемной модели успешно опробована на территории Енисей-Хатангского прогиба.

Другой геологической задачей, решаемой при поддержке ГИС INTEGRO, является прогнозирование полезных ископаемых. Процедуры, необходимые для этого, сведены в отдельный блок, предназначенный для тематического районирования территорий по комплексу пространственных характеристик, поиска перспективных территорий, ландшафтного дешифрирования спектрозональных изображений и других прогнозно-диагностических задач. Он включает в себя подблок анализа данных и подблок решения задач.

Уточнение данных и выбор конкретной постановки задачи проводятся в подблоке анализа данных. Здесь производится одномерный и многомерный анализ данных, их трансформация в соответствии с решаемой задачей. Подблок представляет собой реализацию комплекса широко известных статистических методов (анализ распределений, корреляционный анализ, анализ вариабельности, анализ эталонов), выстроенных в такой последовательности, чтобы пользователю было легче определить, что нужно изменить в данных или постановке задачи.

Алгоритмическим обеспечением подблока решения задач является широкий спектр традиционных и оригинальных алгоритмов таксономии, упорядочения и распознавания образов (факторный, структурный и регрессионный анализ; k-средних, таксономия по критериям, голотипная, иерархическая; дискриминантный анализ, оценка меры сходства с эталоном и др.), включающий и нейросетевые методы. Выбор алгоритма решения задачи определяется постановкой задачи, результатами анализа данных, а также расположением исходных данных в признаковом пространстве.

Завершением любой работы является создание выходных карт. В ГИС INTEGRO предоставляются расширенные возможности для подготовки и оформления цифровых моделей геологических карт, а именно:

• автоматическое создание файловой структуры комплекта Госгеокарты;

• автоматическая загрузка всех компонентов комплекта листов Госгеолкарты-1000 и 200, выполненных по стандартам НРС Роснедр;

• специальный модуль для создания рабочей легенды карты;

• формирование и редактирование индексов с использованием правил форматирования ВСЕГЕИ;

• автоматическое построение заготовок для геологических разрезов;

• использование эталонной базы знаков ВСЕГЕИ при оформлении геологических карт, использование ориентированных точечных стилей;

• автоматическая генерация всех элементов макета геолкарты с учетом рекомендаций по подготовке к изданию комплектов Госгеолкарт (масштабная линейка, стратиграфическая колонка, зональная легенда).

Важным преимуществом технологии подготовки геологической карты в ГИС INTEGRO является возможность сохранить весь комплект листа Госгеолкарты в одном ГИС-проекте. По результатам опытных работ по использованию ГИС INTEGRO в качестве программной среды бюро научно-редакционного совета Роснедр рекомендовало ее применение для практического использования при создании Госгеолкарт-200/2 и 1000/3, а также предоставления окончательных материалов к изданию в НРС Роснедр.

Таким образом, ГИС INTEGRO является в настоящее время полнофункциональной геоинформационной системой, развивающейся в направлении поддержки решения содержательных задач, встающих перед отраслью.

Список литературы:

1. Приезжев И. И. Построение распределений физических параметров среды по данным гравиразведки, магнитометрии // Геофизика. – 2005. – №3. – 46–51.

Чернышов Д. С., Уварова Е. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МЕТАДАННЫХ В ЕБГИ ФГБУ «ЦНИГРИ»

Для учета, накопления, безопасного хранения и предоставления сотрудникам ФГБУ «ЦНИГРИ» геологической информации, накопленной в институте, функционирует Единый банк геологической информации ФГБУ «ЦНИГРИ» (ЕБГИ). Одной из составляющих ЕБГИ являются реестры материалов, позволяющие осуществлять поиск, получение кратких сведений об объектах учета. Для заполнения реестров создано web-приложение, выполняющее CRUD-операции. Web-приложение существенно ускорило процесс наполнения ЕБГИ метаданными, а также позволило значительно снизить количество технических ошибок при внесении информации.

Ключевые слова: геологическая информация, метаданные, web-приложение, CRUD-операции, Django, Django-Orm, регулярные выражения.

Для учета, накопления, безопасного хранения и предоставления сотрудникам ФГБУ «ЦНИГРИ» геологической информации, накопленной в институте, функционирует Единый банк геологической информации ФГБУ «ЦНИГРИ» (ЕБГИ). Данный проект создан и развивается силами специалистов отдела ГИС ФГБУ «ЦНИГРИ».

Одной из составляющих ЕБГИ являются реестры материалов, позволяющие осуществлять поиск и получение кратких сведений об объектах учета. В реестрах разделов фондов, апробации и ГРР представлена метаинформация, содержащая директорию хранения, название объекта, авторов, год составления, инвентарные номера, полезные ископаемые, ключевые слова и др. В реестрах настроен поиск: по ключевым словам, переход на карту к местоположению объекта (объектов) и переход к материалам. Все реестры возможно скачать в формате Excel.

Специалистами отдела ГИС ФГБУ «ЦНИГРИ» для заполнения реестров было создано, успешно протестировано и запущено в эксплуатацию web-приложение по внесению реестровых данных в ЕБГИ. Данный сайт предоставляет пользователю возможность совершать так называемые CRUD-операции, а именно создание, чтение, обновление и удаление данных (рис. 1).

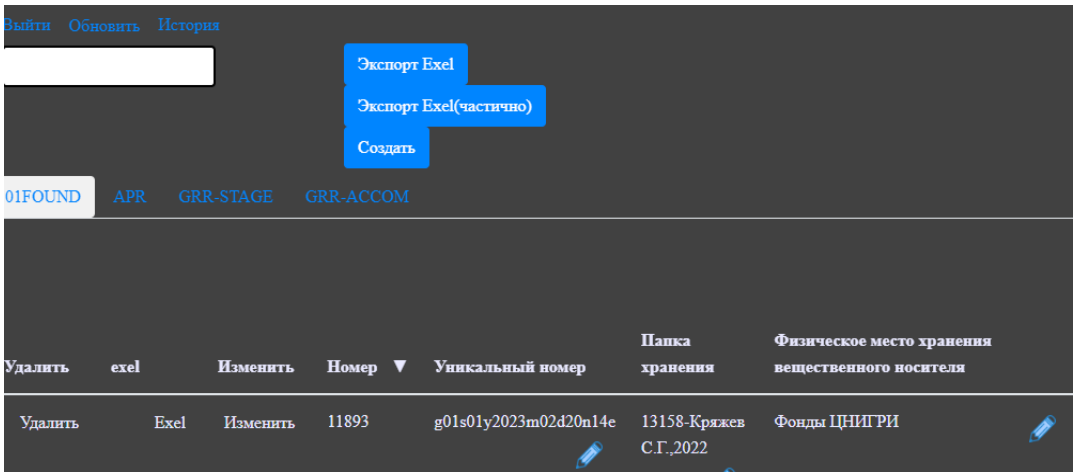


Рис. 1. Web-приложение для внесения данных в ЕБГИ ФГБУ «ЦНИГРИ»

Ранее эти данные вносились сотрудниками в таблицы Excel и затем записывались в базу данных через QGIS, что, разумеется, приводило к большому количеству ошибок, возникающих вследствие человеческого фактора. Соответственно, назрела необходимость создания приложения, которое бы минимизировало эти ошибки.

Для начала следовало определиться со стеком технологий. Выбор пал на весьма популярный фреемворк Django. Он прост в освоении и идеально подходит для написания как простых, так и сложных сайтов. Своей популярностью во многом этот замечательный фреймворк обязан Django-Orm (Object-Relational Mapping) – технологии, которая позволяет представлять элементы базы данных в виде объектов (рис. 2).

```
class UdsMetaApr(models.Model):
    oid = models.BigIntegerField(default=auto_incr_oid_apr, null = True, blank = True)
    uniq_id = UnlimitedCharField(primary_key = True)
    stor_folder = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    stor_phys = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    stor_reason = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    stor_date = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    stor_dept = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    stor_person =UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    stor_desc = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    stor_fmts = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    stor_units = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    obj_name = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    type_of_work = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
    obj_synopsis = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)#all null?
    obj_type = UnlimitedCharField( blank=True, null=True)
```

Рис. 2. Пример создания модели в базе данных

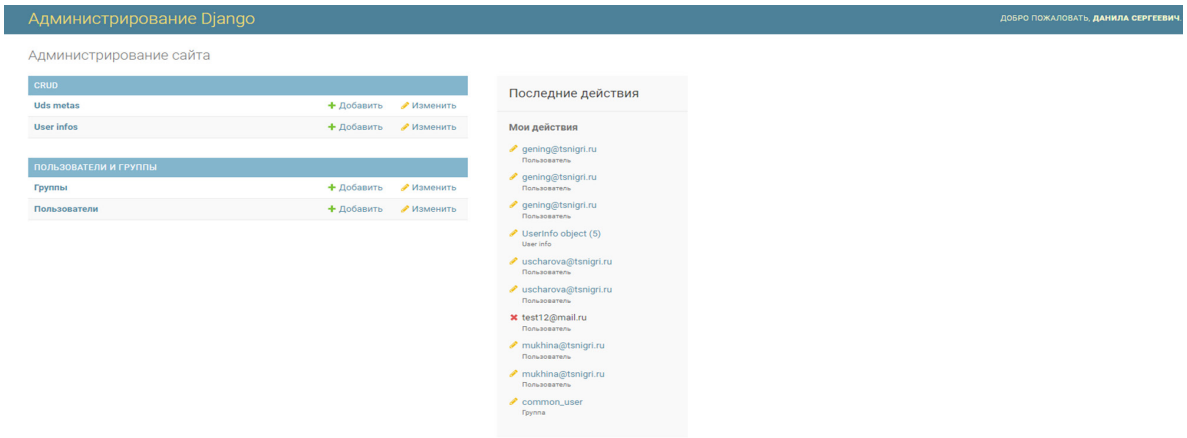


Рис. 3 Админ-панель web-приложения по внесению реестровых данных в ЕБГИ

Следующим шагом стало решение задачи сведения ошибок, совершаемых от невнимательности, к минимуму. Для начала нужно было выяснить самые частые недочеты, которые допускали операторы. К таковым можно отнести: пробелы в конце; пробелы в начале; двойные пробелы; опечатки; отсутствие единого стандарта заполнения повторяющихся значений и другие. Для этой цели были применены регулярные выражения. Регулярные выражения – формальный язык, обладающий уникальным синтаксисом, который позволяет проводить манипуляции с текстом, вычленяя или изменяя информацию в нем.

Для работы операторов в приложении была создана регистрация и аутентификация. Существуют разные уровни доступа. Для руководителей проекта разработана админ-панель, с помощью которой можно получить статистические данные о внесенной операторами информации, создавать, удалять и изменять информацию о сотрудниках, менять их уровни доступа и возможности (рис. 3).

Таким образом, web-приложение по внесению реестровых данных в ЕБГИ значительно ускорило процесс наполнения ЕБГИ, а также позволило снизить количество технических ошибок при внесении информации практически до нуля.

Чижова И. А.
ИГЕМ РАН, г. Москва

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА ВЫЯВЛЕНИЕ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ НА ОСНОВЕ ЭТАЛОННЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РУДНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГЕМ РАН.

Экспресс-оценка перспективных площадей для определения минерального типа, частей околорудного пространства, масштабности разработана на основе логико-информационного анализа геологических данных, представленных в форме параметрических моделей по месторождениям и рудным полям Рудноалтайской минерагенической зоны (колчеданно-полиметаллического и полиметаллического типов). Приведен пример ее использования в процессе изучения перспективных площадей при оценке масштаба по надрудной части объектов полиметаллического типа, образованных в сходных геологических условиях.

Ключевые слова: экспресс-оценка перспективных площадей, колчеданно-полиметаллическое оруденение, параметрические модели, логико-информационные модели, Рудный Алтай.

В процессе оценки перспективных площадей большой интерес для геолога представляет получение обоснованных заключений по ряду задач:

1) заключение об ожидаемом формационном (минеральном) типе оруденения;

2) опознание элементов рудного или околорудного пространства, к которому следует отнести объект оценки;

3) заключение о масштабе прогнозируемого оруденения.

Под экспресс-оценкой понимается решение поставленных задач с применением компьютерных технологий, реализующих математические методы анализа фактических данных, характеризующих объекты исследования, которые обеспечивают высокую степень оперативности и точность их сравнения с данными по эталонным объектам, характеризующимся разными масштабами оруденения и специфичными свойствами их минеральных типов и параметров околорудных пространств.

В качестве основного метода исследования использовался логико-информационный анализ, разработанный в ИГЕМ РАН [1, 3], который позволил сформировать логико-информационные модели (ЛИМ) и решающие правила для решения поставленных задач на основе компьютерного анализа эталонной выборки объектов исследования из базы данных, описанных в системе геологических, геофизических, минералогических, геохимических характеристик. Технология разработана на основе изучения параметрических моделей месторождений и рудных

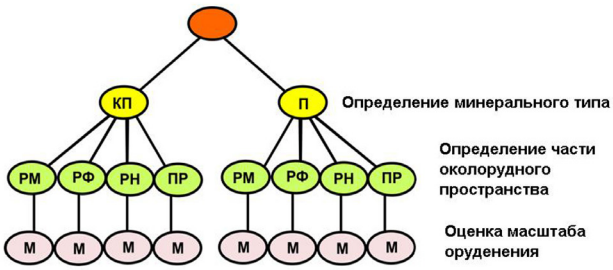


Рис. 1. Дерево решений прогнозных задач для объектов колчеданно-полиметаллического оруденения

полей Рудноалтайской минерагенической зоны [2, 4].

Для характеристики месторождений эталонные объекты были подобраны с учетом проявления различных минеральных типов (колчеданно-полиметаллический (КП) и полиметаллический (П)) и различной масштабности М (мелкие, средние, крупные). Всего в базе данных содержатся сведения по 20 месторождениям – девяти колчеданно-полиметаллическим и 11 полиметаллическим.

Параметрические модели строятся на основе расчленения объема, занимаемого конкретным месторождением, на ряд пространств: рудоносное (РМ), фланговое (РФ), над- (НР) и подрудное (ПР). Соответственно, в базе данных по эталонным месторождениям хранятся сведения, сформированные по аналогии с моделями для рудоносного, флангового, над- и подрудного пространства.

ЛИМ, определяющая масштаб оруденения по надрудной части околорудного пространства для объектов полиметаллического минерального типа

№ признака п/п	Информативные признаки	Разделяющий вес признака	Интервал-индикатор значения признака
1	Возраст отложений: эйфель 1	0,216	1
2	Возраст отложений: эйфель 2	0,064	1
3	Мощность отложений: более 500 м	-0,104	0
4	Состав пород разреза: известняки, органогенные известняки, мраморы, доломиты	-0,123	0
5	Состав пород разреза: тефроиды кислого состава, туфопесчаники	0,123	1
6	Состав пород разреза: туффиты кислого состава	0,086	1
7	Состав пород разреза: туфы кислого состава разнообломочные	-0,077	0
8	Средняя мощность слоев однородного строения: 5–10 м	-0,14	0
9	Средняя мощность слоев однородного строения: более 25 м	-0,15	0
10	Состав пород разреза: туфы, лавы и лавобрекчии среднего состава	-0,11	0
11	Формы проявления интрузивных (внедренных) образований: субпластовые тела, силлы	-0,166	0
12	Ориентировка интрузивных (внедренных) образований: субсогласная	-0,201	0
13	Объем пород горизонта, занятый интрузивными породами: более 40 %	0,054	1
14	Современные структуры: складчатые – антиклиналь, горстантиклиналь	0,064	1
15	Современные структуры: разрывные нарушения: протяженность до 1 км	-0,155	0
16	Метаморфические гидротермально-метасоматические изменения: собственно околорудные – кварц-серицитовые	0,091	1
17	Метаморфические гидротермально-метасоматические изменения: морфология собственно околорудных пород: линзообразная	0,054	1
18	Зоны проявления сульфидной минерализации: вкрапленные прожилково-вкрапленные – галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовые	-0,119	0
19	Зоны проявления сульфидной минерализации: положение по отношению к вмещающим породам – секущее	-0,174	0
20	Зоны проявления сульфидной минерализации: положение по отношению к вмещающим породам: субсогласное	0,054	1
21	Главные элементы геохимических ореолов: цинк ($n \cdot 10^{-3}$): меньше 15	-0,201	0

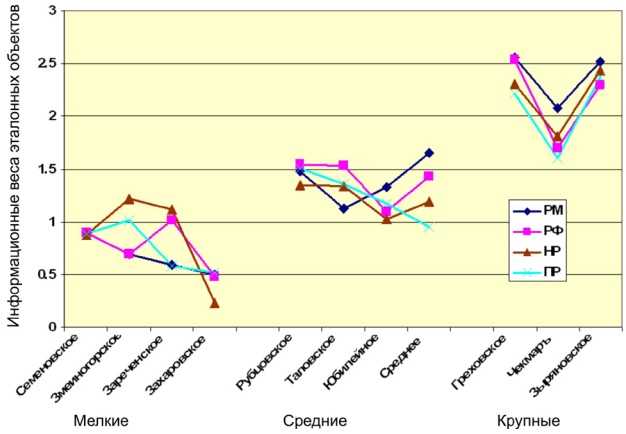


Рис. 2. График информационных весов эталонных объектов полиметаллического типа для оценки масштаба оруденения

Для описания зон геологического пространства использованы система факторов и признаков – стратиграфо-литолого-фациальных, магматических, структурных (в первую очередь, конседиментационных и синвулканических), а также показатели, характеризующие состав, морфологию, зональность и интенсивность гидротермально-метасоматических изменений; морфологию, состав и положение рудных тел в структурах месторождений и разрезах рудовме-щающих толщ; геохимические и геофизические аномалии, сопровождающие месторождения.

В структуру описания включены 263 бинарных признака (со значениями 1 и 0, означающих присутствие или отсутствие признака на объекте).

Процесс поиска решающих правил строится на принципе общности свойств, который основан на предположении, что объекты, образующие один класс (группу), обладают свойством подобия, отраженного в их характеристиках.

Логико-информационный анализ предполагает следующую последовательность действий.

Выделение информативных признаков, характерных для объектов изучаемых групп месторождений, на основе вычисления функции информативности.

Оценка разделяющих способностей информативных признаков и выделение значений интервалов-индикаторов (для отделения объектов каждой группы от объектов других групп) на основе сравнения разделяющих весов информативных признаков по их величине.

Формирование решающих правил для идентификации объектов исследования на основе вычисления значений функций принадлежности этого объекта группе (информационных весов объекта) [3] принимается решение: объект относится к той группе, для которой функция принадлежности принимает максимальное значение.

4. Проверка надежности решающих правил на основе расчета качества распознавания эталонной и контрольной выборок (по количеству правильно распознанных эталонов).

В случае разделения объектов на группы по некоторому монотонно-изменяющемуся целевому свойству (например масштабности оруденения) выделяется единая система информативных признаков, коррелирующих с изменением целевого свойства, и принятие решения проводится по величине значений соответствующей функции информативности (информационного веса, равного сумме разделяющих весов соответствующих информативных признаков) для определения принадлежности объекта к группам (объект относится к той группе, в диапазон изменения значений которой попадает вычисленное для объекта значение функции информативности).

Дерево решений прогнозных задач для объектов колчеданно-полиметаллического оруденения представлено на рисунке. Для решения каждой задачи строятся логико-информационные модели (ЛИМ).

Логико-информационная модель представляет собой набор информативных признаков с указанием их разделяющих весов и интервалов-индикаторов значений, характеризующих различающие свойства объектов анализируемых групп эталонов.

На основе оценки значимости информативных признаков проведена идентификация эталонных месторождений. Определены их тип, околорудное пространство и масштабность, проведена оценка качества распознавания. Полученные результаты позволяют использовать их в дальнейшем для экспресс-оценки потенциальных месторождений данного типа.

Для решения всех поставленных задач построено 18 ЛИМ (см. рис.).

В качестве примера приведена ЛИМ для оценки масштаба (по надрудной части полиметаллического оруденения (таблица).

Чтобы оценить объект с помощью ЛИМ, представленной в таблице, надо описать его в указанной системе информативных признаков, найти сумму разделяющих весов тех признаков, для которых значение совпадает со значением указанного интервала-индикатора, затем сравнить полученную сумму (информационный вес объекта) с информационными весами эталонов, представленных на рис. 2, определив, в интервал значений какого класса эталонов он попадает. Например, имея описание надрудной части объекта полиметаллического типа в системе информативных признаков из табл. 1 (10000011001111101110), складываются веса признаков, у которых есть совпадение со значением интервала-индикатора: 0,216 + 0,104 + 0,123 + 0,15 + 0,11 + + 0,054 + 0,064 + 0,054 + 0,054 + 0,201 = 1,13, что соответствует мелким или средним месторождениям (см. рис. 2), поскольку изменение информационных весов для мелких месторождений от 0,227 до 1,222, а для средних от 1,023 до 1,348.

Таким образом, использование систем информативных признаков с оценкой их разделя-ющих способностей (логико-информационных моделей) позволяет быстро и надежно про-вести оценку новых площадей, перспективных на выявление колчеданно-полиметаллического оруденения.

Автор благодарит к. г.-м. н. В. В. Кузнецова за предоставленный геологический материал для выполнения данной работы.

Список литературы

1. Константинов Р. М. Математические методы количественного прогноза рудоносности. – М. : Недра, 1979. – 127 с.
2. Кузнецов В. В., Чижова И. А. Опыт разработки и применения интеллектуально-графических компьютерных систем // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 26–41.
3. Чижова И. А. Логико-информационное моделирование при прогнозно-металлогеническом анализе перспективных площадей // Современные проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – С. 59–84.
4. Чижова И. А., Кузнецов В. В. Логико-информационный анализ и экспресс-оценка месторождений на базе их параметрических моделей // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2022. – № 19. – С. 392–396.

Чуйко В. А., Синкин В. А., Плюснин И. А., Калинин К. П.
ООО «Алмайнинг», г. Пермь

СЮЗЁВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ РОССЫПНЫХ АЛМАЗОВ – ПЕРВАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ РОССЫПЬ ЗОН ТЕКТОНИЧЕСКИХ УСТУПОВ (РЗТУ) УРАЛА

Сюзёвское месторождение россыпных алмазов открыто по результатам работ ООО «Алмайнинг», выполненных в 2017–2022 гг. Геологическое строение россыпи не характерно для известных (в т. ч. уже отработанных) уральских россыпей. Месторождение находится в верхней части палеодолины р. Сюзь на границе тектонических структур I порядка – Центрально-Уральского поднятия и Западно-Уральской зоны складчатости. Общая доказанная протяженность полосы алмазоносных отложений составляет не менее 3000 м. К особенностям геологического строения россыпи относятся: наличие двух совмещенных в плане алмазоносных пластов, большая мощность продуктивной толщи, тектонический контроль месторождения. Результаты изучения Сюзёвского месторождения россыпных алмазов позволяют отнести его к россыпям зон тектонических уступов (РЗТУ). Геологическое строение россыпи можно сопоставить с оловянными месторождениями типа РЗТУ в арктической зоне Российской Федерации. Россыпь алмазов данного типа открыта впервые.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, Сюзёвское месторождение, тектонические уступы, поиски, депрессия.

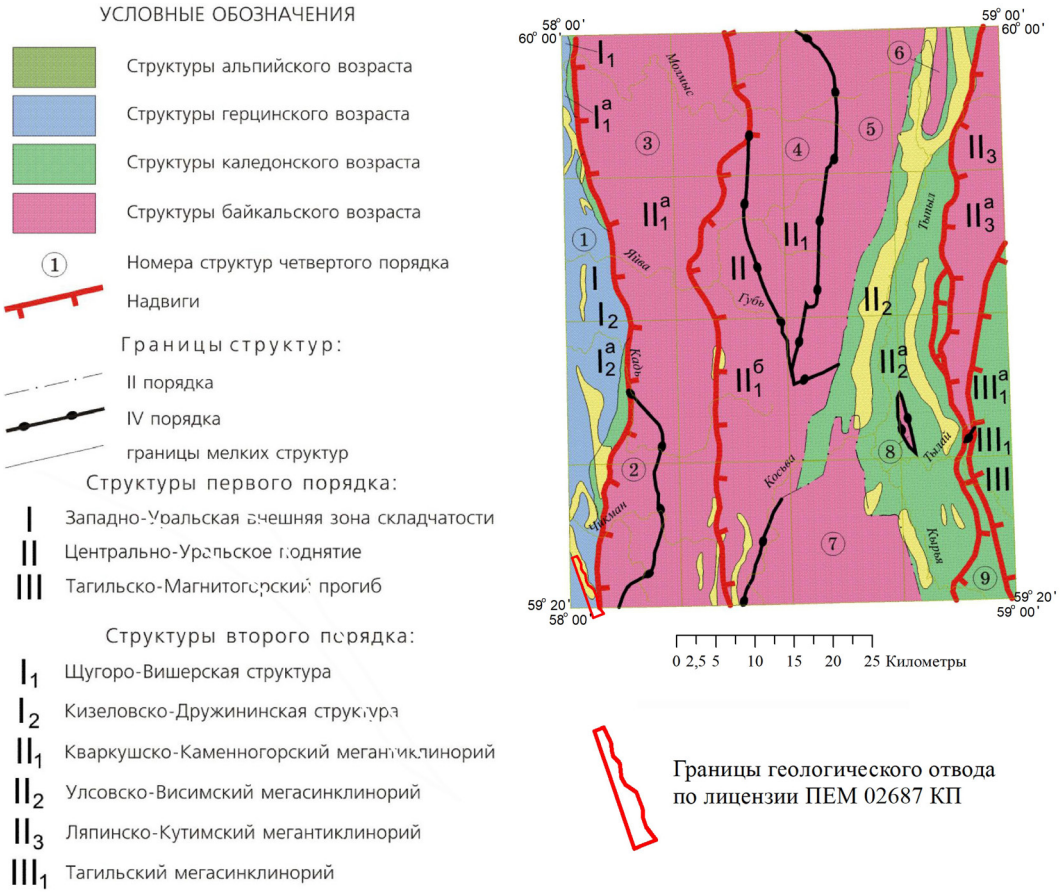


Рис. 1. Тектоническая схема (Коротков И. В., 2004 г.)

Поиски россыпей алмазов в бассейне р. Яйва были начаты в 1953 г. В 1953–1957 гг. поисковыми работами партии № 72 Владимирской экспедиции была установлена алмазоносность аллювиальных отложений р. Яйва и ее притоков (реки Ульвич, Чикман, Сюзь и Кадь). В последующие годы поисковые и разведочные работы проводились по всей территории Пермского края, однако после открытия богатых россыпей Вишерского алмазоносного района работы в бассейне р. Яйва были практически свернуты. В начале XXI века также были отдельные попытки поисковых работ, но из-за невозможности проведения крупнообъемного опробования на глубинах 40–50 и более метров поиски успеха не имели – наиболее перспективные глубокозалегающие алмазоносные россыпи остались не изучены.

Сюзёвское месторождение россыпных алмазов выявлено по результатам работ, выполненных ООО «Алмайнинг» в 2017–2022 гг. Для вскрытия и опробования глубокозалегающей (более 50 м от дневной поверхности) россыпи алмазов специалистами ООО «Алмайнинг» и АО «Нью Граунд» (г. Пермь) была разработана и внедрена новая технология ведения горных работ – проходка грейферных шурфов.

В тектоническом отношении Сюзёвское месторождение россыпных алмазов находится в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости (структура 1-го порядка), Кизеловско-Дружининской структуры, Кизеловского синклинория, Яйвинско-Кадьинской синклинали. У юго-восточного угла лицензионной площади проходит крупное тектоническое нарушение (Язьвинско-Кадинский надвиг), которое является тектонической границей структур 1-го порядка – Западно-Уральской внешней зоны складчатости и Центрально-Уральского поднятия. Таким образом, россыпь находится непосредственно на границе двух крупных тектонических структур Урала (рис. 1).

Чикман-Нярская эрозионно-карстовая депрессия в пределах лицензионного участка заложена на контакте силикатных пород нижнего-среднего девона и карбонатов позднего девона-карбона. Ложе депрессии осложнено несколькими тектоническими нарушениями. Непосредственно вдоль тальвега депрессии в пределах лицензионного участка и далее в северо-западном

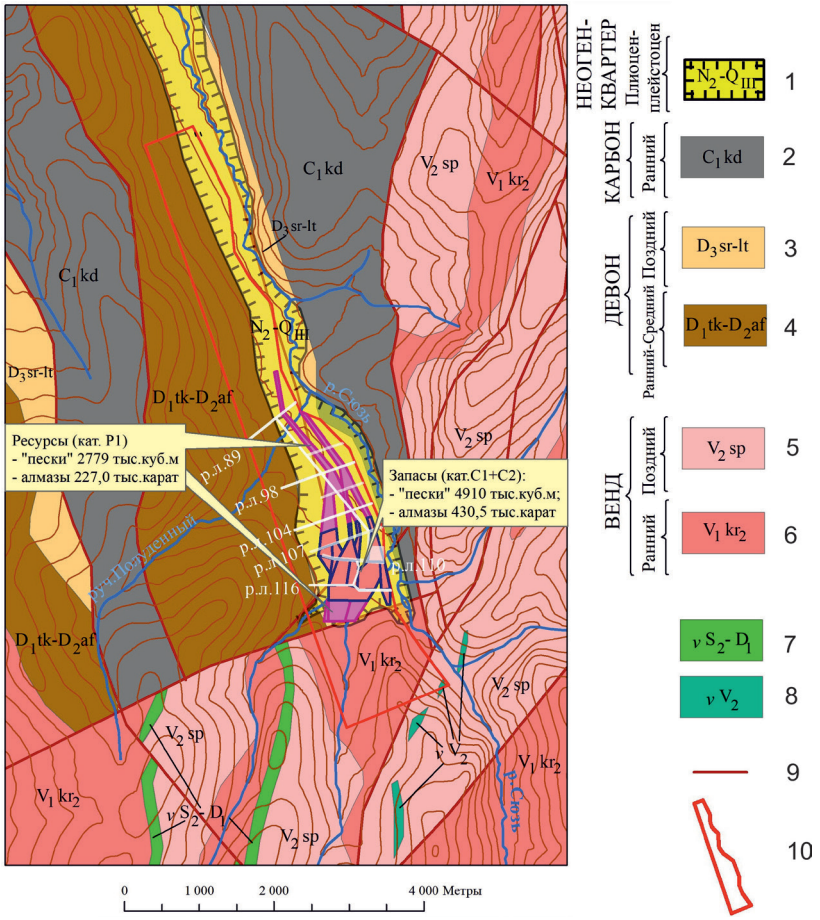


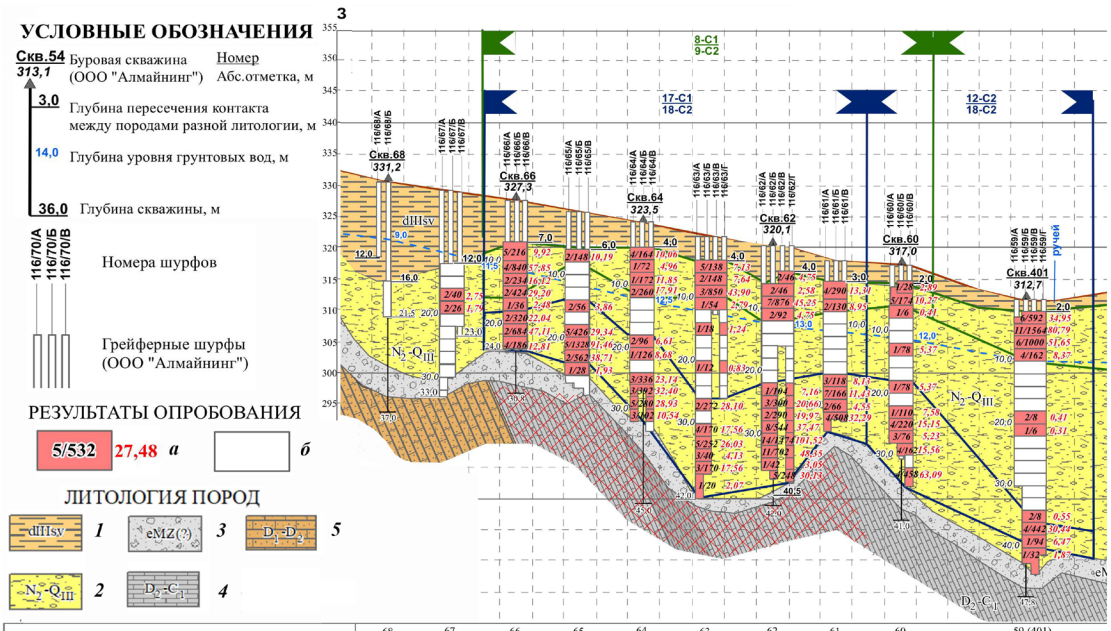
Рис. 2. Геологическая карта Сюзёвского месторождения россыпных алмазов:
1 – песчано-гравийные, гравийно-песчаные слабоглинистые отложения желто-коричневого цвета с галькой и валунами песчаников кварцевых (отложения Чикман-Нярской депрессии, нерасчлененные); 2 – алевролиты, аргиллиты, известняки, песчаники с прослоями кремней (кадьинская толща); 3 – известняки с прослоями доломитов (саргаевская, доманиковая, золотихинская, губахинская и лытвинская свиты объединенные); 4 – известняки, известняки глинистые с прослоями аргиллитов и доломитов, в основании – песчаники с прослоями гравелитов (такатинская, вязовская, койвенская, бийская, афонинская свиты нерасчлененные); 5 – алевролиты, аргиллиты, песчаники полевошпат-кварцевые, в основании – конгломераты (старопечнинская свита); 6 – пестроцветные глинистые сланцы с прослоями полевошпат-кварцевых песчаников, полимиктовые песчано-глинистые конгломераты (верхнекерносская подсвита); 7 – дайки, реже штоки и силлы габбродиабазов и диабазов; 8 – штоки и линзовидные тела зеленокаменных диабазов; 9 – тектонические нарушения; 10 – границы лицензионного участка

направлении предполагается наличие нарушения, перекрытого рыхлыми отложениями депрессии. Основной разлом, обусловивший формирование россыпи, имеет восточно-северо-восточное направление, разделяет допалеозойский и палеозойский комплекс пород и ограничивает с юга палеодолину р. Сюзь (рис. 2).

В разрезе Чикман-Нярской эрозионно-карстовой депрессии выделяются три крупных литологических горизонта (сверху вниз):

1. Покровные глины и суглинки коричневые, с щебнем и валунами коренных пород (в основном кварцевых песчаников), неалмазоносны, составляют «торфа» россыпи. Мощность горизонта убывает от западного борта палеодолины (до 20–27 м) на восток (1–2 м);

2. Песчано-гравийные, гравийно-песчаные отложения желто-коричневого, красновато-коричневого цвета, в основном слабоглинистые с галькой и гравием кварцевых песчаников, с прослоями существенно песчаных, реже глинистых отложений, алмазоносны в верхней и нижней частях (выделяется «верхний пласт» и «нижний пласт»), средняя часть убогоалмазоносна или неалмазоносна вовсе. Максимальные мощности горизонта (до 60 м) приурочены к осевой части



Горные выработки	68 АБ	67 АБВ	66 АБВ	65 АБВ	64 АБВ	63 АБВГ	62 АБВГ	61 АБВ	60 АБВ	59 (401) АБВГ
Расстояние между выработками, м		40	40	40	40	40	40	40	80	80
Абс. отметки устья выработок, м	331,2	329,3	327,3	325,4	323,5	321,8	320,1	317,4	317,0	312,7
Абс. отметки плотика, м	301,2	299,3	303,3	299,4	291,5	279,8	279,6	290,1	282,0	268,7
Глубина выработок, м	12,0 / 21,5	33,0 / 30,0	23,0 / 24,0	24,0 / 24,0	27,2 / 28,0	29,0 / 32,0	27,0 / 33,5	42,0 / 18,0	12,5 / 26,0	35,7 / 37,4	16,0 / 38,0	27,3 / 25,4	25,8 / 28,3 / 31,0	35,0	30,0 / 42,3	44,0 / 41,0
Мощность "торфов" (верхний/нижний пласт), м	16,0/ -	16,0/ -	7,0/2,0	6,0/6,0	4,0/6,0	4,0/14,0	4,0/10,0	3,0/10,0	2,0/12,0	2,0/26,0
Мощность "песков" (верхний/нижний пласт), м	- / -	4,0/ -	9,0/6,0	2,0/10,0	8,0/14,0	6,0/12,0	8,0/16,0	5,0/9,3	4,0/17,0	8,0/4,0
Объем проб в пл.теле (верхний/нижний пласт), м^3	- / -	29,04/ -	65,34/43,56	14,52/72,60	58,08/89,54	58,08/67,76	67,76/109,14	36,30/59,29	26,62/97,53	75,02/29,04
Количество алмазов (верхний/нижний пласт), шт	- / -	4/ -	13/8	2/14	8/17	10/18	12/45	6/16	6/17	27/5
Суммарная масса алмазов (верхний/нижний пласт), мг	- / -	66/ -	1714/1190	148/2372	650/1332	1136/924	1064/3704	420/858	202/1104	3318/536
Вертикальный запас (верхний/нижний пласт), мг/м^2	- / -	9/ -	236/164	20/327	90/208	117/218	126/543	58/135	90/192	354/74
Ср.содержание алмазов (верхний/нижний пласт), мг/м^3	- / -	2,27/ -	26,23/27,32	10,19/32,67	11,19/14,88	19,56/13,64	15,70/33,94	11,57/14,47	7,59/11,32	44,23/18,46

Рис. 3. Геологический разрез по линии 116 (фрагмент):
а – количество алмазов в пробе / суммарная масса в мг / содержание в мг/м^3; *б* – пробы без алмазов; *1* – делювиальные отложения: глины, суглинки покровные с редким щебнем и валунами песчаников; *2* – плиоцен-позднеплейстоценовые аллювиальные, аллювиально-делювиальные, делювиальные отложения нерасчленённые: песчано-гравийно-глинистые отложения с галькой и валунами песчаников кварцевых (продуктивные алмазоносные отложения палеодепрессии); *3* – элювий (кора выветривания): глинисто-щебенистые отложения с валунами коренных пород; *4* – известняки серые до темно-серых, тонкозернистые, закарстованные; *5* – кварцевые песчаники мелкозернистые, среднезернистые, с прослоями алевролитов, аргиллитов, в основании – прослои гравелитов

депрессии и на флангах уменьшаются до 20–30 м вплоть до полного выклинивания у западного борта на контакте карбонатного плотика с песчаниками ранне-среднедевонского возраста;

3. Коренные породы ложа депрессии представлены на большей части площади серыми, темно-серыми, закарстованными известняками, кварцевыми песчаниками (только вдоль западного борта депрессии). Сверху над карбонатными породами развит элювий (0,5–4 м), представленный глинами темно-серыми до черных с щебнем и валунами подстилающих карбонатов. Породы составляют плотик россыпи (рис. 3).

Запасы (кат. C_1 и C_2) оцененного участка Сюзёвского месторождения россыпных алмазов утверждены Протоколом ГКЗ Роснедра № 7139 от 18.11.2022 (табл.) и пока ограничиваются площадью между р. л. 107–116.

Табл. Запасы Сюзёвского месторождения россыпных алмазов

Категория запасов	Запасы песков, тыс. м^3	Среднее содержание алмазов		Запасы алмазов, тыс. карат
		мг/м^3	карат/м^3	
Балансовые запасы				
C_1	1510	14,98	0,07	113,1
C_2	3400	18,67	0,09	317,4
$C_1 + C_2$	4910	17,54	0,09	430,5
Забалансовые запасы				
C_2	20	8,12	0,04	0,8

Размер участка россыпи, на которой выполнен подсчет запасов, составляет примерно 1000 × 750 м. Россыпь пока не оконтурена вверх (выше р. л. 116) и вниз по долине (ниже р. л. 107). Общая доказанная протяженность полосы алмазоносных отложений составляет не менее 3000 м. В разрезе выделяются два пласта: верхний и нижний. Мощность верхнего пласта закономерно увеличивается от р. л. 107 (2 м) к р. л. 116 (до 10–12 м). Мощность нижнего пласта также увеличивается от р. л. 107 (2–4 м) к р. л. 116 (до 16–17 м). Такое распределение алмазоносности в разрезе не имеет аналогов среди известных россыпей Урала и может свидетельствовать о близком (до 1 км) нахождении источника питания россыпи.

Качество алмазов в россыпи высокое, более 90 % алмазов относится к ювелирным. Средняя масса кристаллов в контуре подсчета запасов – 87 мг, за контурами – 29 мг. Ведущими классами по массе являются классы -8+4 и -4+2 мм, составляющие в сумме 72,3 % по количеству и 93,9 % по массе. Средняя масса ведущих классов составила 99,9 мг. Среди алмазов преобладают додекаэдроиды (66,9 %). Среди кристаллов хорошей сохранности полные кристаллы составляют 63,7 %, обломки кристаллов –16,3 %, осколки – 12,9 %. По цвету среди алмазов преобладают (77,3 %) бесцветные разности. Средняя стоимость одного карата (по результатам оценки ЕСО «АЛРОСА) – 361,59 USD.

Сюзёвское месторождение россыпных алмазов – первая на Урале россыпь, которая относится к типу россыпей зон тектонических уступов (РЗТУ). Касситеритовые РЗТУ известны в арктической зоне Российской Федерации. По запасам это крупные и уникальные месторождения [1]. Особенности, которые позволяют отнести новую россыпь к типу РЗТУ:

- структурно-тектонический контроль (россыпь находится на границе тектонических структур 1-го порядка);
- возраст формирования пород продуктивной толщи (олигоцен–плейстоцен);
- наличие нескольких (минимум двух) продуктивных пластов;
- значительная (до 14–16 м) мощность алмазоносных пластов;

Кроме указанных выше особенностей отмечаем тот факт, что алмаз и касситерит имеют близкие значения константы гипергенной устойчивости (1,54 и 1,65 соответственно) [2], а значит, и характеризуются схожим поведением в процессе россыпеобразования.

Открытие Сюзёвского месторождения россыпных алмазов значительно увеличивает перспективы алмазоносных россыпей Урала. Необходимо продолжить изучение россыпи, в том числе на предмет установления её источника питания. Сюзёвское месторождение россыпных алмазов – это эталонный объект, изучение которого позволит открыть аналогичные россыпи на Урале и в других алмазоносных провинциях России и мира.

Список литературы:

1. Патык-Кара Н. Г., Беневольский Б. И., Быховский Л. З. [и др.]. Россыпные месторождения России и других стран СНГ / РАН, ИГЕМ. – М. : Научный мир, 1997.
2. Шило Н. А. Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Дальнаука, 2002.

Чумаков А. В.[1, 2], Аликин О. В.[1], Рудашевский В. Н.[1], Богданов Г. В.[1, 2]
[1] ООО «ЦНТ Инструментс», г. Санкт-Петербург;
[2] Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

МЕТОД ГИДРОСЕПАРАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБ, СОДЕРЖАЩИХ ЗОЛОТО

В настоящей работе приводится опыт применения метода гидросепарации в лабораторных условиях. Рассмотрен результат, полученный на трех разных геологических объектах, которые содержат золото.

Ключевые слова: самородное золото, сульфиды, гидросепарациця, метод гидросепарации, обогащение, самородное золото, благородные металлы.

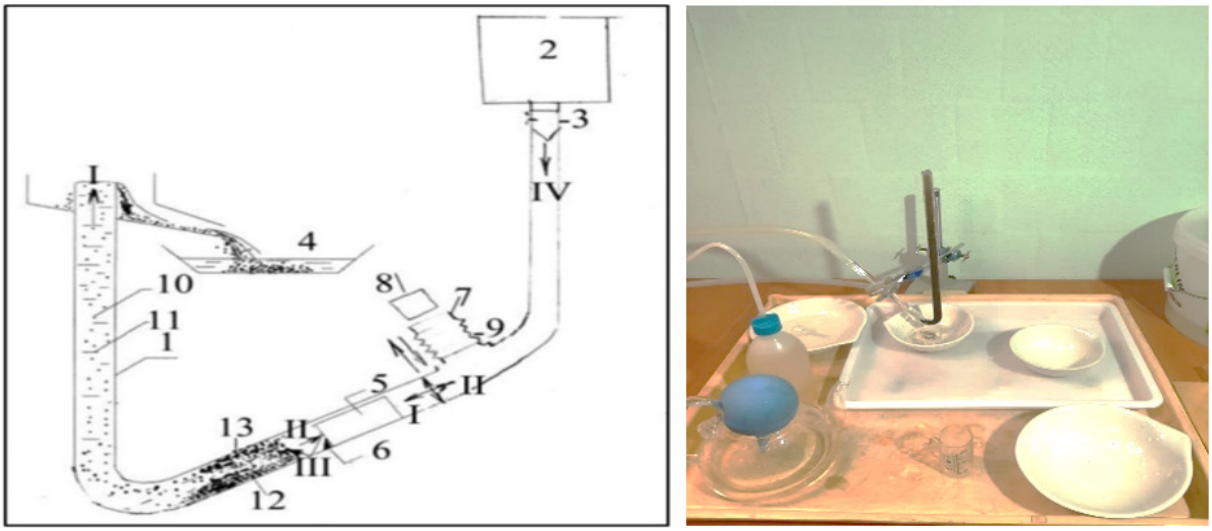


Рис. 1. Принцип работы гидросепаратора CNT HS-11

Общеизвестно, что даже разные по генезису руды, содержащие благородные металлы, имеют несколько объединяющих их признаков [4]: низкие концентрации «рудных» минералов; часто малые размеры (<1 мм) зерен «полезных» минералов; высокие значения плотности минералов золота и других благородных металлов (6–20 г/см^3); часто интенсивные более поздние изменения руд и вмещающих их пород. Вышеизложенное обуславливает необходимость интенсивного обогащения исследуемых материалов по самым разным технологическим сценариям.

Одним из наиболее эффективных способов обогащения твердых полезных ископаемых в лабораторных условиях является метод гидросепарации [2, 3], лежащий в основе универсальной технологии минералого-геохимических исследований [5].

Метод гидросепарации (рис. 1) осуществляет разделение материалов с разной плотностью в пульсирующем водном потоке. Конкуренция масс частиц, захваченных восходящим слабым ламинарным потоком, приводит к осаждению тяжелых частиц на дне разделительной трубки и способствует удалению легкой фракции.

Предварительная классификация материала по размерам зерен – все зерна в пределах одной фракции имеют близкие размеры – обеспечивает при гидросепарации реальное разделение образца по плотности минеральных фаз, а не по весу частиц, как это имеет место практически во всех гравитационных приборах и технологиях. Обогащение измельченных материалов методом гидросепарации позволяет получить «тяжелый» концентрат (HS-концентрат), обеспечивающий статистически представительную информацию о «тяжелых» минералах для всего объема образца в интервале крупности частиц в пределах 0,010–0,5 мм.

В зависимости от массы исходной пробы материал разделялся через разные колонки сит. При помощи гидросепаратора CNT HS-11 (см. рис. 1) в каждом классе крупности получаются несколько технологических продуктов: 1) «лёгкие» хвосты (T_1) гидросепарации путем предварительного удаления лёгких минералов на длинной трубке LGST; 2) промежуточные хвосты (T_2) гидросепарации путем сокращения материала на длинной трубке LGST; 3) предварительные (PC) и «тяжёлые» (FC) HS-концентраты путем доводки на короткой трубке SGST. На финальной стадии разделения получается концентрат, представляющий собой репрезентативную выборку индивидуальных частиц тяжелых минералов, сепарированных по гидравлической крупности. Таким образом, распределение минеральных видов в выборке характеризует их распределение во всей пробе.

Данный метод применялся авторами при исследовании многих геологических объектов, ниже приведены несколько примеров.

Золото-полиметаллическое месторождение. Изучен минеральный состав четырех технологических проб колчеданного умеренносульфидного типа обогащенного золотом и серебром месторождения (Забайкальский край).

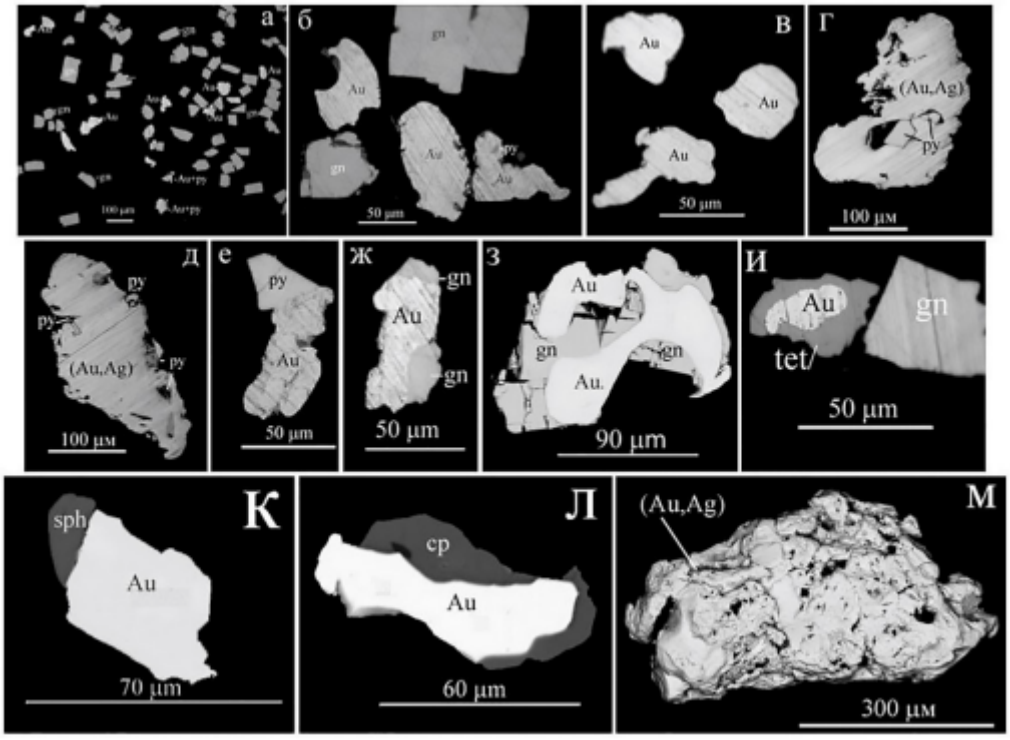


Рис. 2. Зерна самородного золота HS-концентратов различной крупности:
а–ж, и – микрофото в отраженном свете; з, к–м – BSE-фото; а–в – свободные зерна самородного золота; г–е – сростки с пиритом; ж, з – сростки с галенитом; и–л – сростки с тетраэдритом (и), сфалеритом (к) и халькопиритом (л); м – крупное объемное зерно самородного золота (фракция 200–500 мкм); Au, (Au, Ag) – золото самородное; gn – галенит, py – пирит, ср – халькопирит, sph – сфалерит, tet –тетраэдрит

Зерна самородного золота обнаружены в полированных шлифах «тяжелых» концентратов всех изученных технологических продуктов. Гравитационный Pb-концентрат является специальным накопителем наиболее «тяжелых» минералов руды, в первую очередь, рассеянного самородного золота и галенита. В «тяжелых» HS-продуктах здесь самородное золото сконцентрировано в ~700 раз, а галенит, по крайней мере, в 4 раза по отношению к первичному технологическому Pb-концентрату [1].

В полированных шлифах «тяжелых» HS-концентратов наблюдались более тысячи зерен самородного золота, максимальное их число во фракции – 45 мкм гравитационного продукта.

Самородное золото тесно ассоциирует с сульфидами; наиболее многочисленны зерна-сростки его с пиритом, более редкие – с галенитом, иногда со сфалеритом, халькопиритом и с тетраэдритом (рис. 2); установлены также немногочисленные сростки золота с доломитом и кварцем. Отметим также редкие «закрытые» включения самородного золота в зернах галенита и тетраэдрита.

Перспективная золоторудная площадь. Исследованы две композитные пробы золотосодержащих железных руд: первичные сульфидные руды и окисленные руды. С учетом минерального состава и структурно-текстурных особенностей, крупнокусковой материал первичных руд (половинки керна 72 мм) измельчался в щековой дробилке с короткой экспозицией (кратковременными циклами) до класса 100 % <20 мм с целью и минимизации переизмельчения. Проба окисленных руд представлена рыхлым материалом и дополнительному дроблению не подвергалась. В ходе пробоподготовки после измельчения на шаровой мельнице материал каждой пробы разделялся методом ручного мокрого рассева на 11 размерных классов, диапазоны которых соответствуют границам рудоподготовительных операций для различных технологических сценариев.

На начальных стадиях гидросепарации удалялись легкие минералы жильных и вмещающих пород (кварц, гидрослюды, полевые шпаты и карбонаты), а также их сростки с минера-

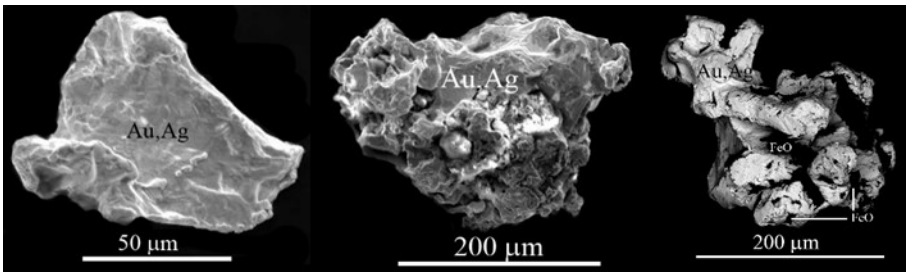


Рис. 3. Самородное золото Каштауской площади (окисленная руда):
(Au, Ag) – серебристое золото, FeO – железистые пленки

лами. В тяжелых HS-концентратах первичных руд концентрировались в основном сульфиды (пирротин, пирит, арсенопирит и др.) и самородное золото, а для HS-концентратов окисленных руд характерны преобладающие оксиды железа (магнетит, гётит и гематит) [6].

Во всех изученных технологических продуктах гидросепарации авторами установлены формы нахождения золота (рис. 3). Главным минералом золота в двух изученных пробах является серебристое золото, с широкими вариациями содержаний серебра и бимодальным характером распределения по крупности.

Шлиховые пробы. В рамках поисковых работ на золото изучалась 51 шлиховая проба – «чёрные» шлихи различной степени промывки, отобранные на обширной территории к востоку от Мурунского массива. Основная задача состояла в обнаружении зёрен самородного золота и минералов-индикаторов. В результате выполненных работ получена информация о минеральном составе продуктов гидросепарации шлиховых проб, диагностированы и задокументированы единичные зёрна самородного золота.

Состав «легких» фракций представлен в основном кварцем и полевыми шпатами, также диагностированы редкие кристаллы слюд. Состав фракций «средней» плотности (T_2) достаточно выдержан и представлен амфиболами (преимущественно роговой обманкой), минералами групп эпидота-цоизита, гранатов, оливином и диопсидом. Состав «тяжелых» фракций (FC и PC) всех проб довольно однообразен. В незначительно отличающихся соотношениях тяжёлые минералы представлены преобладающими магнетитом и гетитом, а также ильменитом и гематитом. В единичных случаях встречены зёрна-сростки пирита, сфалерита, галенита и халькопирита с нерудными минералами, а также свободные зёрна самородного золота, рутила/анатаза и титанита.

Самородное золото (рис. 4) представлено в виде уплощенных, в редких случаях субизометричных, пластинчатых зерен. Стоит отметить, что семь из восьми знаков самородного золота обнаружены в классах крупности <0,1 мм. Один знак диагностирован в классе -0,315+0,1 мм [7]. Зерна имеют характерный для золота желтый цвет, степень окатанности весьма различна: от почти угловатых до хорошо окатанных зерен.

Полученные результаты показали принципиальную возможность использования метода гидросепарации в поисковой минералогии на примере поиска зерен золота и минералов-спутников. В отличие от методик с применением тяжелых жидкостей и концентрационных столов,

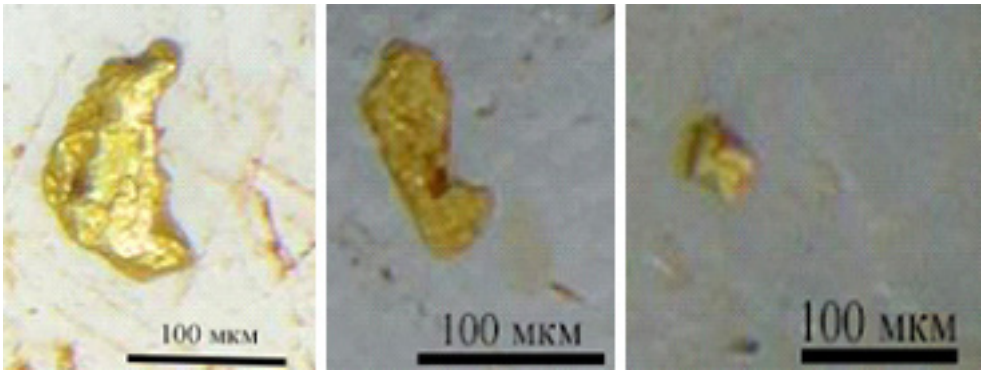


Рис. 4. Микрофотографии зерен самородного золота из HS-концентратов шлиховых проб

метод гидросепарации более чувствителен к зернам размером <0,1 мм, не токсичен и не загрязняет пробы избыточными минералами, в отличие от тяжелых жидкостей, при использовании которых зерна с одинаковой плотностью равномерно распределяются по всему объему.

Таким образом, метод гидросепарации – универсальный способ для выделения «тяжелых» фракций, поиска и диагностики частиц золота и других минералов благородных металлов.

Список литературы:

1. Аликин О. В., Рудашевский Н. С., Антонов А. В., Рудашевский В. Н., Заболоцкий А. И. Самородное золото Новоширокинского полиметаллического месторождения (Забайкалье) // Новое в познании процессов рудообразования. Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. – М. : ИГЕМ РАН, 2018. – С. 41–44.
2. Рудашевский Н. С., Рудашевский В. Н. Гидравлический классификатор. Патент на изобретение № 2281808. Российская Федерация. – 2006.
3. Рудашевский Н. С., Рудашевский В. Н. Гидравлический классификатор. Патент на изобретение № 69418, полезная модель. Российская Федерация. – 2007.
4. Рудашевский В.Н., Рудашевский Н.С. Минералогия золота // Записки ВМО. – 2017 – Вып. 1 – С. 125–147.
5. Рудашевский Н. С., Рудашевский В. Н., Антонов А. В. Универсальная минералогическая технология исследования пород, руд и технологических продуктов // Региональная геология и металлогения. – 2018. – №73. – С. 88–102.
6. Чумаков А. В., Аликин О. В., Богданов Г. В. Формы нахождения золота на уч. Шор-Шалбан Южный (Каштауская рудоносная площадь, Кемеровская область) // Новое в познании процессов рудообразования: сб. науч. статей ИГЕМ РАН. – М. : ИГЕМ РАН, 2021. – 371 с.
7. Чумаков А. В., Аликин О. В., Сенюшкин Н. Р., Мизиряк Д. Г., Марченко А. Г. Метод гидросепарации для поисковой минералогии на примере исследования шлиховых проб Мурунской площади (Республика Саха) // Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче: сб. тезисов докладов II Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ. – М.: ЦНИГРИ, 2021. – 166 с.

Шамшиев О. Ш.[1], Маралбаев А. О.[2]

[1] ИГ НАН КР, г. Бишкек; [2] КГТУ, г. Бишкек

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОСТЬ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ

В пределах сурьмяно-ртутных и угольных объектов выявлены золоторудные проявления, ранее считавшиеся карлинским типом. Выявлены предпосылки обнаружения элементов платиновой группы в мезозойских формациях.

Ключевые слова: формация, минералы, угленосные, угольные месторождения, структурно-вещественные комплексы.

Исследуемый район в геологической литературе был известен как сурьмяно-ртутный пояс. Результаты исследований конца прошлого столетия показали здесь широкое развитие благороднометалльных руд, которые встречаются в виде самостоятельных золоторудных и золото-комплексных месторождений. Собственно золоторудные проявления приурочены к структурно-вещественным комплексам палеозоя. Золото-комплексное оруденение представлено золото-сурмяными, золото-ртутными проявлениями и приурочено к зонам распространения сурьмяно-ртутного пояса и его кулисам, полям. Здесь в последнее время выявлены собственно золоторудные (Шамбетсай, Обдиля) проявления, которые мало изучены. Некоторые факты (рудовмещающие породы, минералоносные и т.д.) по данным объектам свидетельствуют об их отношении к нетрадиционным типам. К аналогичным типам относятся золоторудные проявления, обнаруженные в пределах распространения углей и угленосных отложений нерасчлененного юрского воз-

раста (Арал, Ходжакелен) Туркестано-Алайского сектора Южного Тянь-Шаня. Потенциально благороднометаллоносные углеродистые формации палеозоя вызывают интерес с нанотехнологической позиции. Особенно в тех регионах, в которых оруденение не обнаружено в агрегатном состоянии (металлоорганические формы). Необходимо отметить платиноносность исследуемого региона. Специальных исследований на предмет платиноносности не проводилось. При этом при попутных исследованиях рудоносности мафит-ультрамафитовой раннемезозойской формации Гаумышского структурно-вещественного комплекса в приосевых частях Туркестано-Алая были обнаружены повышенные концентрации платиноидов. Проводя аналогии рудоносности с щелочно-ультрабазитовой формацией Казахстана (Кокчетав), здесь можно предполагать возможную платиноносность. К перспективным по платиноносности относятся ультраосновные интрузии перидотит(норит)-габбро-пироксенитовой формации Сарыталинской и Канской полосы Южно-Ферганского пояса. С учетом вышесказанного необходима постановка научно-исследовательских работ по типизации благороднометалльных руд в южном Тянь-Шане.

Шарахмедов Х. Н., Кувондиков И. Ш., Беркинов Н. А.
Университет геологических наук ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент

К ВОПРОСУ О ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМАХ

В работе рассмотрены некоторые аспекты геологии региона. Показана роль геологических образований и структур в формировании и размещении эндогенного оруденения. Дана характеристика развития геофизических аномалий и показано их взаимоотношение с проявлениями эндогенного оруденения.

Ключевые слова: месторождения, геофизические аномалии, рудоконтролирующие структуры, интервал золоторудной формации.

В Центральных Кызылкумах в различные годы в широком диапазоне были проведены как на региональном, так и на локальном уровне геофизические исследования (И. А. Фузайлов, Ю. С. Савчук, С. О. Борисов, О. Мордвинцев, А. А. Хорсов, Б. Черновский и многие др.), направленные на изучение глубинного геологического строения и оценку перспективности региона на золото, благородные металлы и редкоземельные элементы. Исходя из поставленной перед исследователями геологической задачи моделировались геофизические поля на различных уровнях. В этом аспекте наибольший интерес представляет петрофизическая модель О. Мордвинцева, который при составлении глубинной модели Центральных Кызылкумов (геоблок) помимо геофизических данных привлек результаты петрофизических исследований. Основу модели составляли отдельные профили, которые отражают петрофизические особенности геологических образований и взаимосвязь с геофизическими особенностями Центрально-Кызылкумского участка земной коры. Были установлены локальные изменения петрофизических свойств пород, как по глубине, так и по латерали. При этом выявленные аномальные изменения петрофизических параметров пород соответствуют площадям, где проявлена золоторудная минерализация.

Представляет интерес геофизическая модель глубинного строения Центральных Кызылкумов, предложенная Ю. С. Савчуком. По его представлениям, на глубине 8–15 км существует ряд гранитоидных массивов. Как показывают результаты дальнейших геофизических исследований, эти магматические тела имеют столбообразную морфологию и их внедрение контролировалось глубинными разрывными нарушениями [2].

В целях определения перспектив региона с выделением перспективных площадей в последние годы успешно применяется метод статистической металлогении, разработанный академиком РУз Ф. А. Усмановым. При этом широко используются геофизические материалы по гравиметрии и магниторазведке. Успех статистически-металлогенических исследований зависит

от выбора значения гравимагнитного поля, характеризующего позицию исследуемого рудного района, рудного поля и отдельно взятого месторождения в геофизических аномалиях. В этой связи при выделении гравимагнитных аномалий, соответствующих рудным объектам, исходные данные обрабатывают с помощью сглаживающих фильтров с целью исключения влияния на геофизические данные локального уровня геофизической аномалии регионального характера. В настоящее время по результатам комплексной обработки геолого-геофизических данных на территории Центральных Кызылкумов, Нуратинского и Чаткало-Кураминских регионов выделен ряд перспективных участков [3].

По данным геофизических исследований Б. Б. Тальвирского (1982), И. А. Фузайлова и др., гравитационное поле Центральных Кызылкумов и Нуратинского региона характеризуется наличием крупных максимумов силы тяжести, ограниченных гравитационными ступенями. Максимумы силы тяжести хорошо сопоставляются с одноименными выступами фундамента, а минимумы – с прогибами. Доминирует влияние рельефа поверхности. Гравитационные влияния чехла не привели в ряде районов к сглаживанию аномалий и фундамента. Минимум силы тяжести протягивается от северной части гор Тамдытау в юго-восточном направлении до выступа Джадыр. Он соответствует области распространения основных эффузивов широкого возрастного диапазона (средний кембри–нижний карбон). Наиболее четкие минимумы остаточной аномалии приурочены к южной части гор Букантау, где по ним картируется Букантауский интрузив гранитоидов.

В пределах Центральных Кызылкумов и Нуратинского региона максимумы силы тяжести соответствуют поднятиям поверхности фундамента и в некоторых случаях зонам развития эффузивов основного состава, а минимумы – прогибам поверхности фундамента и интрузиям гранитоидов [1].

В разрезе Южного Тянь-Шаня, по данным М. Х. Хамрабаева и др., М. А. Ахмеджанова и др., А. К. Бухарина и др. (1983), Ю. С. Савчука и др. (1998), выделяются два структурных этажа: верхний сложен формациями рифейско-палеозойских геосинклиналей, а нижний представляет собой дорифейское кристаллическое основание. Верхний этаж условно подразделяется на три структурных яруса: байкальский, каледонский и герцинский. Исследователи в Центральных Кызылкумах относят к нижнему протерозою ауминзинскую свиту, представленную в нижней части преимущественно амфиболитами и амфиболитовыми сланцами, а верхней – слюдисто-кварцевыми сланцами с прослоями кварцитов и доломитов.

В горах Тамдытау и Ауминзатау к верхнему протерозою относят терригенные образования, мраморизованные известняки и доломиты. В некоторых районах в низах тасказганской свиты отмечены конгломераты (И. А. Пяновская), а ее поверхности местами содержат кору выветривания (В. П. Лошкин, О. Н. Халецская).

Список литературы:

1. Таль-Вирский Б. Б. Геофизические поля и тектоника Средней Азии. – М. : Недра, 1982. – 271 с.
2. Голованов И. М. Рудные месторождения Узбекистана. – Ташкент : ГИДРОИНГЕО, 2001. – 611 с.
3. Жанибеков Б О., Турапов М. К., Умматов Н. Ф., Умаралиев А. У., Суяров Ш. С. Геофизические особенности Ауминзатау-Бельтауского рудного района и проявлений золотого оруденения // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2021. – № 3. – 10 с.

Шарипов Ш. Ф., Умаров Ш. А.
Навоийское отделение АН РУз, г. Навои.

ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛЯНГАР

В настоящей работе исследовано геологическое строение месторождения Лянгар. Изучены инженерно-геологические условия и горнотехнические особенности его разработки. Согласно геологическому заданию поставлены цель и задачи исследования. Проведены комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические обследования месторождения Лянгар, получены результаты наблюдений. На основании анализа данных изучены физико-механические свойства гипсового камня. Результаты технологических исследований гипсового камня позволили определить количественные характеристики, представленные в табличной форме. Подготовлены рекомендации по дальнейшему проведению научных исследований.

Ключевые слова: геологическое строение, месторождение, инженерно-геологические условия, горно-технические особенности, горные породы, количественная характеристика, литогенетические трещины, геологоразведочные работы, кугитангская свита.

Месторождение Лянгар расположено на небольшом водоразделе протяженностью до 700 м, склоны которого имеют небольшие уклоны от 5º до 20–25º. Водораздел сложен монотонной толщей гипса, что благоприятно для отработки открытым способом. Целесообразность открытой отработки подтверждается исследованиями физико-механических свойств и геологическим изучением гипсового камня. Абсолютные отметки поверхности в целом на площади месторождения Лянгар составляют 1000,0–1255,1 м. Четвертичные отложения развиты локально, их мощность составляет от 0,5 до 5,0 м. Эти отложения не обводнены [1].

При изучении инженерно-геологических условий согласно геологическому заданию решены следующие задачи:

• изменены представления о распространении основных типов пород, получена количественная характеристика трещиноватости, расслоения, зоны дробления и ослабления, физико-механических свойств пород, даны рекомендации по выбору расчетных показателей;

• проведено инженерно-геологическое прогнозное районирование по степени устойчивости в карьере: дана прогнозная оценка изменения состояния физико-механических свойств пород в процессе вскрытия месторождения и участка возникновения инженерно-геологических явлений (оползни, обрушения, вспучивание, карстовые воронки и др.);

• определена устойчивость бортов карьеров.

Комплексные гидрогеологическое и инженерно-геологическое обследования месторождения проводились в масштабе 1:25 000. Обследование сводилось к выявлению и изучению экзогенных геологических процессов, возможных водопунктов и водопроявлений. Гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения проводились в процессе бурения скважин и проходки горных выработок. В процессе наблюдений фиксировались инженерно-геологическая характеристика горных пород, поглощение бурового раствора, провалы бурового инструмента, поведение пород в стенках шурфов [2, 3].

По гипсам установлены литогенетические трещины, которые образовались в процессе седиментации осадков. Эти трещины распространяются по всей площади равномерно; относительно оси керна выделяются трещины вертикальные (угол падения от 0º до 15º) и диагональные (угол падения от 30º до 45º). Трещины залечены кристаллическим гипсом и глиной. По степени трещиноватости, согласно инженерно-геологической классификации, породы изученных объектов можно отнести к категории от слабо- до среднетрещиноватых.

В процессе проведения геологоразведочных работ на площади месторождения Лянгар отмечено одно небольшое разрывное нарушение, которое находится вдали от подсчитанных промышленных запасов, и влияние этого разрыва на полезное ископаемое не отмечено.

На площади месторождения Лянгар из современных геологических процессов на локальных участках отмечены: выветривание, редко на небольшой площади в 3–6 м^2 осыпи и отдельные мелкие вывалы (0,2–0,5 м^3) по известнякам кугитангской свиты.

Табл. 1. Анализ показателей физико-механических свойств гипсового камня

Показатели	Ед. изм.	Содержание					
		от	до	средн.	от	до	средн.
Удельный вес	г/см^3	2,15	2,71	2,39	2,47	2,88	2,52
Объемная масса	г/см^3	1,68	2,82	2,32	2,05	2,83	2,32
Коэффициент крепости по шкале проф. Протодьяконова		0,30	3,00	1,45	0,80	2,10	1,39
Водопоглощение	%	0,35	21,79	3,39	0,67	5,23	3,45
Пористость	%	1,24	36,61	17,48	4,30	23,31	19,40
Естественная влажность	%	21,10	25,80	20,52	2,70	20,00	12,96
Предел прочности при: • расколе; • сжатии в естественном состоянии; • сжатии в водонасыщенном состоянии.	 МПа МПа МПа	 0,30 2,50 2,40	 2,30 29,70 12,10	 1,37 10,27 6,63	 0,32 2,92 3,82	 2,10 20,80 11,94	 0,80 6,25 4,15
• коэффициент размягчения		0,33	0,69	0,54	0,36	0,65	0,46
• коэффициент взрыхления				1,6			1,6

Подземные воды на изученных объектах вскрыты не были, объем водопритоков за счет атмосферных осадков незначителен. Район месторождения Лянгар не лавиноопасен. Селевые потоки случаются редко по руслам рек Лянгар и Аксу, абсолютные отметки поверхности которых ниже отметки дна проектируемых карьеров (100 м на месторождение Лянгар).

При выпадении кратковременных ливневых осадков условия для их накопления на обоих объектах отсутствуют, большая часть осадков расходуется на испарение, смачивание полезного ископаемого и угрозы для затопления карьеров не представляет. Снежный покров в районе работ неустойчивый, непродолжительный (не более одного месяца), и его толщина не превышает 30–50 см (январь), редко наблюдаются бесснежные зимы.

Отрицательные факторы и явления, способные осложнить разработку месторождения Лянгар, не отмечены.

Оборудование и методика обработки и анализа. Результаты анализов гипсового камня проводились на специальном оборудовании. При анализе физико-механических свойств гипсового камня использованы пробы в пределах 1,0–1,4 г/т. Результаты полного анализа показателей физико-механических свойств гипсового камня представлены в табл. 1.

При эксплуатации месторождения Лянгар за счет потери естественной влажности горных пород прочностные характеристики будут несколько выше, чем определенные по образцам в лабораторных условиях. По геологическому строению, физико-механическим свойствам и трещиноватости гипсы месторождения Лянгар можно считать однородными. Поэтому схема расчета заложения устойчивых бортов карьера была принята для однослойной толщи по методике ВНИМИ [4].

Рекомендуемые углы заложения бортов карьера составляют 40–45º. Глубина карьера на месторождении Лянгар 60–70 м. Карстовые явления на изученных объектах отсутствуют. Сейсмичность района 5–6 баллов. Площадь месторождения Лянгар свободна от насаждений, охраняемых объектов, застроек на ней нет, кроме одной автомобильной дороги (Лянгар-Камаши), в связи с которой месторождение будет отрабатываться двумя карьерами. С целью сохранения автодороги между карьерами оставлен целик шириной 140–180 м. Ближайшие населенные пункты на изученном объекте находятся на расстоянии от 0,35 км до 2 км.

Из приведенного выше следует, что условия разработки гипсового камня месторождения Лянгар простые. Основой для прогнозной оценки изменений инженерно-геологических условий месторождения послужил анализ геологического строения, гидрогеологических условий, физико-механических свойств и трещиноватости сырья, современные геологические процессы

Табл. 2. Результаты технологических исследований гипсового камня

№ проб	Место взятия	Потеря при прокаливании	Содержание, %			Сорт гипсового камня	Время схватывания		Прочность в МПА		Марка вяжущего гипсового камня
			H_2O (гидратной воды)	$CaSO_4 \times 2H_2O$, гипс	SO_3		начало	конец	при сжатии	при изгибе	
ЛТП-1	Канава-1	16	19,6	93,66	46,5	II	2’10”	3’004”	11,2	5,03	Г-10
ЛТП-2	Канава-3	14,77	19,6	93,66	46,3	II	2’00”	3’004”	11,2	5,03	Г-10
ЛТП-3	Канава-2	16,26	19,58	93,56	46,2	II	2’10”	3’10”	13,3	5,8	Г-13
ЛТП-4	Шурф-3	11,50	19,5	92,0	45,94	II	2’15”	3’15”	9,1	3,9	Г-7
ЛТП-7	Сква-жина-7	15,5	20,0	95,56	45,97	I	2’10”	3’10”	11,0	5,01	Г-10
Т-1	Карьер-1	15,5	19,5	93,18	45,0	II	2’00”	3’10”	11,2	5,25	Г-10

и углы заложения бортов карьера. Площадь изученных объектов по степени устойчивости массива горных пород является устойчивой.

По инженерно-геологической классификации гипсовый камень месторождения и участка можно отнести к полускальным. По степени сложности горнотехнических условий месторождение Лянгар можно отнести к простым. Качество гипсового камня месторождения Лянгар определяется требованиями, приведенными в РСТ Уз 760-96 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов». Согласно требованиям РСТ, гипсовые вяжущие подразделяются на марки: Г-2, Г-7, Г-10, 13, 16, 19, 22, 25. Марки гипсовых вяжущих находятся в прямой зависимости от предела механической прочности на сжатие.

Сроки схватывания определяют виды вяжущих: быстротвердеющий (от 2 до 15 мин), нормально твердеющий (от 6 до 30 мин.) и медленно твердеющий (начало твердения не ранее 20 мин, конец твердения не нормируется). По максимальному остатку на сите с размерами ячеек 0,2 мм выделяют вяжущие грубого помола (не более 23 %), среднего (не более 14 %), тонкого помола (не более 2 %).

При использовании вяжущих в промышленности строительных материалов объемное расширение должно быть не более 0,2 %, посторонних веществ, не растворимых в HC_1, не более 1 %, содержание металлопримесей в 1 кг гипса не более 8 мг.

Для вяжущих высшей категории качества марка должна быть не ниже Г-5, максимальный остаток на сите 0,2 мм должен быть не более 12 %. Согласно РСТ Уз 760-96 выделяются первый, второй, третий и четвертый сорта гипса.

В первом сорте гипса содержание ($CaSO_4 \times 2H_2O$) должно составлять не менее 95 %, кристаллизационной воды – не менее 19,88 %, во втором сорте гипса содержание ($CaSO_4 \times 2H_2O$) должно составлять не менее 90 %, кристаллизационной воды – не менее 18,83 %, в третьем и четвертом сортах содержание ($CaSO_4 \times 2H_2O$) должно быть не менее 80 % и 70 %, а кристаллизационной воды – не менее 16,74 и 14,64 % соответственно.

Гипсовый камень фракций 60–300 мм используется для получения гипсовых вяжущих, фракция от 0 до 60 мм – для производства цемента. Во фракции 60–300 мм количество гипсового камня размером менее 60 мм не должно превышать 5%, а крупнее 300 мм должно составлять не более 15 %. Во фракции от 0 до 60 мм содержание частиц гипса размером от 0 до 5 мм должно быть не выше 30 %. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов (Аэфф) в гипсовом камне не должна превышать 370 Бк/кг.

Результаты и обсуждение. В результате технологического исследования получены характеристики гипсового камня. В том числе такие важные данные, как содержание гидратной воды и гипса, сорт гипсового камня, время схватывания, прочность и марка.

Выводы. Полученные результаты позволили изучить геологическое строение месторождения Лянгар, физические свойства гипсового камня, провести технологическое исследование. Результаты исследований проведены на основе методики ВНИМИ. В итоге получены научные

данные о характеристиках гипсового камня, которые соответствуют требованиям РСТ Уз 760-96 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов». Подготовлены рекомендации по использованию гипсового камня в отраслях экономики Республики Узбекистан.

Список литературы:
1. Борзунов В. М. Геолого-промышленная оценка месторождений нерудного сырья. – М. : Недра, 1965. – 272 с.
2. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям карбонатных пород. – Ташкент : ГКЗ Госкомгеологии РУз, 2001.
3. Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых. – Ташкент – (ТКЗ) РУз материалов по подсчету запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых, 1995.
4. Нечаев Г. А. Поиски и разведка месторождений цементного сырья. – М. : Недра, 1971. – 172 с.

Шахурдина Н. К., Тарских О. В.
ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЫГЫАТТИНСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

Разработана новая методика минералогического районирования по комплексу признаков для Ыгыаттинского алмазоносного района Якутской алмазоносной провинции на основе анализа шлихоминералогической информации. Оконтурены минералогические таксоны рангов «узел» и «участок». Применены новые подходы к интерпретации шлихоминералогической информации с применением ГИС-технологий и базовой статистики.

Ключевые слова: Ыгыаттинский алмазоносный район, минералогическое районирование, шлих, индикаторные минералы кимберлитов, ИМК, химико-генетические группы.

Современные требования к прогнозированию и поискам коренных месторождений алмазов потребовали разработки новой методики минералогического районирования. Объектом для среднемасштабного районирования выбран Ыгыаттинский алмазоносный район, расположенный в центральной части Якутской алмазоносной провинции. На его территории известны два кимберлитовых объекта: алмазоносная трубка Сюльдюкарская и маломощная жила НС-1. Основными коллекторами являются верхнепалезойские отложения (ботуобинская свита верхнего карбона, ахтарандинская и боруллойская свиты перми).

Основными характеристиками, определяющими продуктивность терригенных коллекторов индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) приняты: содержание в стандартной 10-литровой шлиховой пробе, относительная концентрация в аллотигенной составляющей тяжелой фракции (ТФ), ассоциация, гранулометрия, сохранность (степень механического износа), химический состав [1, 5, 9, 10]. Предлагаемая методика основана на подходе «фон-аномалия» посредством принятия минимально-аномальных значений для каждого минералогического признака после анализа его распределения на изучаемой территории.

1. Содержание ИМК в стандартной 10-литровой шлиховой пробе. Шлиховое опробование терригенных коллекторов при алмазопоисковых работах производится по литологическому принципу – каждая литологическая разность опробуется отдельно. Различия в мощности опробуемых интервалов закономерно приводят к различиям в объеме проб. Для нормирования результатов шлихового опробования производится пересчет количества знаков ИМК на стандартную 10-литровую пробу.

2. Относительная концентрация в аллотигенной составляющей тяжелой фракции. На примере Малоботуобинского алмазоносного района для отложений верхнего палеозоя И. И. Анти-

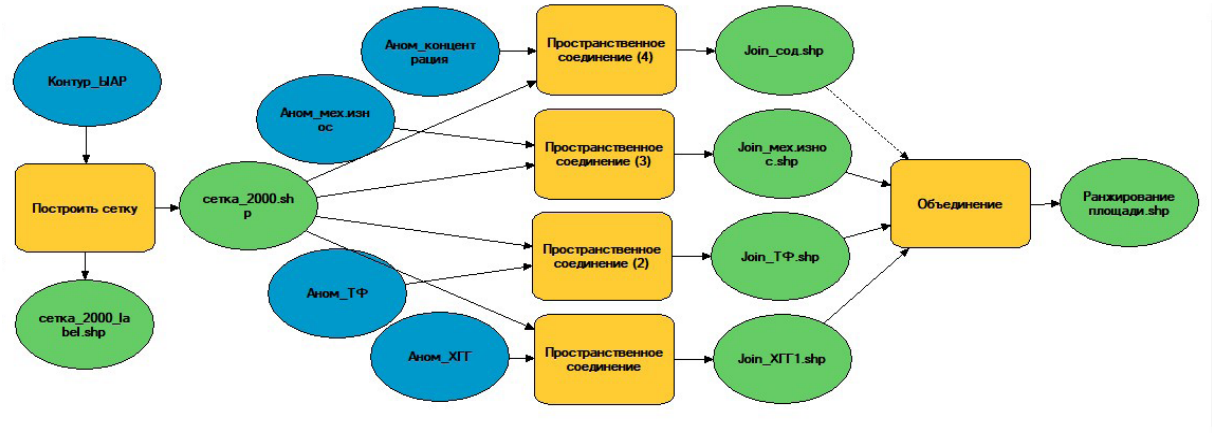


Рис. 1. Обработка ModelBuilder минералогических цифровых данных

пиным [2–4] установлена минимально-аномальная концентрация ИМК в 16 мг на 1000 мг аллотигенных минералов тяжелой фракции (16 ‰). Аналогичные результаты получены авторами для Ыгыаттинского алмазоносного района. Медианный вес аллотигенной составляющей ТФ в стандартной 10-литровой пробе позволяет получить приблизительное число зерен ИМК, соответствующее минимально-аномальному значению. Минимально-аномальное значение количества ИМК в стандартной пробе, соответствующее 16 ‰ ИМК ТФ, составляет ~25 знаков пиропа.

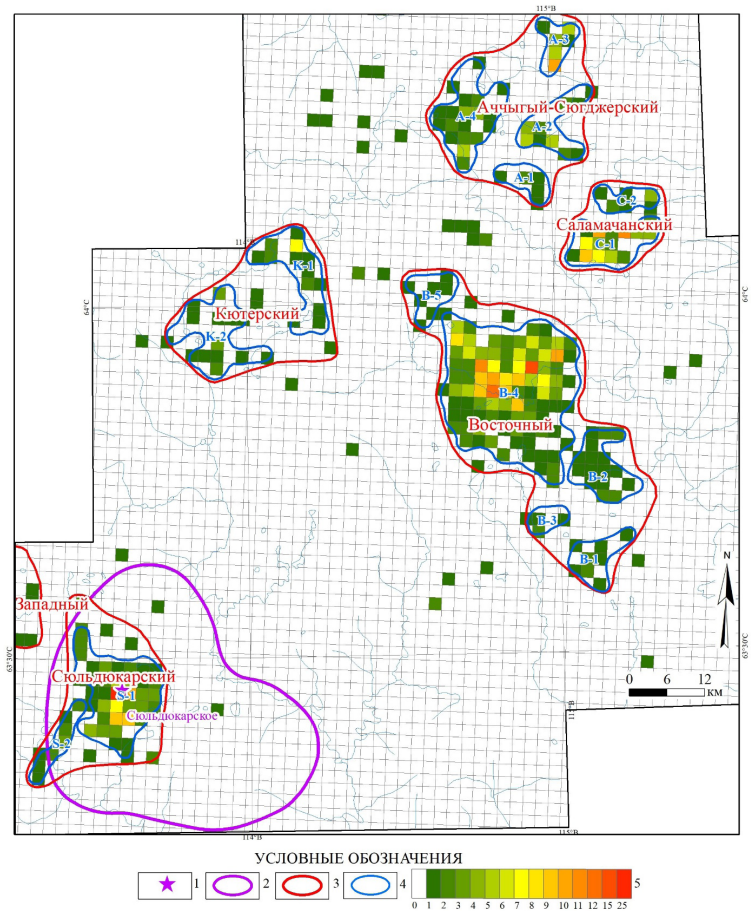


Рис. 2. Схема минералогического районирования южной части Ыгыаттинского района, масштаб 1:600 000:

1 – Сюльдюкарская кимберлитовая трубка; 2 – Сюльдюкарское кимберлитовое поле; 3 – контуры минералогических узлов PZ_2; 4 – контуры минералогических участков; 5 – ранжирование площадей по наличию шлихоминералогических аномалий

3. Ассоциация индикаторных минералов. Соотношение ИМК в пробе и резкая смена ассоциации могут указывать на разные источники.

4. Гранулометрия (размерность зерен ИМК). Крупные зерна концентрируются вблизи коренных источников [6, 7], их обнаружение может указывать на близость коренного источника, поэтому минимально-аномальным значением принимается одна находка зерна размером -2+1 мм.

5. Сохранность ИМК. В континентальных условиях при транспортировке минералов направленными водными потоками степень механического износа действительно связана с удаленностью от коренных источников [6, 7]. Таким образом, обнаружение в пробе одного зерна без признаков механического износа или слабоизношенного принято минимально-аномальным.

6. Химический состав ИМК. На основе химико-генетической классификации В. К. Гаранина [8] выполнен анализ распространения химико-генетических групп в кимберлитах Якутской алмазоносной провинции (около 40 тысяч анализов из 132 тел). Установлено, что для каждого ИМК существует от трех (ильменит) до шести (гранат) наиболее распространенных химико-генетических групп, составляющих порядка 70 % от всех выборок. Эти группы отнесены к «фоновым». «Аномальные» химико-генетические группы разделены по степени «аномальности» с оценкой в баллах.

Таким образом, для каждой выработки формируется индивидуальный «паспорт» с набором типоморфных характеристик ИМК.

Для корректного отображения в ГИС-системах авторами создана цифровая база минералогических данных (*.gdb), содержащая все прогнозно-поисковые признаки. Выработки с находками ИМК разделены на «фоновые» и «аномальные» по их значениям.

С помощью конструктора моделей ArcGIS (Model Builder) создана модель управления процессами обработки цифровых минералогических данных. Процесс состоит в построении равномерной сетки со следующими параметрами: ширина и высота ячейки 2000 м, в соответствии с плотностью сети бурения 2 × 2 км, тип геометрии Polygon. Далее происходит объединение шлихоминералогических аномалий с построенной сеткой и суммирование значений в каждой ячейке (рис. 1).

Применение модели позволило авторам на территории Ыгыаттинского алмазоносного района выделить шесть минералогических узлов: Сюльдюкарский, Западный, Восточный, Кютерский, Саламачанский и Аччыгый-Сюгджерский, отличающиеся типоморфными характеристиками ИМК (рис. 2).

Предлагаемая методика может применяться не только при среднемасштабных, но и при крупномасштабных алмазопоисковых работах.

Список литературы:

1. Антипин И. И. Совершенствование методических приемов обнаружения и локализации ореолов индикаторных минералов при поисках погребенных кимберлитовых тел: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Иван Инпинетович Антипин. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 1999. – 16 с.
2. Антипин И. И, Антипин И. Ив., Тарасов И. О. Основные аспекты методики и технологии обработки шлихоминералогических материалов при поисках месторождений алмазов на закрытых территориях // Наука и образование. – 2006. – № 4. – С. 24–30.
3. Антипин И. И, Антипин И. Ив., Тарасов И. О. Модели шлиховых ореолов от различных кимберлитовых тел Мало-Ботуобинского района // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. Материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 300–302.
4. Антипин И. И, Антипин И. Ив. Особенности современных ореолов индикаторных минералов кимберлитов Якутии (по данным ретроспективного анализа исследований) // Наука и образование. – 2009. – № 2. – С. 9–13.
5. Антипин И. Ин., Антипин И. И. Среднемасштабное алмазопрогнозирование на примере Центрально-Сибирской субпровинции // Руды и металлы. – 2018. – № 1. – С. 4–10.

6. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск : Фил. «Гео» Изд-ва СО РАН : Манускрипт, 2001. – 276 с.
7. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск : Гео, 2010. – 650 с.
8. Гаранин В. К. Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками: специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» : дис. на соискание учен. степ. докт. геол.-минерал. наук / Гаранин Виктор Константинович. – М. : МГУ, 2006. – 551 с.
9. Горев Н. И., Масленникова Э.А. Информативность шлихоминералогического метода поисков погребенных месторождений алмазов в Западной Якутии // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). – Мирный : Акционерная компания «АЛРОСА» (ПАО), 2018. – С. 262–266.
10. Серов И. В., Никифорова А. Ю., Коршикова Л. Б. Повышение эффективности минералогических методов: районирование поисковых площадей на основе типоморфных особенностей МСА, как основа прогноза на коренную алмазоносность // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. Материалы IV Региональной научно-практической конференции. – Мирный, 2014. – С. 207–208.

Шевкунов А. Г., Корницкий А. И., Башкиров А. П., Айдаркулов Т.
Кумтор Голд Компани, г. Бишкек

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ LEAPFROG GEO (SEEQUENT) ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗОЛОТА КУМТОР (СРЕДИННЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ, КЫРГЫЗСТАН)

Месторождение Кумтор является одним из крупных золоторудных объектов Тянь-Шаня. Рудные зоны локализованы в породах черносланцевой формации в амагматичной пологозалегающей структуре. Отличительными особенностями месторождения в ряду золоторудных объектов, локализованных в черносланцевых толщах, являются преобладание руд пирит-(полевошпат)-карбонатного состава и практически отсутствие в рудах мышьяка. Кумтор – типичный представитель месторождений орогенного типа. Использование трехмерного моделирования геологической структуры месторождения в программе Leapfrog Geo позволяет оперативно корректировать модель при получении новых данных бурения и эксплуатационной разведки, оптимизировать проведение геологоразведочных работ и прогнозировать новые участки для проведения поискового бурения.

Ключевые слова: золото, черные сланцы, Кумтор, Срединный Тянь-Шань, 3D-моделирование, Leapfrog Geo.

Месторождение Кумтор является одним из крупных золоторудных объектов Тянь-Шаня и находится на территории Кыргызской республики. В региональном плане оно приурочено к тектонически сильно осложненному надвиговыми структурами вендскому авлакогенному прогибу, расположенному в западной части Сарыджазской тектонической подзоны Акшийрякской геоантиклинальной зоны Срединного Тянь-Шаня [3]. Месторождение расположено на северо-западном склоне хребта Акшийряк, в пределах Срединного Тянь-Шаня, недалеко от линии Николаева. Локализовано месторождение в амагматичной полого залегающей (25°–55°) тектонической структуре среди толщи филлитов – Кумторской зоне смятия [1, 2, 4, 5]. В процессе проведения геологоразведочных работ (1983–1990 гг.) месторождение изучалось специалистами многих ведущих научно-исследовательских и отраслевых институтов СССР (ЦНИГРИ, ИМГРЭ, ИЛСАН, ФПИ и др.).

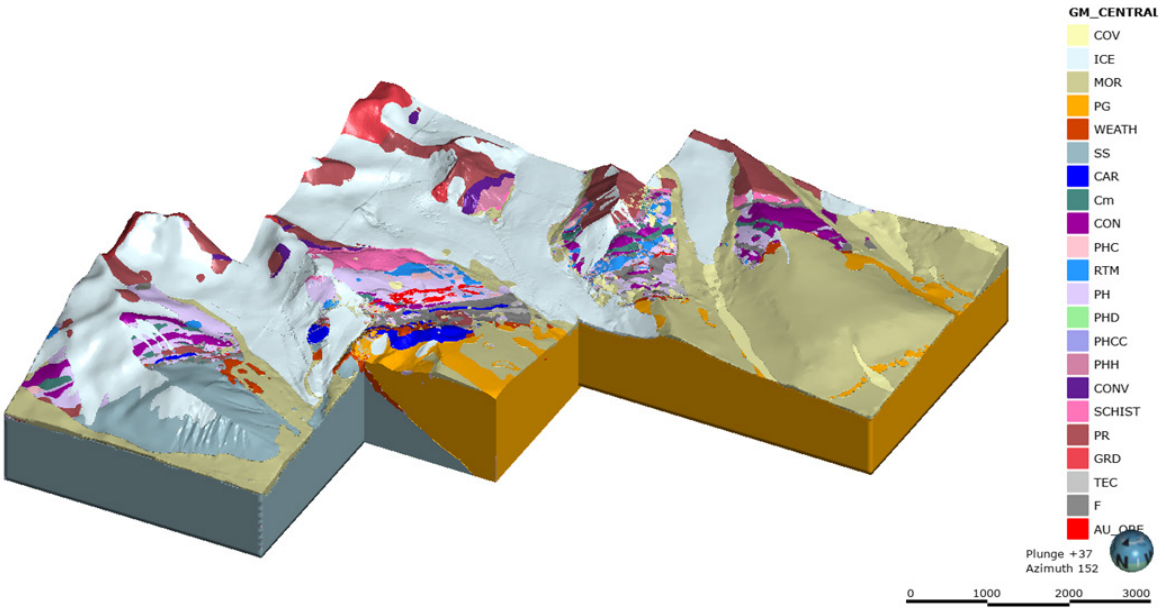


Рис. 1. Геологическая 3D-модель Кумторского рудного поля с участками Северо-Восточный (NE), Центральный (K), Юго-Западный (SW) и Сарытор (SR). Условные обозначения: COV – аллювий-делювий; ICE – ледники; MOR – моренные отложения; PG – палеоген-неогеновые мусорные глины и конглобрекчии; WEATH – породы зоны окисления; SS – песчаники карбона; CAR – известняки карбона; Cm – лидиты, углистые сланцы кембрия-ордовика; CON – диамиктиты верхние; PHC – углистые филлиты венда; RTM – карбонатные филлиты-ритмиты венда; PH – полосчатые филлиты венда; PHD – доломитистые филлиты; PHCC – углеродистые филлиты венда; PHH – пестроцветные филлиты венда; CONV – диамиктиты нижние; SCHIST – терригенные ритмиты; PR – комплекс пород верхнего рифея – риолиты, аркозы; GRD – гранитоиды сарыджазского комплекса; TEC – тектониты; F – тектонические брекчии; AU_ORE – рудоносные зоны

Основной структурой Кумторского месторождения является чешуйчато-надвиговый пакет различных структурно-формационных единиц, формировавшийся с допалеозоя до настоящего времени. Такие взгляды на строение территории хребта Акшийряк впервые были высказаны после проведения геологосъемочных и геологоразведочных работ [1, 5]. В сводной тектоно-стратиграфической колонке самые древние породы, представленные гнейсами и мраморами архея(?)–нижнего протерозоя, находятся в самом верху разреза. Они по надвигу граничат с метаморфизованными отложениями и интрузивными породами верхнего рифея. Верхнерифейские отложения перекрывают по надвигу венд-нижнепалеозойские метаморфизованные отложения. Последние являются рудовмещающими на месторождении и надвинуты, в свою очередь, на породы нижнего карбона.

В процессе проведения геологоразведочного бурения и эксплуатационных работ на руднике Кумтор в последние годы были получены дополнительные интересные данные, которые позволили уточнить ряд вопросов, касающихся геологии и тектонической структуры месторождения. По совокупности всех имеющихся материалов была сформирована рабочая геологическая модель месторождения (рис. 1) в среде программного обеспечения для имплицитного моделирования Leapfrog Geo (Seequent).

В частности, было установлено широкое развитие в пределах месторождения Кумтор процессов Альпийской тектоники, которые значительно преобразили первичный облик месторождения, сформировавшегося, по возрасту серицитолитов [9], в позднепалеозойское время (284–288 млн лет). В подошве рудоносной структуры установлен мощный Альпийский надвиг пород рудовмещающего разреза на палеоген-неогеновые отложения – Кумторский надвиг. В подошве этой структуры наблюдаются остатки мезозойской аллитовой коры выветривания, перемешанные с красноцветными глинами $₽–N_1$ и размазанные при надвиге.

Этот надвиг хорошо прослеживается на Центральном участке месторождения по результатам 3D-моделирования геотехнических данных – по полосе развития сильно разрушенных пород со значениями RQD <5 – 10 % (рис. 2). Во фронтальной части этого надвига наблюдается

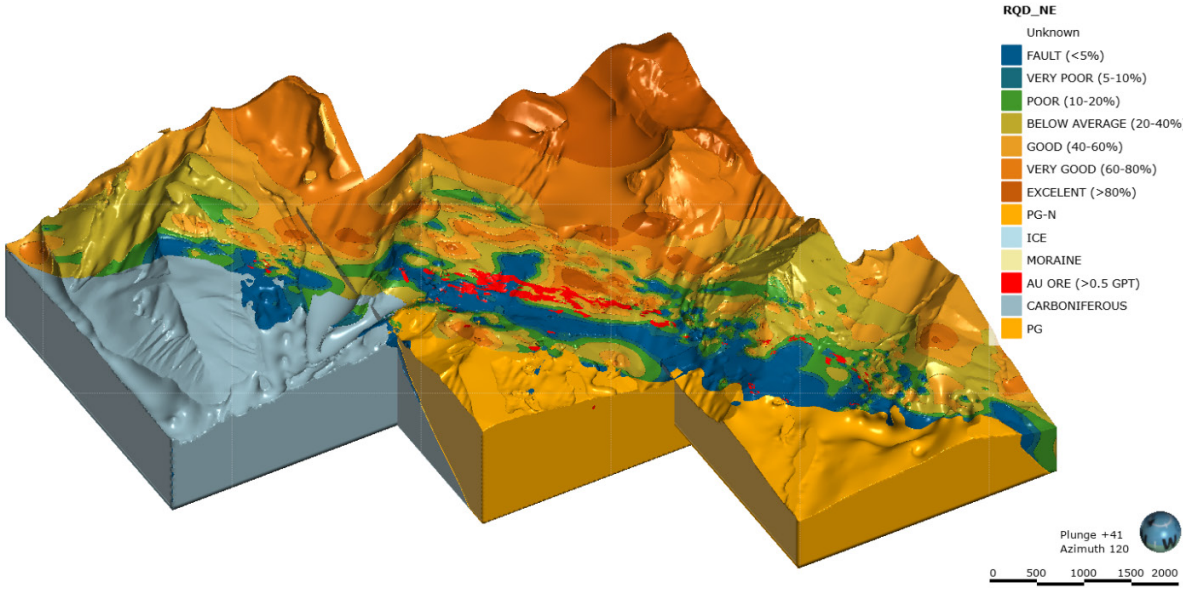


Рис. 2. 3D-модель показателя качества пород (RQD) в пределах рудоносной структуры месторождения Кумтор, без покровов моренных отложений и ледников, по данным геотехнических замеров при документации керна пробуренных скважин. Условные обозначения к модели RQD: качество пород – <5 % (породы разлома), 5–10 % – очень плохое, 10–20 % – плохое, 20–40 % – ниже среднего, 40–60 % – среднее, 60–80 % – хорошее, >80 % – очень хорошее; PG–N – палеоген-неогеновые глины и конглобрекчии; ICE – ледники; MORAINE – морены; AU ORE – рудоносные зоны; CARBONIFEROUS – песчаники нижнего карбона

мощная зона тектонического «меланжа», прослеженная по простиранию всей структуры месторождения на протяжении более 12 км. Зона тектонического меланжа находится во фронтальной части Альпийского надвига и состоит из набора чечевицеобразных структур. Матриксом этой зоны являются тектонические глины, мелкообломочные полосчатые тектонические брекчии и тектониты. В виде обломков и глыб на ограниченном пространстве встречается весь возрастной спектр пород от R_2 до C_1 и Р–N_1. В нижней части зоны тектонического меланжа наблюдаются в большом объеме окисленные разности пород – известняки карбона, алевролиты ордовика, филлиты и диамиктиты венда, в том числе и зоны минерализации с золотом. Зоны окисления рассматриваются как фрагменты мезозойской коры выветривания, деформированные и перемещенные Альпийской тектоникой. В красноцветных мусорных глинах и конгломерато-брекчиях Р–N_1 на отдельных участках, часто вблизи минерализованных зон окисления, установлены мощные ореолы переотложенной бедной минерализации золота.

Геолого-структурное моделирование в среде Leapfrog Geo на основе базы данных структурных замеров элементов залегания пород с поверхности по уступам карьеров и в скважинах с ориентированным керном подтверждает приуроченность рудоносной структуры месторождения к зоне смятия пород. Основная рудоносная зона расположена в системе надвигов, приуроченных к лежачему крылу сложной антиформной структуры, на переходе ее в висячее крыло сильно сжатой синформы (рис. 3).

Кумторская зона смятия в настоящее время представляет собой сложный агломерат сонадвиговых динамокластитов (филонитов, катаклазитов, милонитов и брекчий) палеозойского возраста, образовавшихся в результате предрудного и внутрирудного динамотермального метаморфизма, среди которых расположены минерализованные породы. Характерны: гидротермально-метасоматические и брекчиевые текстуры руд, связь оруденения со штокверками разнообразных прожилков, структурный контроль тел метасоматитов и оруденения системами разрывных нарушений [8], а также приуроченность золотого оруденения к черносланцевой толще с сульфидной минерализацией и с породами, обогащенными $C_{орг.}$, наличие реликтовых ритмично-полосчатых и бурундучных текстур, идентичность складок в некоторых рудных телах и вмещающих породах, простой минеральный состав руд, часто соответствие минерального состава метасоматитов, руд и вмещающих филлитов.

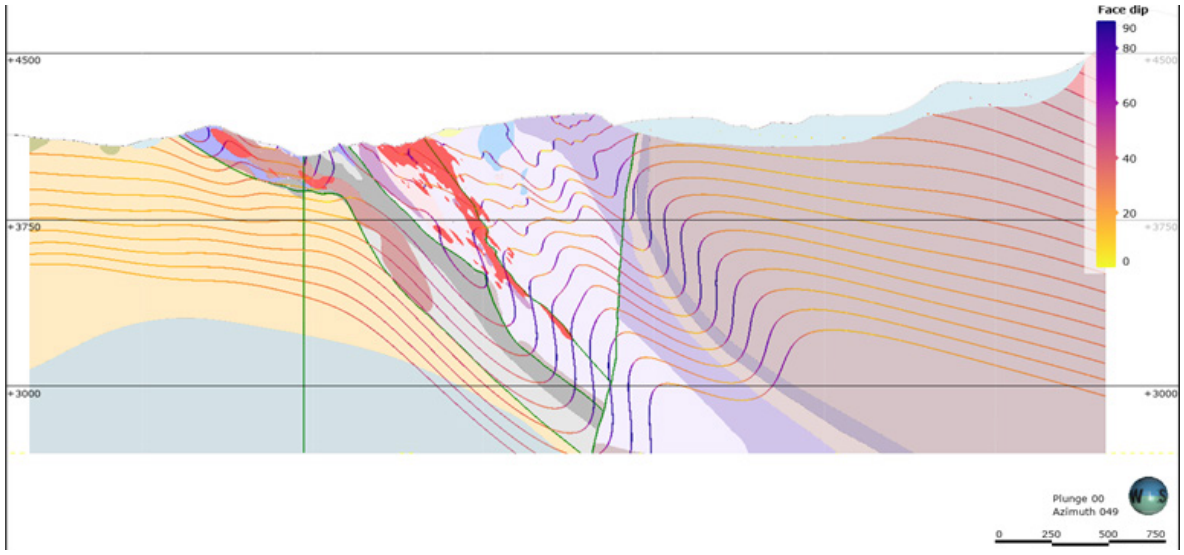


Рис. 3. Геолого-структурный разрез месторождения Кумтор по разведочному профилю 138, Центральный участок; вид на северо-восток. Условные обозначения на рис. 1

Последовавшими позже альпийскими деформациями большая часть структуры месторождения превращена в «мегабрекчию». Помимо вышеописанной зоны Кумторского альпийского надвига в подошве рудоносной структуры, в пределах основной рудоносной зоны месторождения глыбы минерализованных пород и метасоматитов разделены многочисленными тектоническими зонами, сложенными альпийскими тектонитами и брекчиями. Часто альпийские рыхлые брекчии развиваются по тектоническим структурам, заложенным ранее, в палеозойское время.

Основными разрывными структурами, выделенными при моделировании месторождения, являются Нижний Кумторский Надвиг, Черный Надвиг, Верхний Кумторский Надвиг, разлом Лысый и Сарычатский Надвиг. По этим структурам объем месторождения разделен на четыре основные зоны, сложенные специфическими структурно-вещественными комплексами (рис. 4). В основании структуры выделяется БАЗИС, сложенный породами палеогена–неогена (на участке Северо-Восточный это – песчаники нижнего карбона); на нем по Альпийскому надвигу залегает ЗОНА0, сложенная преимущественно породами зоны окисления; далее выделяется ЗОНА1, сложенная Альпийскими тектоническими брекчиями преимущественно по углистым породам кембрия-ордовика и венда; выше расположена ЗОНА2, сложенная минерализованными филлитами и диамиктитами венда – основная рудоносная зона смятия месторождения; ЗОНА3 – висячий бок рудоносной структуры, сложенный филлитами венда.

Широкое развитие надвиговых структур, отсутствие «магматического очага», зеленосланцевая фация метаморфизма вмещающих пород и динамокластиты, десилицификация, карбонизация и сульфидизация вмещающих пород, вкрапленные текстуры сульфидных руд, зональность оруденения – все эти признаки позволяют отнести месторождение Кумтор к орогенному типу месторождений [6, 7]. Месторождение Кумтор хорошо сопоставляется по основным позициям с такими известными месторождениями золота, как Мурунтау (Центральные Кызылкумы, Узбекистан), Сухой Лог, Олимпиаднинское и Саралинское (Сибирь, Россия). Разными только для отдельно взятых месторождений являются возраст вмещающих толщ, возраст метаморфизма, магматизма и рудообразования [4, 7].

Использование возможностей трехмерного моделирования программы Leapfrog Geo при проведении работ на месторождении Кумтор позволяет обрабатывать весь спектр баз данных, полученных за многие годы при изучении месторождения и пополняемых в настоящее время в процессе геологоразведочных и эксплуатационных работ. Сопоставление различных индуцированных в одной среде трехмерных моделей, таких как геологической, геолого-структурной, моделей метасоматической, минералогической и геохимической зональностей, моделей геотехнической и извлечения золота, позволяют оперативно корректировать проведение геологоразведочных и эксплуатационных работ, делать корректные выводы и заключения по вопросам

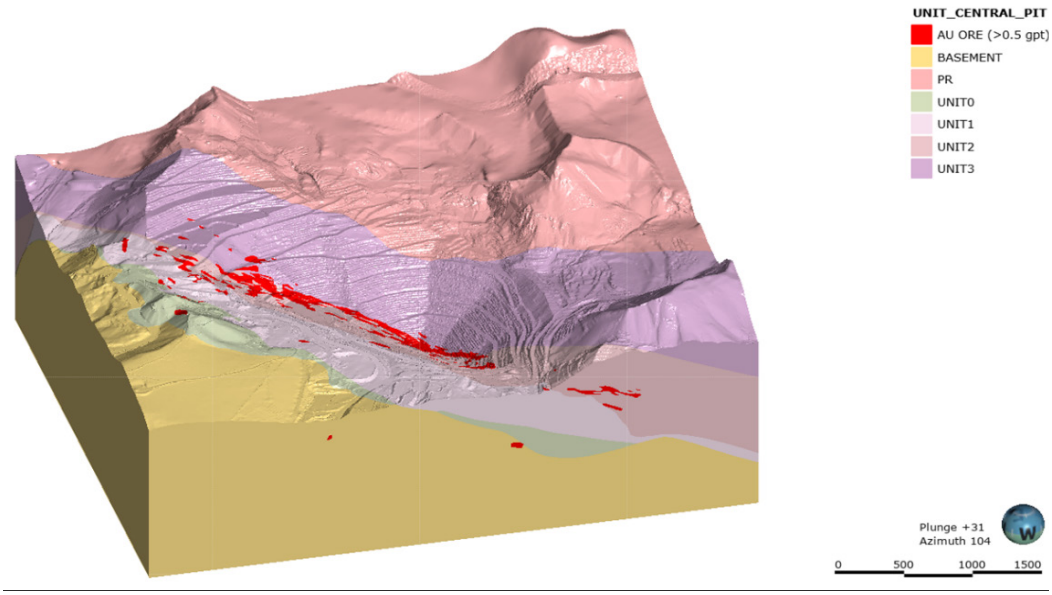


Рис. 4. Геолого-структурная модель Центрального участка месторождения Кумтор с выделением основных структурно-вещественных комплексов (UNIT0–UNIT3) в разрезе структуры месторождения. Условные обозначения: AU ORE – рудоносная зона (Au > 0,5 г/т), BASEMENT – палеоген-неогеновые породы основания, PR – верхнерифейский комплекс пород верхней надвиговой чешуи, UNIT0 – ЗОНА0, UNIT1 – ЗОНА1, UNIT2 – ЗОНА2, UNIT3 – ЗОНА3

генезиса и истории формирования структуры месторождения, а также прогнозировать участки для проведения поисковых работ. Отдельные модули программы позволяют оперативно оценить потенциальные ресурсы вновь выявленных зон минерализации и участков.

Список литературы:

1. Богдецкий В. Н., Матвеенко В. Г., Туманов Б. М. Геологическая позиция золото-вольфрамового оруденения в углеродистых сланцах на примере одного месторождения Тянь-Шаня // Стратиформные месторождения цветных и редких металлов в черносланцевых формациях. – Фрунзе : ФПИ, 1981. – С. 101–105.
2. Дзялошинский В. Г., Емельянов С. И., Романов В. И. Роль гидротермального и дислокационного метаморфизма в формировании вольфрам-золото-сульфидных месторождений Срединного Тянь-Шаня и особенности их поисков // Труды ЦНИГРИ. – 1988. – С. 53–57.
3. Жуков Ю. В. Нижнепалеозойские формации Срединного Тянь-Шаня // Новые данные по стратиграфии Тянь-Шаня. – Фрунзе : Илим, 1965. – С. 32–56.
4. Курбанов Н. К. Геолого-генетические модели формирования золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах // Рудоносность осадочных комплексов. – Л., 1988. – С. 138–147.
5. Никоноров В. В. Новый тип золотого оруденения в Кыргызстане // Геология рудных месторождений. – 1993. – Т. 35, № 5. – С. 450–454.
6. Gold geology and deposit types // PDAC International Convention / PDAC and SEG Short Course. Toronto, Canada. – 2011. – 206 p.
7. Groves D. I., Goldfarb R. J. et al. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance // Economic Geology. – 2003. – V. 98. – P. 1–29.
8. Ivanov S. M., Ansdell K. M., Melrose D.L. Ore texture and stable isotope constraints on ore deposition mechanisms at the Kumtor lode gold deposit // Gold in 2000: Littleton, Society of Economic Geologists, Poster Session Extended Abstracts Volume. – 2000. – P. 47–52.
9. Mao J., Konopelko D., Seltmann R., Lehmann B. et al. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tien Shan, Kyrgyzstan // Economic Geology. – 2004. – V.99. – P. 1771–1780.

Шкурихин А. С., Проказов Е. П.
НИТУ «МИСиС»

ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Прогресс в развитии информационных технологий во многом повлиял на работу с данными различных типов. Тенденция на применение разного рода цифровых помощников прослеживается на большинстве крупных предприятий как в России, так и за рубежом. В данных тезисах рассмотрена роль машинного обучения и возможность его использования при проведении разведочных работ в целях автоматизации обработки полученных данных.

Ключевые слова: машинное обучение, обработка данных, геологоразведка, добывающие предприятия, автоматизированный анализ.

В последние годы машинное обучение (МО) представляет собой актуальную область исследований и используется во всех отраслях, горное дело не является исключением. МО применяется для автоматизации и повышения эффективности различных производственных задач. Наиболее частой областью внедрения алгоритмов машинного обучения становится анализ большого количества данных, эта технология предоставляет инструменты, которые помогают исследователям развивать более точные и более эффективные модели. В настоящей работе мы рассматриваем, как использование МО способно помочь при проведении геологоразведочных работ, а также обсуждаем его преимущества и возможные недостатки.

Геологоразведочные данные могут быть представлены не только в виде числовых значений, но и изображений или данных о прошлых исследованиях. В этих случаях процесс составления полной картины месторождения весьма затруднен. Машинное обучение будет весьма полезно при анализе информации разных видов и поможет выявлять важные закономерности, не воспринимаемые человеком [1]. Внедрение цифрового помощника поможет снизить возможные риски на таком важном этапе жизненного цикла горного предприятия, как ГРР.

Другим, не менее важным, направлением применения алгоритмов МО является анализ данных геофизических исследований. Для поиска месторождений полезных ископаемых используются различные методы геофизических исследований, такие как сейсмические, радиохимические и гравиметрические. Машинное обучение может быть использовано для анализа данных, полученных в результате проведения большого количества измерений.

Как описано выше, внедрение машинного обучения при проведении геологоразведочных работ имеет ряд преимуществ. Во-первых, оно позволяет анализировать большие объемы данных быстрее и точнее. Во-вторых, оно позволяет обнаруживать мощные закономерности и применять их для прогнозирования и анализа. Наконец, МО позволяет более точно идентифицировать геологические объекты и предсказывать их поведение в будущем.

Однако использование МО при проведении геологоразведочных работ имеет и некоторые недостатки. Во-первых, для применения МО необходимо иметь достаточное количество данных [2]. Во-вторых, необходимо располагать геологической информацией и знать алгоритмы МО, чтобы использовать их для анализа и прогнозирования.

В целом, преимущества МО позволяют специалистам расширять границы их исследований, повышать точность результатов и достигать более глубокого понимания данных. Поэтому для получения более полной информации при проведении геологоразведки и принятия наилучших решений необходимо принимать во внимание достоинства машинного обучения.

Список литературы:

1. Золотодобыча.ру [Электронный рессурс] URL: https://zolotodb.ru/article/12356
2. Habr.com [Электронный рессурс] URL: https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/564612/

Шумилин Д. А.[1], Шатилова Л. В.[1], Кочетова К. Н.[1], Ковальчук Е. В.[2], Никольский М. С.[2], Левицкая Л. А.[2]
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва; [2] ИГЕМ РАН, г. Москва

САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РУДНОГО ПОЛЯ БЫСТРЫЙ МЕЧИВЕЕМСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Проявление золото-серебряной минерализации Быстрый расположено в северо-восточной части Магаданской области, в пределах структур Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Оруденение связано с малыми телами дацитов позднемелового снежнинского комплекса. Одним из основных поисковых признаков золото-серебряного оруденения на площади являются шлиховые ореолы и потоки самородного золота. Золото преимущественно весьма мелкое, низкопробное, с примесью Te, характеризуется низкой степенью гипергенных преобразований и окатанности. Установлены три генерации золота, отличающиеся по структуре и пробности, что указывает на полихронность его отложения.

Ключевые слова: золото самородное, золото-серебряное оруденение, внутреннее строение выделений золота, Охотско-Чукотский пояс, Магаданская область.

Золото-серебряное проявление Быстрый выявлено в ходе ГГС 50 в бассейне одноименного ручья – пр. притока р. Черная (Северо-Эвенский район Магаданской области) (Росгеолфонд. Геологический отчет № 404120, 1983. Эвенск).

Основными предпосылками для установления золото-серебряной минерализации в пределах потенциального рудного поля (ПРП) Быстрый послужило наличие шлиховых потоков золота, а также его интенсивных шлиховых ореолов, развитых преимущественно в южной части. Согласно данным Л. Д. Школьного, содержания золота в аллювии руч. Быстрый достигают 2,4 г/м^3, при встречаемости проб с золотом, близкой к 100 %. Работами предшественников в долине руч. Быстрый в северной части ПРП выявлен ряд маломощных (до 1 м) убогозолотоносных (до 3,0 г/т) жил кварц-карбонатного, кварц-серицитового состава, редко – с адуляром. В южной части ПРП прогнозировались золотоносные зоны прожилкования и золотоносные зоны окисления. Оруденение приурочено к экзоконтактам жерловин дацитового состава позднемелового снежнинскогокомплекса.

В ходе работ ЦНИГРИ в период 2020–2022 гг. на медно-порфировое и сопряженное оруденение в пределах Мечиваемской площади рудопроявление Быстрый рассматривалось как золото-серебряный объект эпи-мезотермального типа. Признаками его развития является широкая распространенность кварц-гидрослюдистых, кварц-алунитовых метасоматитов, наличие последовательно формировавшихся жерловин и даек дацитового состава, даек и малых тел гипабиссальных андезибазальтов (микродиоритов), гранит-порфиров, долеритов. Основными методами локализации минерализованных зон являлись геолого-поисковые маршруты со штуфным опробованием, шлиховое опробование по сети 200 × 20 м и 50 × 500 м, шлиховое опробование водотоков высоких порядков.

В результате работ ЦНИГРИ в пределах ПРП Быстрый было отобрано 329 шлиховых проб из копушей в склоновых и русловых отложениях. «Знаки» золота встречены в 61,4 % проб, «весовое» золото выявлено в 8 пробах. Также при отборе шлиховых проб по сети проведено литохимическое опробование глубоких горизонтов склоновых отложений, показавшее содержания золота до 0,7 г/т. Проанализированы 133 штуфных и 49 бороздовых проб с повышенными (более 0,1 г/т) содержаниями золота.

В процессе работ проводился анализ соотношения золота и серебра в штуфных и бороздовых пробах и исследования самородного золота из шлихов. Определение содержаний золота проводилось атомно-абсорбционным методом с заверкой отдельных значений, превышающих верхний порог чувствительности, пробирным анализом; содержаний серебра и прочих элементов полуколичественным спектральным анализом (далее ПКСА) с заверкой отдельных результатов ICP-AES. Соотношение рассчитывалось для каждой пробы или для групп проб, отобранных на конкретной точке наблюдения. Исследования золота, проводившиеся по методикам,

разработанным в ЦНИГРИ [1, 2], включали изучение гранулометрического состава, морфологии, степени изменения золота, наличия сростков с другими минералами, характера поверхности, химического состава, внутреннего строения. Состав поверхности определялся методом сканирующей электронной микроскопии (далее СЭМ), химический состав центральных частей золотин – рентгеноспектральным микроанализом (далее РСМА) в ИГЕМ РАН. Значения пробности в тексте приводятся в промилле. Внутреннее строение исследовалось на репликах для РСМА методом мноступенчатого структурного травления полированных срезов золотин раствором CrO_3 + HCl. Выявлялись первичные структуры самородного золота, структуры эпигенетических и гипергенных преобразований, признаки разновременного отложения золота.

При сопоставлении данных о соотношениях золота и серебра в 133 штуфных и 49 бороздовых пробах (с содержаниями золота от 0,1 до 5,7 г/т) установлены существенные различия в золото-серебряном соотношении для юго-восточного и западного флангов ПРП.

В пределах восточного фланга это соотношение обычно не превышает 1:20, в то время как в западной части ПРП оно колеблется в широких пределах – от 1:20 до 1:1 и более, при средних соотношениях 1:2–1:3.

Общие уровни содержания золота в пределах минерализованных зон и отдельных жил, вне зависимости от золото-серебряного соотношения, являются весьма низкими.

Подтверждена золотоносность склоновых и пролювиальных отложений с содержаниями золота от 2,4 г/м^3 (минералогический анализ) и до 0,75 г/т, по данным ПКСА (вторичных ореолов рассеяния глубоких горизонтов), на площади порядка 0,15 км^2 – в пределах северного склона водораздела руч. Рыжий и Быстрый, а также в русле его правого притока. Золотоносность руслового аллювия нижнего течения руч. Быстрый, по имеющимся данным, оценить невозможно. Однако, по данным ГГС-50, шлиховой поток золота в русловом аллювии прослеживается еще на 1,5 км.

Гранулометрический анализ самородного золота показал, что оно относится преимущественно к тонкому и весьма мелкому классам крупности (0,05–0,25 мм); единичные золотины размером 0,3–2,5 мм по длинной оси встречаются редко.

Преобладают выделения неправильной морфологии – интерстициальные и цементационно-интерстициальные. Широко распространены кристаллы со слабоокругленными гранями, реже отмечаются кристаллические сростки и гемиидиоморфные частицы, которые обычно также представляют собой кристаллы с интерстициальными окончаниями. Срастания золота с кварцем и окисленными сульфидами отмечаются редко.

Степень окатанности золота низкая – 69 % выделений неокатаны. В западной части ПРП золото неокатанное и слабообмятое, в восточной части ПРП и в русловом аллювии руч. Быстрый чаще отмечается совместное присутствие неокатанных и полуокатанных золотин.

Поверхность выделений ровная и мелкоячеистая, с отпечатками от выкрашивания вмещающих минералов. Признаки гипергенного выщелачивания поверхности обычно незначительные или отсутствуют, однако у золотин, отнесенных к полуокатанным разностям, часто отмечается умеренно развитая коррозия.

В ряде проб по оттенку поверхности отчетливо выделяются 2 группы золотин: ярко-желтого цвета и серебристо-желтые, покрытые тонкой черной пленкой оксидов. Выделения последней группы более распространены в западной части ПРП.

Состав поверхности выделений шлихового золота, определенный методом СЭМ, показал постоянное присутствие серебра, меди и, иногда, кислорода, что позволяет предположить наличие оксидов серебра в составе поверхностных пленок. Средняя пробность поверхности составляет от 582 до 965, при этом 75 % измерений приходится на диапазон 700–900. Наиболее высокие значения пробности поверхности (900–965) отмечаются у полуокатанных частиц.

В центральных частях выделений по данным РСМА пробность варьирует от 482 до 817 и типично наличие постоянной примеси Te 0,09–0,16 мас.%.

По результатам изучения пробности и внутреннего строения агрегатов золота выявлено три его типа.

Наиболее раннее Au-1 изучено в ряде проб, главным образом из восточной части рудопроявления. Присутствует преимущественно в виде самостоятельных выделений. Для него характерны пробность 649–704, примесь Te и зональное (реже неяснозональное) строение.

Au-2 также чаще всего образует самостоятельные выделения, однако в отдельных случаях отмечается его отложение на Au-1 с образованием структур цементации и нарастания. Для этого золота типичны пробность 740–817, примесь Te и моно-, реже неяснозернистое тонко-неоднородное строение, часто с проявлением неясной зональности по периферии.

В структуре золота-1 и золота-2 отмечаются признаки эндогенных преобразований: фрагментарные диффузионные зоны и начальная дезинтеграция.

Позднее Au-3 пробности 482–576, зонального строения, отлагается по периферии и трещинам дезинтеграции в Au-2 и Au-3 и самостоятельных выделений не образует.

Пространственное распределение золота различных типов позволяет предположить большую частоту встречаемости Au-1 в восточной части рудопроявления, Au-2 – в западной части ПРП.

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

Комплекс признаков самородного золота – преимущественно весьма мелкие размеры, преобладание интерстициальных и цементационных частиц при широкой роли правильных форм выделений, низкая пробность, наличие примеси Te и особенности внутреннего строения – соответствуют признаковой модели самородного золота золото-серебряного рудно-формационного типа. Результат изучения минерального состава рудных образований коренного источника также подтвердил предположение о его формационном типе.

Наличие трех типов золота, различающихся по пробности, строению (зональность, признаки эндогенных преобразований) и их взаимоотношениям (структуры обрастания, отложение по зонам дезинтеграции), свидетельствуют о полистадийном характере золоторудной минерализации.

Слабая окатанность большинства выделений золота свидетельствует о незначительной дальности его переноса. Частое присутствие неокатанных «знаков» в нижних частях склонов и в водотоках может быть показателем присутствия рассеянной золоторудной минерализации вне установленной минерализованной зоны на водоразделе руч. Рыжий и Быстрый.

Существенные колебания в золото-серебряном соотношении могут указывать на различные уровни эрозионного среза в западной и юго-восточной частях рудопроявления Быстрый.

Весьма низкие общие уровни содержания золота в пределах минерализованных зон и отдельных жил вне зависимости от золото-серебряного соотношения при данной степени изученности объекта не позволяют считать вероятным выявление сечений, отвечающих существующим оценочным параметрам. Несмотря на отчетливое полихронное отложение самородного золота существенное повышение его содержаний в локальных участках не выявлено.

Определенного промышленного интереса могут заслуживать склоновые и пролювиальные отложения с содержаниями золота от 0,1 до 2,4 м^3, установленные на площади порядка 0,15 км^2 – на северном склоне водораздела руч. Рыжий и Быстрый, а также в русле его правого притока.

Анализ количественного распределения шлихового золота и его характеристик в рыхлых отложениях в совокупности с результатами геохимических и геофизических работ позволил локализовать положение убого золотоносной минерализованной зоны в пределах северного склона водораздела руч. Быстрый и Рыжий в южной части ПРП.

Выявленная золото-серебряная минерализация связана с метасоматически измененным и тектонически нарушенным дайкам дацитов снежнинского комплекса, окварцованным, реже ороговикованным туфам кислого состава. Максимальные отмеченные содержания золота установлены в кварцевых (иногда с пиритом и галенитом) прожилках и брекчиях, а также прожилках кварц-анкерит(родохрозит)-сульфидного состава.

Список литературы:

1. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н. и др. Типоморфизм самородного золота. Методические рекомендации для геологоразведочных работ. – М. : ЦНИГРИ, 2003. – 70 с.
2. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н. и др. Самородное золото рудных и россыпных месторождений России: атлас. – М. : Акварель, 2015. – 200 с.

Щербатых М. О., Денисова А. А., Утюпин Ю. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПОИСКЕ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ МАЛОМОЩНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТУШКАНИХА (ЗМЕИНОГОРСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

Выполнен комплекс электроразведочных и магниторазведочных работ на месторождении Тушканиха (Змеиногорский рудный район), которое представлено серией приповерхностных маломощных рудных тел, слабоконтрастных по физическим свойствам относительно околорудных и вмещающих формаций. На трех опорных профилях, пересекающих месторождение, были выполнены дифференциальная магниторазведка и электротомография методом МКП-ВП, а также вертикальные электрические зондирования с многочастотной регистрацией процесса вызванной поляризации ВЭЗ-ЧВП. Установлены существенные несоответствия петрофизического и геологического разреза, осложняющие интерпретацию получаемых геофизических данных. Показана необходимость работ по дальнейшей оптимизации геофизических комплексов.

Ключевые слова: магниторазведка, электроразведка, градиент, зондирование, электротомография, полиметаллическое месторождение.

Месторождение Тушканиха – полиметаллическое (свинцово-цинковое с небольшим содержанием меди). Расположено в Змеиногорском районе Алтайского края, находится в пределах Березовогорского рудного поля в северо-западной части Змеиногорского рудного района, относящегося к Рудно-Алтайской минерагенической зоне.

Месторождение представлено серией маломощных рудных тел, приповерхностных (верхняя кромка рудных тел залегает на глубине от 50 м), слабоконтрастных по физическим свойствам относительно околорудных и вмещающих формаций. Рудообразующие минералы представлены главным образом сфалеритом, галенитом, халькопиритом, широко распространена вкрапленность пирита [3].

Вмещающие породы относятся к базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации девона. Основные рудные тела приурочены к пачке вулканогенно-осадочных пород, которая характеризуется частым переслаиванием туфоаргиллитов, кремнистых туфоалевролитов и туффитов, а также мелкозернистых и пелитоморфных известняков с кислыми тефроидами, лавами, лавобрекчиями, игнимбритами, реже базальтами.

Надрудные породы представлены преимущественно игнимбритами, кислыми лавами, лавобрекчиями с небольшими прослоями мелко- и среднезернистых туфов, тефроидов, глинисто-кремнистых туфоалевролитов. На отдельных участках месторождения для таких отложений характерно проявление интенсивной гидротермальной проработки и наличие вкрапленного оруденения, иногда с промышленным содержанием полезных компонентов.

Отделом геофизики ФГБУ «ЦНИГРИ» в 2022 году были выполнены опытно-методические геофизические работы. Комплекс включал электротомографию с измерением вызванной поляризации (МКП-ВП), магниторазведку с измерением вертикального градиента, а также многочастотные вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ-ВП) (рис. 1). Задачей опытно-методических работ была оценка геофизических методов применительно к задаче локализации рудных тел и рудовмещающих толщ в условиях существенно трехмерно-неоднородного геологического разреза.

На первом этапе интерпретации были построены разрезы удельного электрического сопротивления и поляризуемости по данным электротомографии. На рис. 2 приведены результаты инверсии данных ЭТ для профиля № 14 Тушканихинского месторождения с нанесенными проекциями контуров рудных тел. На разрезе УЭС верхняя часть проекции рудных тел совпадает с зоной пониженных сопротивлений (10–200 Ом·м) на фоне повышенных значений УЭС (500–1000 Ом·м) (см. рис. 2, а). Также на разрезе УЭС хорошо обозначается зона пониженных сопротивлений (около 50 Ом·м) на участке профиля около 800 м, зона протягивается субвертикально и распространяется до самой глубинной части разреза. По априорным геологическим данным

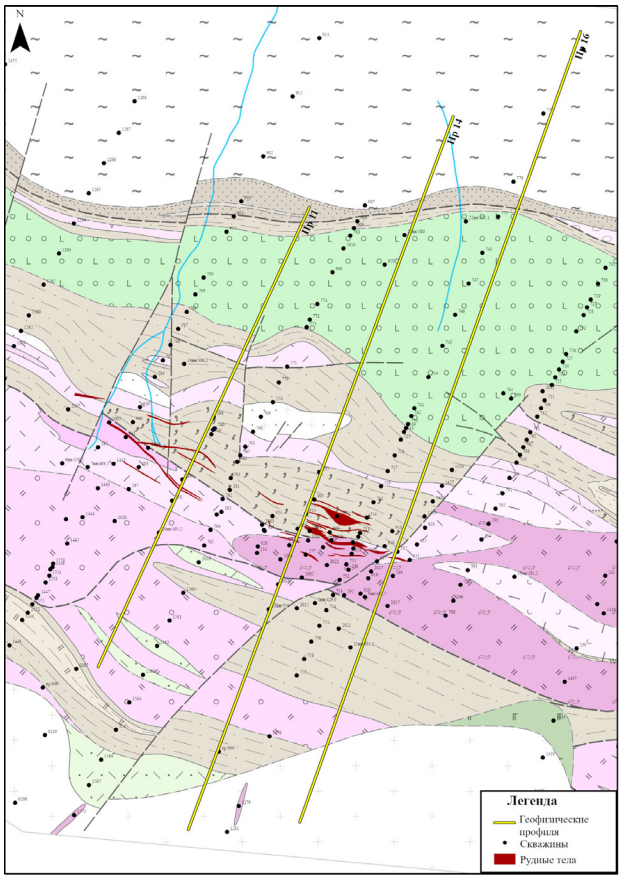


Рис. 1. Карта расположения геофизических профилей на Тушканихинском месторождении на геологической основе (Росгеолфонд. Геологический отчет № 01-13-177, 2015)

через этот участок профиля проходит разлом, что объясняет аномально низкие значения УЭС.

На разрезе поляризуемости (см. рис. 2, б) рудные тела относятся к зоне резкого перехода от низких значений поляризуемости (3–7 %) к высоким (8–10 %). Для более четкого выделения аномалии поляризуемости, относящейся к рудным телам, путем сингулярного разложения была выделена ее локальная компонента (см. рис. 2, в), где зона рудных тел обозначилась в виде локальных аномалий повышенных значений поляризуемости (3 %).

Необходимо отметить, что работы методом МКП-ВП выполнялись согласно общепринятым в настоящее время подходам, описанным в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях [1, 2, 4]. Использовалась трехэлектродная установка B∞AMN («Pole-Dipole») с разносом «бесконечность» не менее 3 км, шаг по профилю составлял 50 м с расстоянием между приемными электродами, равным 50 м. Анализ полученных данных указывает на значительную интеграцию разреза за счет боковых влияний и снижение детальности отражения геологических и петрофизических особенностей разреза. Таким образом, применение электрических зондирований, в том числе электротомографии в данной геолого-поисковой обстановке, обеспечивающее более высокую и достоверную локализацию рудных объектов, требует опробования более чувствительных установок. При этом необходимо сохранить глубинность исследований, достигнутую МКП-ВП (до 400 м).

На следующем этапе интерпретации был построен разрез полного нормированного градиента вертикальной производной аномального магнитного поля (GTz). Данная трансформация позволяет выделить особые точки разреза – кромки тел, а также центры их масс. На рис. 3 (б) кромка рудных тел обозначается повышенными значениями GTz. В общих чертах аномалии

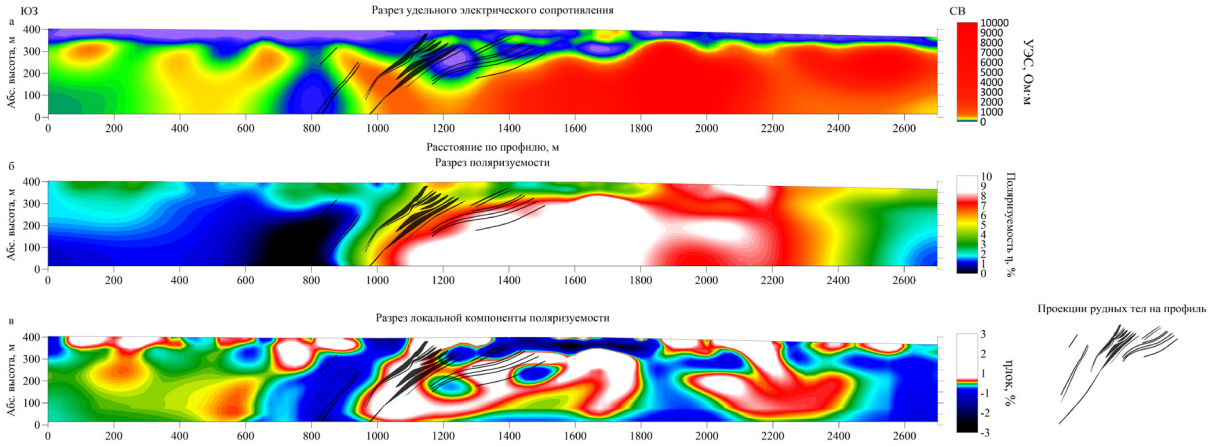


Рис. 2. Результаты инверсии данных ЭТ для профиля № 14 Тушканихинского месторождения: а – разрез УЭС; б – разрез поляризуемости; в – разрез локальной составляющей поляризуемости

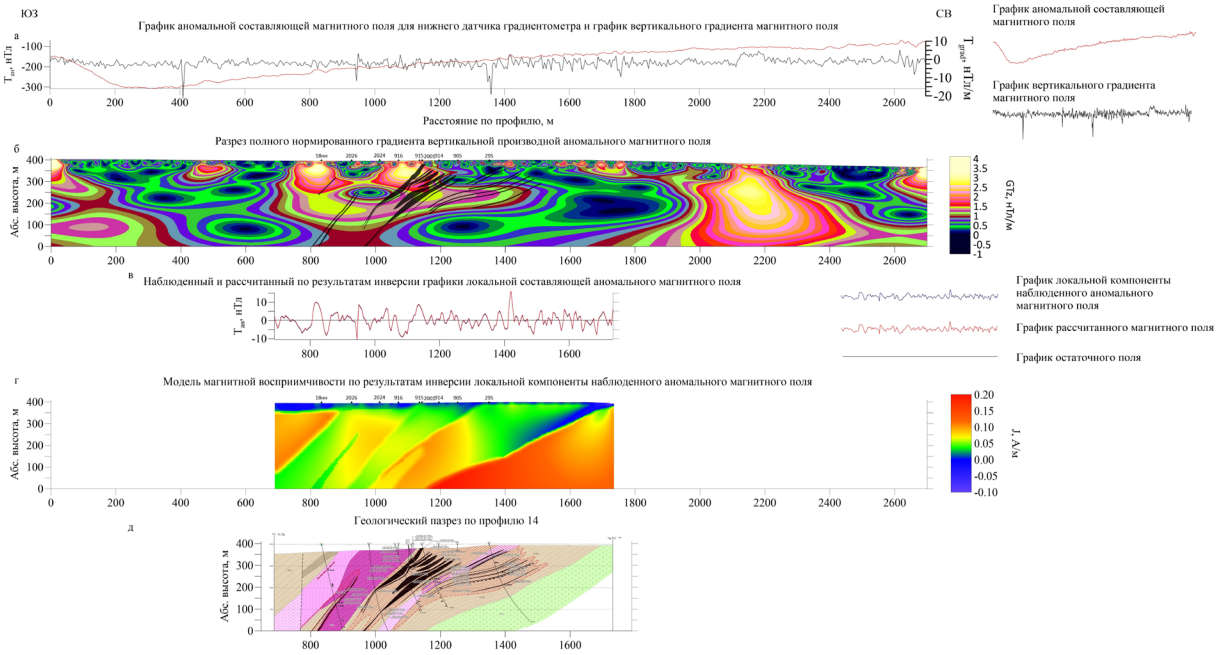


Рис. 3. а – график аномального магнитного поля и градиента магнитного поля по профилю 14 Тушканихинского месторождения; б – разрез полного нормированного градиента вертикальной производной магнитного поля; в – график рассчитанного и наблюденного аномального магнитного поля; г – модель намагниченности по результатам инверсии аномального магнитного поля; д – геологический разрез по профилю 14 (Росгеолфонд. Геологический отчет № 01-20-394, 2022)

на разрезе GTz совпадают с геологическими границами (см. рис. 3, б, д). Высокая чувствительность вертикального градиента магнитного поля к особенностям строения рудных толщ открывает перспективы широкого использования дифференциальной магниторазведки при поисках подобных месторождений в сходных геолого-поисковых обстановках.

Также была получена модель намагниченности по инверсии магнитного поля в программе GravMaginv. При инверсии использовалась локальная составляющая аномального магнитного поля. На рис. 3 (в) показаны графики подобранного в результате инверсии и наблюдавшегося магнитного поля, а также остаточное поле по профилю 14. Получившаяся в результате модель намагниченности показана на рисунке 3 (г). На исследуемом разрезе наиболее высокой намагниченностью характеризуются породы, сопоставляемые по данным бурения с алевропелитами и туфами. При этом собственно полиметаллические руды обладают намагниченностью, близкой к нулевой. Руды и вмещающая их рудоносная толща в целом характеризуются пониженными значениями кажущейся магнитной восприимчивости, что и объясняет появление над ними областей пониженного вертикального градиента магнитного поля.

На последнем этапе интерпретации был проведен совместный анализ всех ранее полученных материалов с данными ВЭЗ-ВП, данными ГИС предшественников и данными геологического описания скважины 18 нн. Для этого была построена геологическая колонка по скважине 18 нн, располагающейся на 14 профиле. Также были простроены графики изменения таких параметров как УЭС и производная УЭС по данным ВЭЗ-ВП, графики изменения намагниченности и GTz с глубиной по полученным ранее разрезам. На рис. 4 показаны результаты сопоставления всех вышеперечисленных данных. Верхняя часть разреза до глубины 100 м хорошо расчленяется по данным всех геофизических методов, коррелируя с геологическими границами по данным бурения. Однако на глубине около 150 м на всех геофизических данных начинает проявляться слой, не выраженный на геологической колонке. Данный слой отображается в геофизических полях так как здесь начинает появляться вкрапленность пирита и халькопирита. На глубине около 270 м в геофизических полях также отображается физическая граница – вкрапленность сфалерита, пирита и халькопирита. Таким образом, для геофизических методов физические границы являются более значимыми при выделении границ, и особенностью данной

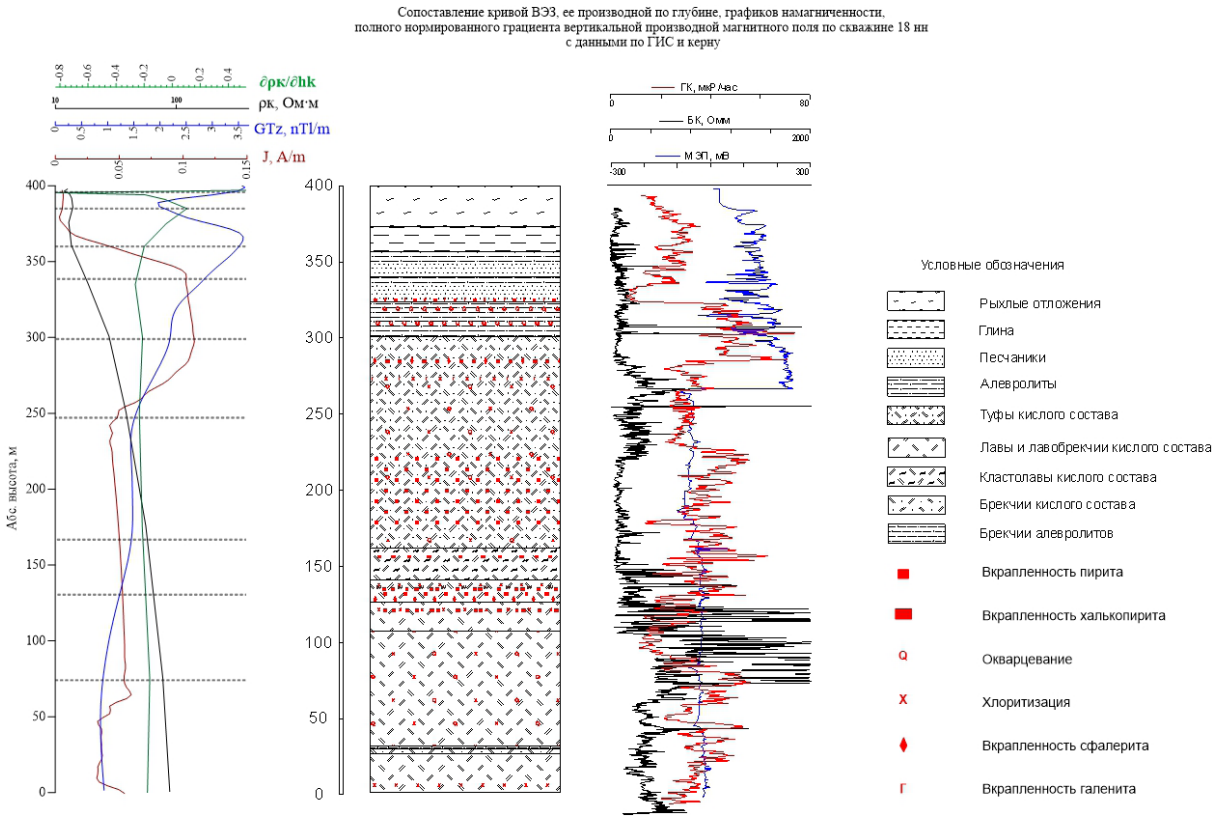


Рис. 4. Результаты сопоставления данных ВЭЗ, графика изменения намагниченности, полного нормированного градиента вертикальной производной магнитного поля по глубине с данными по ГИС и керну для скважины 18 нн (Росгеолфонд. Геологический отчет № 01-20-394, 2022)

геологопоисковой обстановки является несовпадение петрофизической и стратиграфической модели геологического разреза, проявляющееся в зоне вторичных изменений (сульфидизации и другой наложенной минерализации) исходных горных пород.

Выводы

При интерпретации геофизических данных, полученных при исследовании слабоконтрастных в геофизическом плане месторождений полиметаллов, особое место необходимо уделять не только стандартным методам интерпретации, но и использованию различных трансформаций геофизических полей. Примененная нами трансформация полного нормированного градиента вертикальной производной аномального магнитного поля позволила выделить основные геологические границы исследуемого разреза. Выделение локальной компоненты от разреза поляризуемости, полученного по данным электротомографии, позволило локализовать аномалию от рудных тел на разрезе.

Необходимо учитывать, что основные видимые в геофизических полях границы – физические, а не стратиграфические. Таким образом, при помощи геофизических исследований становится возможной локализация зон минерализации, сопровождаемых сменой физических свойств разреза, которые, в свою очередь, могут ассоциироваться с рудоносными телами.

Необходимо проведение дальнейших работ по опробованию методов электроразведки, обеспечивающих более высокую степень локализации неоднородностей геоэлектрического разреза (в том числе рудных) по сравнению с данными метода МКП-ВП с трехэлектродной установкой B∞AMN («Pole-Dipole»).

Список литературы:

1. Балков Е. В., Панин Г. Л., Манштейн Ю. А., Манштейн А. К., Белобородов В.А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // [Электронный ресурс] URL: https://geoinfo.ru/product/balkov-evgenij-vyacheslavovich/ehlektrotomografiya-apparatura-metodika-i-opyt-primeneniya-39638.shtml.

2. Бобачев А. А., Модин И. Н., Перваго Е. В., Шевнин В. А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред // Разведочная геофизика. Обзор. – М. : АОЗТ Геоинформмарк,1996. – Вып. 2. – 50 с.
3. Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К., Донец А. И., Конкин В. Д. Особенности локализации колчеданно-полиметаллических руд Тушканихинского месторождения (Рудный Алтай) // Руды и металлы. – 2022. – № 4. – P. 102–118.
4. Loke M. H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. – 2009. – 144 p.

Щукин В. С., Турандин Н. С., Обермейстер А. С.
ООО «Арктикгеопоиск», г. Архангельск

СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ

Рассмотрены вопросы структурного контроля размещения кимберлитов в пределах Архангельской алмазоносной провинции. На севере Восточно-Европейской платформы кимберлитовый и родственный ему магматизм проявился в пять этапов, в Архангельской алмазоносной провинции он установлен в связи с IV и V этапами. По комплексу признаков прогнозируется VI этап. Выделены участки, наиболее перспективные на обнаружение новых месторождений алмазов.

Ключевые слова: кимберлит, алмаз, минералы-индикаторы кимберлитов, месторождение, структуры, кратон, срединный массив, разлом, провинция.

Вопросы структурного контроля размещения кимберлитов достаточно хорошо освещены в отечественной и зарубежной литературе. Это – приуроченность кимберлитов к древним ядрам Земли (кратонам), глубинным разломам и оперяющим их нарушениям более высоких порядков. Тем не менее каждая алмазоносная провинция имеет свои особенности структурного контроля размещения кимберлитов в зависимости от геологического строения и истории геологического развития.

В настоящий момент находки алмазов, минералов-индикаторов кимберлитов (МИК), обломков кимберлитов в современных осадках и разновозрастных промежуточных коллекторах широко распространены на территории севера Восточно-Европейской платформы, что свидетельствует о многочисленности их коренных источников. На сегодняшний день кимберлиты, лампроиты и другие родственные породы установлены в Финляндии, Карелии, на Кольском п-ве, Онежском п-ве, в Зимнебережном алмазоносном районе, на Среднем Тимане и Южном Урале. При этом возраст пород имеет широкий диапазон (млн лет): кимберлиты 1764–2048 (Кимозеро, Карелия) [10]; лампроиты 1250 (Lentiira-Kuhmo, Финляндия), [8, 9]; кимберлиты II, лампрофиры и лампроиты 1100, кимберлиты 434–593 (Kuopio-Raavi, Финляндия) [8, 9]; кимберлиты 756–759 (Kuusamo, Финляндия) [8, 9]; кимберлиты 360–368 (Ермаковское поле, Кольский п-ов) [5]; лампрофиры 570, кимберлиты 323–397 (Беломорско-Кулойское плато, Архангельская обл.) [4, 8]; кимберлиты 384 (Средний Тиман, Республика Коми) [6]; алмазоносные лампрофиры 440–470 (Северный Тиман, Архангельская обл.); оливиновые мелилититы 361±23 (Онежский п-ов, Архангельская обл.); лампроиты 197–203 (Южный Урал) [3].

В целом, установленный кимберлитовый и родственный ему магматизм на севере Восточно-Европейской платформы проявился в пять этапов, разделенных по времени сотнями миллионов лет: **I этап** (1764–2048 млн лет); **II этап** (1100–1250); **III этап** (570–759); **IV этап** (434–450); **V этап** (323–397).

В пределах Архангельской алмазоносной провинции кимберлитовый и родственный ему магматизм установлен в связи с IV и V этапами, **VI этап** (197–250 млн лет) прогнозируется на основании общегеологических соображений, находок обломков кимберлитов, неокатанных обломков мантийных пород (лерцолита) и огромного количества МИК без признаков механичес-

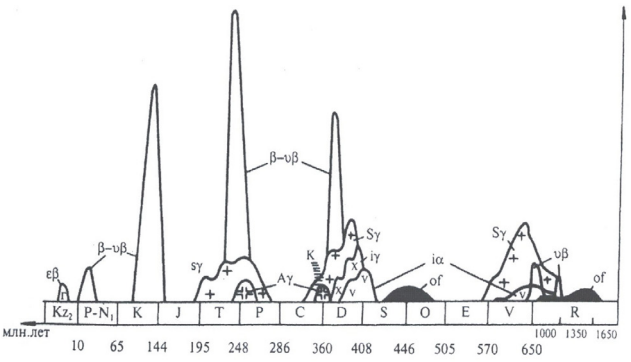


Рис. 1. Время проявления и относительная интенсивность магматической деятельности в Западном и Полярноуральском геоблоках Российской Арктики [6]

кого износа, находок уникальных по своим физико-химическим свойствам алмазов, а также наличию двух промежуточных коллекторов алмаза и МИК в отложениях поздней перми и раннего триаса в южных районах Архангельской области.

В начале XX в. А. П. Карпинским (1919 г.) была высказана мысль о том, что наша планета является единым геологическим объектом и все тектоно-магматические процессы, протекающие в геосинклинальных областях, где они хорошо проявлены, происходят и в стабильных платформах, но менее выражены. Позднее (1934 г.) В. И. Вернадский развил эту мысль и предложил рассматривать Землю «как Галактический объект, только тогда будут поняты полностью геологические процессы, происходящие в ней». На новом уровне (2016, 2017 гг.) эта мысль развита В. А. Кривицким и В. И. Старостиным, которые предложили новую парадигму развития Земли на основе кластерной диссоциации звездного вещества планеты. Активизацию тектоно-магматических процессов на планете Земля эти исследователи связывают с особым положением Солнечной системы в Галактике. Вход Солнечной системы в зону коротации и выход из этой зоны – процесс цикличный, и именно с ним связано проявление тектоно-магматических циклов развития Земли в фанерозое.

Взаимосвязь тектоно-магматических процессов в Западном и Полярноуральском геоблоках Российской Арктики [1] и выделенных этапов кимберлитового и родственного ему магматизма на севере Восточно-Европейской платформы наглядно демонстрируется с помощью сопоставления рисунков 1 и 2 и позволяет обоснованно прогнозировать установление новых этапов проявления кимберлитового магматизма.

По данным аэромагнитных съемок разных лет масштаба 1:200 000 составлена карта аномального магнитного поля для севера Восточно-Европейской платформы, на которой отчетливо проявляются все основные структуры фундамента, древние ядра-кратоны и разделяющие их авлакогены. На основе карты аномального магнитного поля с привлечением гравиметрических и геологических данных составлена тектоническая схема. Практически все проявления кимберлитового магматизма и большая часть находок алмазов приурочены к кратонам и срединным массивам. Именно эти структуры являются наиболее перспективными для обнаружения новых месторождений алмаза. Исключение представляют кимберлиты Среднего Тимана, тектоническая природа которых до настоящего времени остается дискуссионной. По последним данным, Тиман является фронтальной частью надвига Печорской плиты на Русскую, амплитуда надвига составляет около 150 км, поэтому здесь могут быть сохранены мантийные корни стабильного участка земной коры.

Анализ потенциальных полей в пределах Зимнебережного алмазоносного района показал, что все известные проявления кимберлитов располагаются в градиентной зоне гравиметрового поля и зоне положительных значений магнитного поля. Граница этого участка земной коры четкая и может служить одним из критериев прогноза и поисков новых проявлений кимберлитового магматизма во всем регионе. В пределах Архангельской области подобных участков

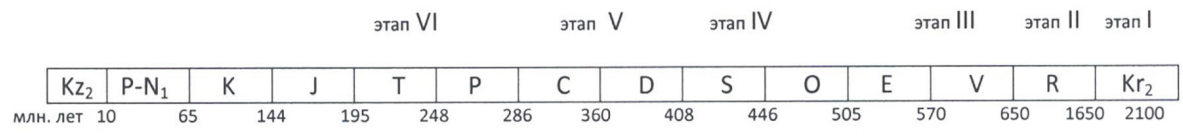


Рис. 2. Время проявления этапов кимберлитового и родственного магматизма на севере Восточно-Европейской платформы

не так много: восточная часть Архангельского срединного массива, восточная часть Кольского кратона, восточная часть Карельского кратона, северная и центральная части Шенкурского кратона.

Следующим шагом сокращения поисковых площадей является установление потенциальных рудовмещающих структур. Цепочечное расположение кимберлитовых трубок и их полей во многих алмазоносных провинциях мира всегда связывалось с наличием глубинного разлома, документация которого прямыми геологическими методами не всегда удавалась. В закрытых регионах, к которым относится Архангельская область, где искомые объекты перекрыты осадочными отложениями различной мощности, а вмещающими породами являются слабоустойчивые песчаники, алевролиты и аргиллиты венда, документация рудовмещающих разломов возможна в карьерах при разработке месторождений. В карьерах месторождения им. Ломоносова (трубки Архангельская и Карпинского 1) рудовмещающий разлом, контролирующий размещение 11 кимберлитовых трубок, хорошо проявляется в «свежих» стенках карьера. По истечению некоторого времени стенки оплывают и разлом становится невидимым. Азимут простирания разлома в карьере СВ 25º, в целом простирание зоны разлома, контролирующей размещение 11 трубок, изменяется в пределах СВ 22º–25º. В карьере месторождения им. Гриба рудоконтролирующий разлом хорошо выделяется в южной и северной «свежих» стенках карьера, азимут простирания разлома СВ 12º. Кроме того наблюдается серия небольших трещин, субпараллельных основному разлому, и трещин северо-западного простирания, совпадающих по направлению с основными структурами фундамента. При детальном анализе материалов аэромагнитных съемок масштаба 1:10 000 и дистанционных материалов высокого разрешения разлом фрагментарно прослеживается в северо-северо-восточном направлении (СВ 10º–12º).

Произведен анализ всех доступных материалов крупномасштабных аэромагнитных съемок, в результате удалось установить большое количество линейных структур субмеридионального простирания по всей Архангельской области – практически вся территория области пронизана ими. Учитывая, что почти все кимберлитовые тела и более древние лампрофиры Зимнебережного алмазоносного района, а также разновозрастные кимберлитовые, лампроитовые поля и отдельные тела Финляндии контролируются линейными структурами (разломами) субмеридионального простирания, можно считать, что подобные структуры на протяжении длительного геологического времени на севере Восточно-Европейской платформы играли роль рудовмещающих.

Таким образом, перспективные участки в пределах кратонов и срединных массивов, рассеченные линейными структурами субмеридионального простирания, должны представлять наибольший поисковый интерес.

Перспективы Зимнебережного алмазоносного района далеко не исчерпаны, зоны разломов, контролирующие трубки Золотицкого поля и трубки им. Гриба, хорошо прослеживаются в северном и южном направлениях. При этом необходимо понимать, что это не абстрактная линия на карте, а именно зона субпараллельных нарушений, шириной от одного до нескольких километров.

Патракеевская площадь расположена в юго-западной части Зимнебережного алмазоносного района. Вся площадь рассечена зонами разломов, контролирующих размещение щелочных лампрофиров поздневендского возраста и известные месторождения алмазов. В пределах площади обнаружены обломки кимберлитов и пикритов, алмазы, большое количество МИК с первичной поверхностью, в частности пироп, хромдиопсид, пикроильменит, хромшпинелид, оливин, флогопит. По результатам высокоточной аэромагнитной съемки масштаба 1:10 000 выявлен ряд локальных магнитных аномалий трубочного типа. Перспективы обнаружения новых алмазоносных трубок очень велики.

Козольская площадь расположена в восточной части Зимнебережного алмазоносного района. Площадь рассечена двумя мощными зонами разломов субмеридионального простирания, на севере этих зон расположены алмазоносная трубка Суксома и поле базальтоидных трубок. Вся площадь покрыта высокоточной аэромагнитной съемкой масштабов 1:5000 (северная часть) 1:10 000 (южная часть), по результатам которой выявлено несколько десятков локальных магнитных аномалий трубочного типа (ЛМА). В их пределах были выполнены наземные геофи-

зические исследования, 17 ЛМА были рекомендованы для заверки бурением. Бурением заверено восемь ЛМА, установлено две кимберлитовые трубки (ЛМА LD-40 и KL-01), на шести ЛМА вскрыты туфогенно-осадочные породы, характерные для трубок взрыва района. Наиболее изученной на текущий момент является трубка KL-01, которая по своим петрохимическим и минералогическим показателем близка к алмазоносной трубке им. Гриба. Возможность обнаружения новых алмазоносных кимберлитовых трубок на площади очень высока.

Восточная часть Карельского кратона, *Лачская площадь*. В пределах площади обнаружены алмазы, обломки кимберлитов, сростки минералов мантийных пород, большое количество МИК без признаков механического износа, среди которых пироп, хромдиопсид, оливин, пикроильменит, хромшпинелид, флогопит. Вся площадь закрыта высокоточной аэромагнитной съемкой масштаба 1:10 000, выявлен ряд ЛМА трубочного типа. После проведения наземных геофизических работ девять ЛМА рекомендовано под заверку буровыми работами. Заверена ЛМА L-03, в результате бурения Скв. L-3/2 в интервале 126,3–126,4 м вскрыты туфогенные породы. Среди других ЛМА есть очень крупные, размером 50 и 100 га, приуроченные к линейным структурам северо-восточного и субмеридионального простирания. Вероятность обнаружения крупного месторождения алмазов достаточно велика.

Шенкурский кратон, *Вельская* и *Шенкурская площади*. В пределах этих площадей установлены алмазы и сотни тысяч МИК в современных аллювиальных отложениях и десятки тысяч МИК в промежуточных коллекторах позднепермского и раннетриасового возраста. Большое количество МИК без признаков механического износа, что свидетельствует о непосредственной близости их коренного источника. Кроме того, в современном аллювии и в базальных отложениях четвертичных отложений установлены алмазы с уникальными физико-химическими характеристиками, что говорит о новых коренных источниках алмазов в этом районе.

Таким образом, потенциал в отношении алмазодобывающей промышленности только начинает раскрываться, вероятность открытия новых месторождений, в том числе крупных, очень высока.

Список литературы:

1. Караго Е. А, Столбов Н. М. Магматизм в неогейской геологической истории акваторий и прибрежных областей Российской Арктики / Российская Арктика: Геологическая история, минерагения, геоэкология. – СПб : ВНИИОкеангеология, 2002. – С. 238–251.
2. Лукьянова Л. И., Мареичев А. М., Мащак И. М. Первые находки лампроитового магматизма на Южном Урале // Доклады РАН. – 1992. – Т. 324. – № 6. – С. 1260–1264.
3. Первов В. А., Саблуков С. М., Богомолов Е. С. и др. Rb-Sr возраст кимберлитов трубки Пионерская (Архангельская алмазоносная провинция) // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 400, № 1. – С. 88–92.
4. Поляков И. В., Калинкин М. М. Новые аспекты алмазоносности кимберлитов Терского Берега Мурманской области // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы Всероссийского совещания. – Сыктывкар : Гепринт , 2001. – С. 121–122.
5. Саблуков С. М., Дудар Л. П., Довжикова Е. Г. и др. Фазы формирования и возраст кимберлитовых трубок Среднего Тимана / Методы крупномасштабного прогноза месторождений алмазов. Труды ЦНИГРИ. – М. : ЦНИГРИ, 1983. – Вып. 182. – С. 64–74.
6. Самсонов А. В., Ларионова Ю. О., Сальникова Е. Б. и др. Изотопная геохимия и геохронология палеопротерозойских метакимберлитов Кимозерского проявления (Центральная Карелия) / Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии. – СПб., 2009. – С. 158–161.
7. Шевченко С. С., Лохов К. И., Сергеев С. А. и др. Изотопные исследования во ВСЕГЕИ. Перспективы использования результатов в целях прогноза и поисков месторождений алмазов / Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50). Материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию открытия первой алмазоносной трубки «Зарница». – СПб. : ВСЕГЕИ, 2004. – С. 383–387.
8. Hugh O·Brien, Marja Lehtonen, Roy Spenser and Andrew Birnie. Lithospheric mantle in eastern Finlandia: a 250 km 3D transect // 8 International Kimberlite Conference. Long abstract, 2003. – 5 p.

9. H. E. O·Brien and M. Tuni. Mineralogy and geochemistry of kimberlites and related rocks from Finland / Proceedings of the 7 International Kimberlite Conference. – 1999. – V. 2. – P. 625–636.
10. Lokhov K. I., Kapitonov I. N., Polekhovsky Y. S., Bogomolov E. S., Sergeev S. A. U-Pb and Lu-Hf isotopic systems in zircons and Hf-Nd isotopic systematization of Precambrian Kimozero kimberlites (Karelia, N-W Russia) / 10 International Kimberlite Conference. Extended Abstract, 2012.

Эргашев Э. Х.[1], Джуманиязов Д. И.[2], Каримова Ф. Б.[2]
[1] АО «Узбекгеологоразведка», г. Ташкент; [2] ИГГ, г. Ташкент

ПЛАТИНОИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОСМАНАЧИ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КЫЗЫЛКУМ, УЗБЕКИСТАН)

В тезисе рассматриваются платиноидная минерализация серебросодержащих пород и минералов месторождения Косманачи. На изучаемом месторождении выделены три стадии минерализации: предрудная, сереброрудная и послерудная. Даны химические составы некоторых сульфидных минералов, а также результаты атомно-абсорбционного анализа на серебро, золото, палладий и платину.

Ключевые слова: Центральный Кызылкум, микроконтинент, месторождение серебра, сульфидная минерализация, рудные минералы, платиноиды, пирит, сфалерит, галенит.

Месторождение Косманачи расположено между городом Зарафшан (20 км к востоку) и карьером месторождения Мурунтау (22 км к запад-северо-западу), в южной части Тамдытауского горного поднятия Центральных Кызылкумов, с абсолютными отметками 516–585 м. В административном плане месторождение расположено в Тамдынском районе Навоийской области [1].

Впервые серебросодержащие кварцевые жилы на юге Тамдытау были обнаружены В. М. Шурыгиным в процессе проведения в этом районе поисковых работ в 1960–1961 гг. Он описал сурьмяно-золото-серебряное рудопроявление и указал на содержание серебра в этих кварцевых жилах в промышленных концентрациях (до 121 г/т).

Интенсивные поиски серебряных месторождений в Центральных Кызылкумах начались в 1960-х гг. Работы увенчались открытием крупных месторождений Косманачи, Высоковольтное, Окжетпес (Г. В. Касавченко, Ю. И. Парамонов, А. К. Воронков, Э. В. Тарасов, В. С. Гаврилюк, Е. Ф. Вельдяев, Т. И. Видусов, А. С. Аристов, В. И. Зонов, В. А. Паздзерский и др.) и выделением ряда перспективных площадей развития золото-серебряного и собственно серебряного оруденения. В 1983–1984 гг. по месторождениям Косманачи, Высоковольтное и Окжетпес были утверждены запасы.

Большой вклад в изучение геологии, минералогии и геохимии серебросодержащих месторождений Узбекистана внесли работы Б. Н. Наследова, А. В. Королева, Ф. И. Вольфсона, Е. К. Тепикина, Г. С. Саркисова. Их продолжили исследования Г. А. Осиповой, И. Л. Яицкого, В. М. Шурыгина, С. Т. Бадалова, Р. П Бадаловой, Л. З. Палея, М. И. Моисеевой, Р. Л. Дунин-Барковского, Э. А. Дунин-Барковской, И. М. Голованова, С. Рузматова, А. А. Землянова, В. П. Пономарева, Г. М. Чеботарева, А. Е. Антонова, Ю. Н. Зверева, Т. Ш. Шаякубова, В. П. Матяша, Ф. И. Исламова, Ю. И. Парамонова, В. В. Поморцева, В. Р. Гейнке, А. Е. Кабо, Р. Г. Юсупова и многих других.

Месторождение размещается в моноклинали, осложненной локальными складчатыми структурами. В локализации оруденения разрывная тектоника играет второстепенную роль. Рудные тела в основном приурочены к протяженным структурам отслоения.

На месторождении Косманачи разведаны 19 рудных тел. Рудные тела приурочены к пологопадающим зонам дробления, брекчирования и отслоения. Они представлены кварцевыми жилами, прожилковыми, плитообразными и линзообразными системами. Им свойственны плоскопараллельные контакты и резкие внешние контуры. По простиранию рудная минерализация прослеживается на 1200–1300 м, по падению – на 1400 м. Размеры рудных тел: по простиранию – от 180 до 500 м, по падению – от 40 до 960 м.

Околорудные изменения пород представлены березитами и аргиллитами. Среди сульфидов преобладают пирит и арсенопирит. Широко развиты окварцевание и сульфидизация. Размещение серебряного оруденения маркируется двумя видами кварца – желваками черного и белым сливным кварцем с доломитом и кальцитом.

На месторождении выделены три стадии минерализации: 1) предрудная (кварц, фосфаты, карбонаты, углеродистое вещество, апатит и шеелит); 2) сереброрудная (золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация, полисульфидная ассоциация, продуктивная – серебросульфосольная, кварц-карбонат-антимонитовая); 3) послерудная (кварц, кальцит, пирит).

Нужно отметить, что в последние годы во всем мире стабильно возрастает интерес к металлам платиновой группы (платина, палладий, рутений, родий, осмий, иридий). Это обусловлено их использованием в различных промышленных отраслях – нефтеперерабатывающей, автомобильной, химической, электронной, медицинской, оборонной, ювелирной, ядерной энергетике, космонавтике, и др. Металлы платиновой группы относятся к разряду стратегического и валютного сырья [3].

Перспективы Республики Узбекистан на платинометалльное оруденение в промышленных масштабах основаны на открытиях в нескольких регионах мира концентраций платиновых металлов, локализованных в черносланцевых толщах. Это новый, нетрадиционный тип оруденения для металлов платиновой группы, который называется кызылкумский (или черносланцевый) тип. Платинометалльные месторождения обнаружены в связи с основными и ультраосновными породами многих регионов, которые интенсивно изучаются.

Основные и ультраосновные породы в Узбекистане связаны так называемым Бельтау – Южноферганским офиолитовым поясом, считающимся продолжением платиноносного пояса Урала в Тянь-Шане. Здесь, также как и на Урале, основные и ультраосновные породы образуют гирлянду небольших альпинотипных интрузивных массивов, приуроченных к зоне влияния Центрально-Кызылкумско-Южноферганского глубинного разлома, считающегося шовной линией некогда сомкнувшихся литосферных плит Южно-Казахстанского и Туркестано-Зеравшанского микроконтинента [2]. ЭПГ-Cu-Ni минерализация, генетически связанная с основными и ультраосновными породами, развитыми в пределах отмеченного пояса, имеет свою специфику. Она часто бывает сопряжена с золоторудной минерализацией. Перспективность основных и ультраосновных пород отдельных районов Узбекистана на обнаружение в них ЭПГ-Cu-Ni минерализации была доказана работами В. В. Баранова, К. М. Кромской, Я. С. Висневского (1978 г.), Юлдашева М. Н. (2001).

По данным Н. П. Ермолаева и др. (1994), содержания палладия в серебряных рудах достигает 7 г/т, по нашим данным, 13,2 г/т, платины – 2,36 г/т, чаще – десятые доли г/т.

Химический состав сульфидных минералов на месторождении Космоначи показал следующие его особенности.

Сфалерит – довольно распространенный минерал платинометалльной ассоциации в Косманачи. Встречается часто в виде гнезд (до нескольких см в поперечнике), но чаще в микроколичествах в сростках с другими сульфидами и сульфосолями. В сфалеритах содержание платины – 1,23 %, палладия в них на порядок меньше. Содержание кадмия в сфалеритах из Косманачи значительно выше, чем из Высоковольтного и Мурунтау. Ртуть обнаружена только в сфалеритах из Косманачи (0,7–0,8 %). В парагенезисе с другими минералами из платинометалльной ассоциации сфалерит встречается в виде вростков в пирите и кварце, сростков с блеклой рудой, жилок сфалерит-галенит-пиритового состава в кварце.

Галенит – очень распространенный минерал, но встречаются в малых количествах и выделяется в микронных размерах. Примеси кобальта и никеля встречаются редко и не превышают 0,11 %. Селен присутствует постоянно (до 1,46–1,74 %). Теллур также постоянно присутствует, но его содержания не превышают 0,42 %.

Акантит – широко распространенный минерал платинометалльной минеральной ассоциации Косманачи. Это основной минерал-концентратор серебра. Примеси Co и Ni встречаются в составе и акантитов в небольших количествах. Характерна постоянная повышенная примесь селена (до 4,16 %). Содержания теллура ниже (0,3–0,43 %). Платина встречается часто, но в небольших количествах.

Результаты атомно-абсорбционного анализа на серебро, золото, палладий и платину позволили сделать следующие выводы:

• платиноиды распределены крайне неравномерно, причем четкой корреляции их с серебром, золотом или содержанием углеродистого вещества не наблюдается;

• для месторождения Косманачи отмечено, что значимые содержания палладия (>0,1 г/т) показали 45 % проанализированных проб, пробы с содержаниями 0,01–0,1 г/т составляют 42 %. В Косманачи иногда наблюдаются высокие (промышленные) содержания как палладия (15,3 г/т), так и платины (3,16–4,65 г/т).

Таким образом, элементы группы платиноидов в Центральном Кызылкуме встречаются в основном на месторождениях Окжетпес, Высоковольтное, Аджебугут, Тамди, Бесапан и других (в черносланцевых толщах Кызылкумов). Платиноиды обнаружены во всех серебросодержащих минералах и минералах серебра. Из приведенных данных можно сказать, что наиболее перспективным объектом для выявления платиноидной минерализации является месторождение Косманачи.

Список литературы:

1. Рудные месторождения Узбекистана / Под. ред. Голованова И. М. – Ташкент : ИМР, 2001. – 660 с.
2. Смирнова С. К., Козлов В. В. Платиноиды в рудах и минералах золоторудных месторождений Узбекистана. // Современные аналитические методы и приборы в геологии и охране окружающей среды. – Ташкент, 1998. – С. 91–92.
3. Юлдашев М. Н. Типы платиноносного оруденения Западного Тянь-Шаня // Труды научно-технической конференции ИГ и ГАН РУз. – Ташкент, 2001. – С. 116–119.

Яблокова С. В., Миляев С. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОРОДНОГО ЗОЛОТА В ОТЛОЖЕНИЯХ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Рассмотрение минералогических и геохимических характеристик позволили получить информацию об альтернативных источниках поступления золота в отложения чехла платформы.

Ключевые слова: самородное золото, Восточно-Европейская платформа, минералогические и геохимические признаки.

Изучение золотоносности рыхлых отложений Восточно-Европейской платформы проводилось на выявленных работами ЦНИГРИ золотоносных площадях при технологических исследованиях четвертичных месторождений песчано-гравийного сырья (ПГС) ледникового и водно-ледникового генезиса конечно-моренных гряд днепровского, московского и валдайского оледенения и в продуктах их аллювиального перемыва [2]. Минералогические и геохимические характеристики получены по результатам изучения самородного золота Северо-Увальненской и Камо-Вятской золотоносных площадей на востоке платформы, Смоленской и Галической – на ее западе.

По гранулометрическому составу золото из ПГС относится к весьма мелкому (-0,25+0,1 мм) и тонкому (-0,1+0,05 мм) классам. Максимальный размер единичных золотин не превышает 2,5–3 мм. Форма золотин в месторождениях ПГС представлена варьирующими соотношениями нескольких морфологических разновидностей. Значительную долю составляют несовершенные кристаллы с округленными ребрами и выпуклыми гранями. Встречаются единичные полногранные кристаллы, сохраняющие первичную морфологию (кубы, октаэдры или кубооктаэдры). К этой же группе относятся друзовидные или губчато-гроздьевидные почковидные сростки. Отмечаются также комковидные, губчатые образования, часто сцементи-

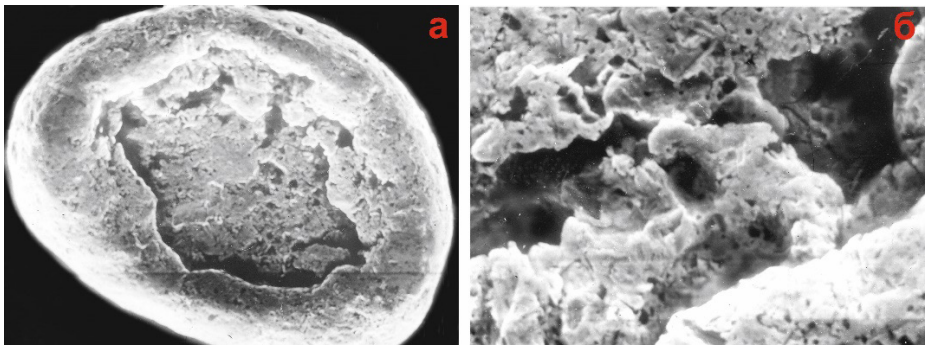


Рис. 1. Тороидальная золотина: а – общий вид, ув. 400; б – наросты пористого «нового» золота на контакте валика и дна тороида, ув. 3000. Растровый электронный микроскоп

рованные ртутью. Часть золота представлена более уплощенными формами – пластинчатыми кристаллами и их сростками, дендритоидами, уплощенными каплевидными – тороидальными золотинами (рис. 1), сложного строения и состава [7]. Происхождение тороидального золота служит предметом дискуссии [4]. Золото платформы в той или иной степени оглажено и относится к слабо- или средне- и хорошоокатанным формам. Отмечается неокатанное золото «рудного» облика (рис. 2).

Внутреннее строение золотин крайне неоднородно и определяется гипергенными коррозионными преобразованиями. Пробность остаточного реликтового золота варьирует от 587 до 947. Собственно высокопробные выделения (980–999) представляют собой продукты глубокого изменения остаточного золота и новообразованные хрупкие агрегаты неясно-зернистого строения и высокой пористости. В количественном отношении полностью измененные в зоне гипергенеза и новообразованные частицы в пределах Смоленской площади составляют 60 %, возрастая до 80 % на Северо-Увальненской площади [5].

Высокопробное «новое» золото могло формироваться не только в результате коррозионного преобразования, но и при отложении его из восходящих растворов.

В формировании золотоносных площадей могли принимать участие восходящие глубинные флюиды. Установлено, что ряд полезных ископаемых, нетипичных для осадочного чехла Восточно-Европейской платформы (золото, уран, редкоземельные элементы), размещается в пределах линейных зон, приуроченных к крупным тектоническим нарушениям глубинного заложения [1]. В качестве источников рудного вещества могли выступать термодегидратационные низкотемпературные растворы [6], формирующиеся в пределах осадочных бассейнов с мощными толщами глинистых пород, преимущественно монтмориллонитового состава. При погружении происходит переход монтмориллонита в гидрослюду с выделением больших масс кристаллизационных вод (10–15 % объема осадочной толщи) повышенной агрессивности и способности выщелачивать из вмещающих пород металлы. Комплексные месторождения золота, ртути, полиметаллов могут быть также связаны с зонами активизированных в фанерозое рифейских рифтогенных структур, где проявлен позднепалеозойский магматизм щелочно-основного и щелочно-ультраосновного рядов [2].

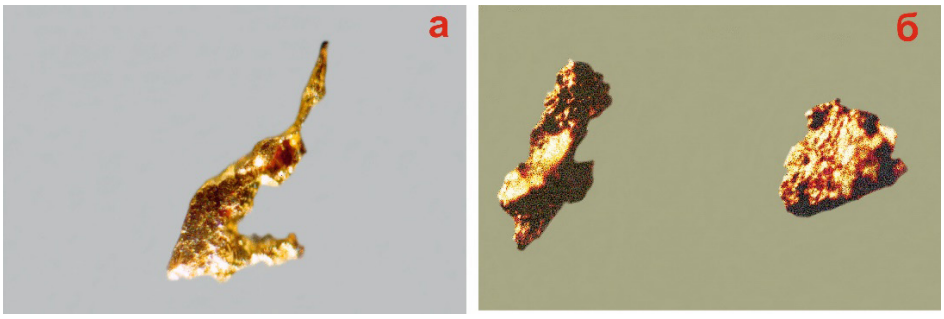


Рис. 2. Золото «рудного» облика: а – интерстициальная золотина, ув. 80; б – комковидно-гемиидиоморфная и дендритовидная частицы, ув. 32. Северо-Увальненская площадь

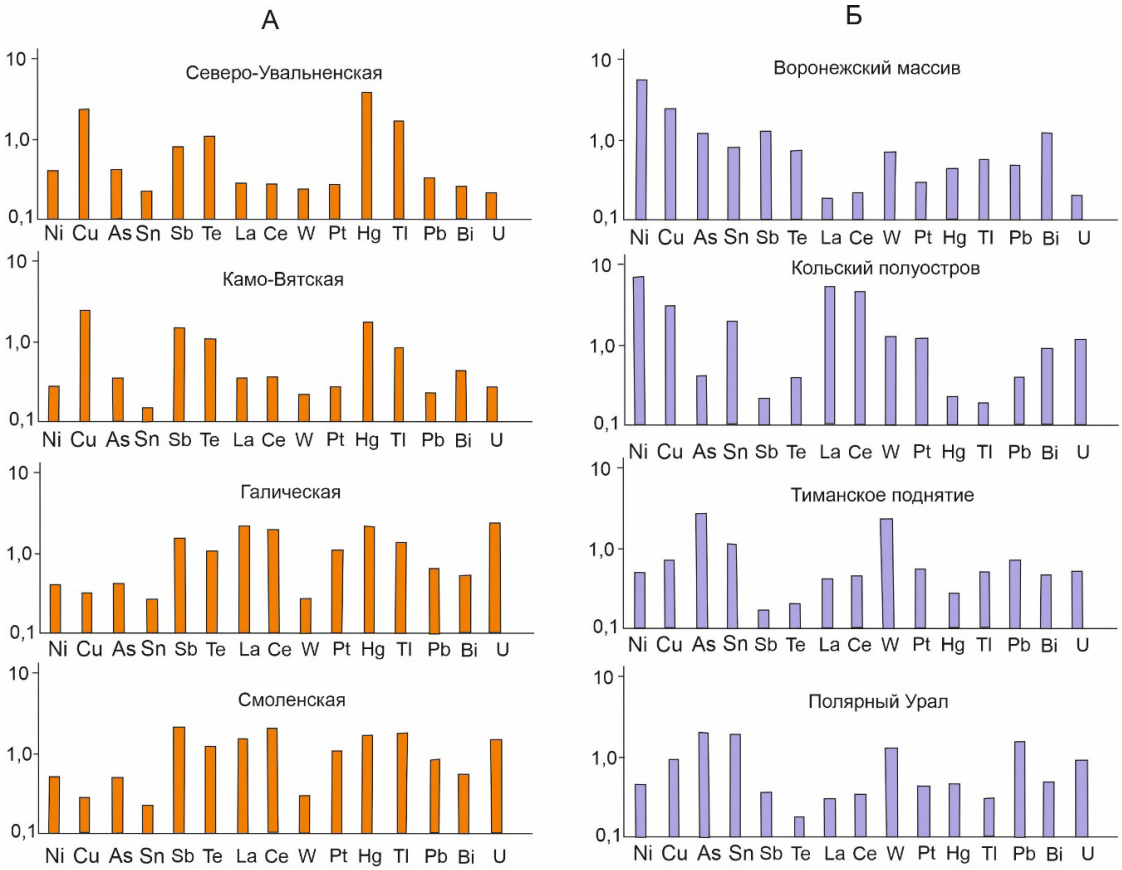


Рис. 3. Нормированные содержания элементов-примесей в золоте Восточно-Европейской платформы (А) и ее обрамлений (Б)

Принято считать, что основными областями питания золотом для Восточно-Европейской платформы служили Балтийский щит, Уральская складчатая система, Тиманское поднятие, Воронежский кристаллический массив, Белорусский свод [5]. На рис. 3 показаны гистограммы распределения нормированных на медиану содержаний элементов-примесей в золоте Восточно-Европейской платформы и ее обрамлений по результатам ICP-анализа образцов самородного золота.

Во всех образцах самородного золота Восточно-Европейской платформы фиксируются повышенные содержания легколетучих (низкотемпературных) элементов (Hg, Tl, Sb, Te). Отмечаются геохимическое сходство и различие для площадей, расположенных в восточной и западной частях платформы. Для Северо-Увальненской и Камо-Вятской площадей на востоке характерны повышенные содержания в золоте Cu, которые отражают его парагенетическую связь с Камо-Вятской зоной меденосных осадков казанского и татарского ярусов P_2. Галическая и Смоленская площади характеризуются повышенными содержаниями в золоте радиоактивных (U, Th), редкоземельных (La, Ce) элементов и платины.

Во всех образцах золота обрамления платформы отмечаются повышенные содержания высокотемпературых элементов (W, Sn). В золоте Воронежского кристаллического массива и Кольского полуострова зафиксированы высокие содержания Ni и Cu. На этих территориях сосредоточены многочисленные месторождения и рудопроявления сульфидных медно-никелевых руд. Точно так же можно объяснить высокие содержания La и Ce в золоте Кольского полуострова, известного своими крупными месторождениями редкоземельных металлов. Самородное золото Тиманского поднятия и Полярного Урала характеризуется повышенными содержаниями As, W, Sn, на фоне пониженных – Sb и Te.

Областью питания золотом Северо-Увальненской и Камо-Вятской площадей считается ближе всех расположенное к ним Тиманское поднятие. Однако по абсолютным содержаниям элементов-примесей в самородном золоте этих областей наблюдается резкое различие. Для Северо-

Увальненской и Камо-Вятской площадей ведущими элементами-примесями являются Hg, Tl, Cu, Te, Sb, а для Тиманского поднятия – As, Sn, W, Pb. По содержаниям элементов-примесей, в первую очередь аномально высоким As и W, золото Тиманского поднятия относится к золото-кварцевому рудно-формационному типу [3].

Типоморфные особенности золота в отложениях чехла Восточно-Европейской платформы свидетельствуют о новообразовании рудного вещества. Во всех образцах самородного золота фиксируются повышенные содержания низкотемпературных элементов (Hg, Tl, Sb, Te), не характерные для золота из общепринятых областей питания. Комплекс минералогических и геохимических характеристик предполагает возможную мобилизацию золота из глубинных источников с низкотемпературными близповерхностными условиями его рудоотложения.

Список литературы:

1. Енгалычев С. Ю. Восходящие флюидные разгрузки и металлогения плитных комплексов Восточно-Европейской платформы // Вестник ВГУ. Серия Геология. – 2011. – № 2. – С. 16–24.
2. Мигачев И. Ф., Кальниченко С. С., Романчук А. И. Перспективы золотоносности Восточно-Европейской платформы // Отечественная геология. – 1995. – № 3. – С. 53–57.
3. Миляев С. А., Самосоров Г. Г., Яблокова С. В., Шатилова Л. В., Позднякова Н. Н. Геохимические особенности самородного золота как прямые признаки рудно-формационной принадлежности проявлений рудного и россыпного золота // Руды и металлы. – 2020. – № 3. – С. 22–31.
4. Никифорова З. С., Филиппов В. Е., Герасимов Б. Б. Влияние эоловых процессов на образование золотых россыпей в различные эпохи развития земли // Геология и геофизика. – 2005. – № 5. – С. 517–528.
5. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н., Яблокова С. В., Шатилова Л. В. Самородное золото рудных и россыпных месторождений России: Атлас. – М. : Акварель, 2015. – 200 с.
6. Чекваидзе В. Б., Исакович И. З. Минерагенические особенности термодегидратационных бассейнов юго-востока Русской платформы // Руды и металлы. – 2018. – № 3. – С. 26-30.
7. Яблокова С. В. О новой морфологической разновидности золота и ее происхождении // Доклады Академии наук СССР. – 1972. – Т. 205, № 4. – С. 936–939.

Якич Т. Ю.[1], Левочская Д. В.[1, 2], Ерофеев А. Е.[1]

[1] ТПУ, г. Томск; [2] Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», г. Хабаровск

ЭТАПЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВЕТЛОЕ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Наука № FSSWW-2023-0010 по теме «Комплексные исследования на базе природных геологических лабораторий».

При изучении вещественного состава метасоматитов и руд эпитермального месторождения Светлое (Хабаровский край) как с помощью традиционного минералого-петрографического подхода, так и с использованием прецизионных способов исследования, выявлено несколько этапов рудообразования, приуроченных к двум палеовулканическим структурам центрального типа. Ранний, соответствующий умеренно-кислотному (IS)-типу оруденения, проявленный в пределах хетанинской свиты, сложенной андезитами, андезибазальтами, их агломератовыми лавами и туфами коньяк-сантонского яруса. Второй этап рудообразования соотносится с кислотно-сульфатным (HS)-типом и связан с более молодой свитой уракского времени кампан-маастрихского яруса, сложенной кислыми породами риолитового состава, дацитами, их игнимбритами, туфами и туфолавами, несогласно залегающей на размытых породах хетанинской свиты.

Метасоматическая зональность раннего этапа рудообразования представлена относительно простой схемой: монокварциты → серицитовые кварциты → пропилиты. Схема метасоматической зональности позднего этапа представляется более сложной и дифференци-

рованной: кварциты различных типов → алунитовые кварциты → диккитовые кварциты → → кварц-иллитовые аргиллизиты → пропилиты.

Золотое оруденение, связанное с ранним этапом рудообразования, представлено двумя главными типами: Au-Ag со средней пробой ~900 ‰ и Au-Ag-Te. Поздний этап оруденения характеризуется преобладанием переотложенного (горчичного) высокопробного золота с пробой до 1000 ‰, а также присутствием самородных теллура, селена, серы, висмута.

Ключевые слова: эпитермальные месторождения золота, вещественный состав руд и метасоматитов, этапы рудообразования, месторождение Светлое, Хабаровский край.

Актуальность настоящего исследования объясняется резко возросшим интересом к эпитермальным месторождениям золота, связанным с проявлением низкотемпературной гидротермальной деятельности в пределах активных континентальных окраин [5–10, 13, 14], ранее не рассматривавшихся как минерально-сырьевая база золота России ввиду отсутствия знаний о технологиях разработки подобных объектов.

С геолого-структурной позиции эпитермальное месторождение Светлое приурочено к Ульинскому прогибу мелового возраста, сложенному вулканическими образованиями Охотско-Чукот-

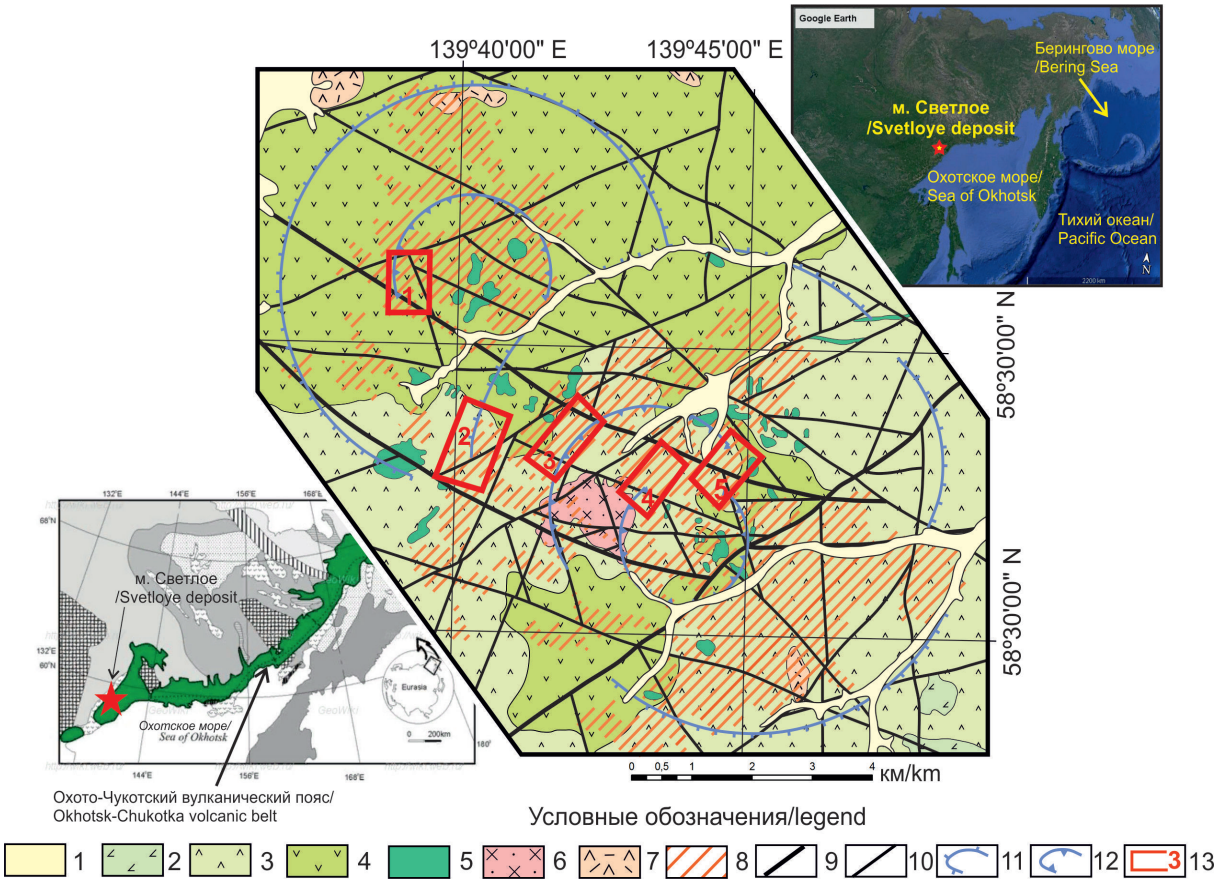


Рис. 1. Схематическая геологическая карта эпитермального месторождения Светлое (составлена с использованием материалов Б. А. Новоселова и ООО «ПД РУС» с добавлениями и корректировками авторов):

1 – современные аллювиальные отложения (Q_{IV}); 2 – андезитовые базальты хакаринской свиты (K_2); 3 – лавы, туфы, игнимбриты уракской свиты (K_2); 4 – андезитовые лавы, андезибазальты, андезитовые туфы хетанинской свиты (K_2); 5 – штоки и дайки базальтовых андезитов хакаринского базальтового комплекса (K_2); уракский дацит-риолитовый комплекс (K_2): 6 – гранодиорит-порфировые штоки, 7 – дацитовые штоки и дайки; 8 – области распространения вторичных кварцитов и других метасоматитов; разломы: 9 – региональные, 10 – прочие; 11 – палеовулканические структуры; 12 – структуры проседания; 13 – рудные зоны месторождения: 1 – Эми, 2 – Людмила, 3 – Тамара, 4 – Елена, 5 – Лариса

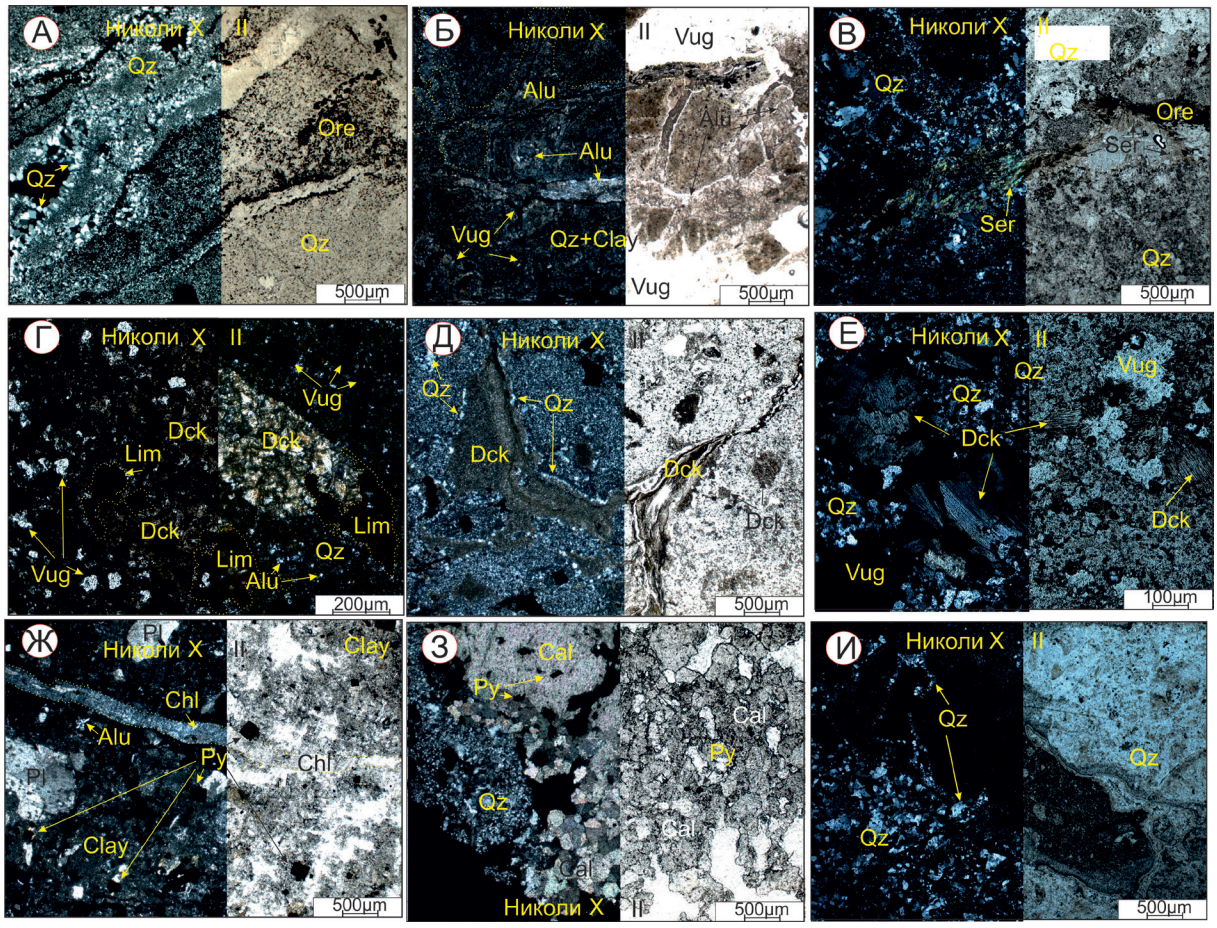


Рис. 2. Фотографии полированных прозрачных шлифов, демонстрирующие основные метасоматиты раннего (А–В) и позднего (Г–И) рудных этапов месторождения Светлое:
А – *пористый монокварцит* с текстурами обрастания в виде друз идиоморфного кварца (Qz) и рудных минералов (Ore) по стенкам порового пространства; Б – *алунитовый кварцит* с трещиновато-прожилковой текстурой и порфировидной структурой. Основная масса породы представлена темно-коричневым микрокристаллическим кварц-глинистым (Qz+Clay) агрегатом, нарушенным трещинами и пустотами (Vug) шириной до 1 мм. Трещины заполнены микрозернистым алунитом (Alu); В – *серицитовый кварцит* с аллотриоморфнозернистым, микрозернистым кварцем (Qz) и незначительным количеством глинистых минералов с веерообразными скоплениями кристаллов серицита (Ser). Рудная минерализация (Ore) отмечается как в прожилках, так и виде мелкой вкрапленности, равномерно рассредоточенной в основной массе; Г – окисленный *алунит-диккитовый кварцит*, отобранный из верхней части разреза рудной зоны Елена позднего этапа. Основная масса сложена микрокристаллическим кремнеземом (Qz), среди которого развивается глинисто-гидроокисный агрегат (Lim). Поры и полости (Vug) часто заполнены призматическими кристаллами алунита (Alu) среди которого встречается чешуйчатый диккит (Dck); *диккитовый кварцит*, сложенный микрокристаллическим кремнеземом (Qz), среди которого развивается диккит-(Dck)-гидроокисный агрегат (Д), и более крупные кристаллы диккита (Dck) (Е) второй генерации, встречающиеся в породах, обрамляющих монокварциты и алунитовые кварциты; Ж – *кальцит-лептохлоритовый аргиллизит*, представленный измененным туфом с литокристаллокластической структурой, измененный глинистыми минералами (Clay) с вкрапленниками пирита (Py) и прожилком лептохлорита (Chl) мощностью до 0,25 мм. Местами сохраняются лейсты плагиоклаза (Pl), которые узнаются по полисинтетическому двойникованию и габитусу кристаллов. В породе отмечаются округлые скопления алунита (Alu); З – *кварц-кальцитовый метасоматит,* сложенный кальцитом (Cal), глинистым агрегатом, кварцем (Qz) и пиритом (Py); И – *пористый монокварцит*, сложенный аллотриоморфнозернистым микрозернистым кварцем (Qz), среди которого выделяются более крупные зерна, как единичные, так и в виде изометричных и линейных скоплений, микро- и мелкозернистого мозаичного кварца (до 1 мм)

ского вулканического пояса [11, 12], и к двум разновозрастным палеовулканическим структурам центрального типа (рис. 1).

Северо-западная структура вмещает рудную зону Эми хетанинского времени, а юго-восточная, сложенная более молодыми породами уракского времени, – рудные зоны Елена, Тамара, Людмила и Лариса. Хетаниская свита образована андезитами, андезибазальтами, их агломератовыми лавами, реже туфами. Наиболее широко развиты пироксеновые андезиты темно-серого, почти черного цвета.

Уракская свита несогласно залегает на размытых породах хетанинской свиты. Она сложена стекловатыми и кислыми породами риолитового состава, дацитами, белыми, серовато-сиреневыми и кремово-желтыми игнимбритами, а также различными туфами и туфолавами (см. рис. 1).

В тектоническом аспекте отмечаются продольные (относительно простирания Охотско-Чукотского вулканического пояса) региональные северо-восточные и значительные поперечные северо-западные разрывы. Субвулканические интрузии и две палеовулканические постройки с кальдерами проседания тяготеют к узлам сопряжения разломов. В кальдерах этих палеовулканов и на их склонах встречаются многочисленные метасоматиты, в том числе вторичные кварциты. Области с промышленно значимой золотой минерализацией контролируются зонами сочленениями кольцевых разломов, ограничивающих кальдеры проседания, с разломами северо-западного простирания [1–3].

Основные метасоматиты *раннего рудного этапа* представлены монокварцитами с различной степенью выщелачивания и пористости, алунитовыми и серицитовыми кварцитами (рис. 2, А–В), в меньшей степени пропилитами [4, 15].

Зона окисления в пределах рудных зон *позднего этапа* проявлена в значительно большей степени и определяется по присутствию ярозита, лимонита, брушита, микасаита, диадохита и т. д., составляя примерно 30–100 м. Основные метасоматиты данного этапа представлены монокварцитами, алунит-диккитовыми и диккитовыми кварцитами, кальцит-лептохлоритовыми и кварц-кальцитовыми метасоматитами (см. рис. 2, Г–И) [4, 15].

При типизации эпитермальных месторождений важное значение, помимо характеристики метасоматитов и жильных минералов, играет состав гипогенных сульфидов [10]. Наиболее распространенным сульфидом месторождения Светлое является *пирит*. Для рудной стадии раннего этапа характерен сложный и неоднородный химический состав пирита ($Fe_{0,87–1,13}$,$Cu_{0,0–0,12}$, $As_{0,0–0,02}$,$Sb_{0,0–0,06}$,$Te_{0,006–0,03}$)$(S,Se_{0,0–0,01})_2$, содержащего обильное количество примесей, в том числе перманентное содержание примеси меди (до 4,7 вес. %). При этом отличительной особенностью является разнообразие морфологических разновидностей этого минерала и одновременное сонахождение колломорфной и кристаллической.

Вторыми по распространенности выступают блеклые руды преимущественно группы *теннантит-тетраэдрита;* их химический состав меняется в следующих границах ($Cu_{2,93–11,99}$, $Fe_{0,0–6,44}$, $Zn_{0–1,74}$,$Ag_{0,0–0,36}$)$(Sb_{0,0–3,88}$,$As_{0,0–4,0}$,$Bi_{0,0–0,51}$,$Te_{0,0–2,68})S_{13}$.

Блеклые руды в основном распространены в пределах рудной стадии раннего этапа и характерны для рудной зоны Эми. Также ей присущ весьма специфичный набор минералов: *эмплектит* ($Cu_{0,42–0,45}$, $Fe_{0,40–0,46}$)$(Bi_{0,69–0,65}$, $Ag_{0,07–0,09})(S_{1,96}$, $Se_{0,04})$, *голдфилдит* ($Cu_{9,93–12.0}$, $Fe_{0,0–1,74}$, $Ag_{0,0–0,36}$)$(Te_{1,41–2,68}$, $Sb_{0,0–2,54}$, $Bi_{0,0–0,28}$, $As_{0,0–1,28})S_{13}$, *хемусит* ($Cu_{5,46–6,27}$, $Fe_{0,0–0,33})Sn_{0,75–1,07}(Mo_{0,93–1,32}$, $Sb_{0,0–0,27})S_8$, *колорадоит* ($Hg_{0,77–0,94}Te$), *калаверит* ($Au_{0,71–0,91}Ag_{0,0–0,19}$, $Fe_{0,0–0,19}$, $Cu_{0,0–0,15}$,Te_2), *сильванит* ($Au_{0,86–1,67}Ag_{0,4–2,31}$, $Fe_{0,06–0,39}$, $Mo_{0,2–0,77}$, $Ta_{0,04–0,08}Te_4$), *мутманнит* ($Au_{0,55}Ag_{1,26}$, $Fe_{0,18}$,$Mo_{0,05}Te_2$), *петцит* ($Ag_{2,93–3,4}Au_{0,93–0,97}$, $Fe_{0,17–0,44}Te_2$), *штютцит* ($Ag_{4,43–5,14}Au_{0,06–0,07}$,$Fe_{0,6}$, $Bi_{0,15}Te_3$), *мелонит* ($Ni_{0,92–1,00}Te_2$), *алтаит* ($Pb_{0,90}Te$), *теллурантимон* ($Sb_{1,65–2,2}$, $Bi_{0,15–0,7}Te_3$) и более классические традиционные *халькопирит* ($Cu_{0,68–1,09}$, $Fe_{0,66–1,19})S_2$, *сфалерит* ($Zn_{0,74–1,0}$, $Fe_{0,01–0,11}$, $Cu_{0,01}$, $Na_{0,19})S$ и *галенит* ($Pb_{0,89–1,12}$, $Fe_{0,0–0,14})S$ [15].

Самородное золото этого этапа помимо серебра также обогащено примесями меди, теллура, таллия и характеризуется средней пробой ~900 ‰.

Для более позднего этапа рудоообразования, развитого в пределах уракской свиты, характерно преобразование первичных минералов и их переотложение в виде вторичных минералов и самородных фаз. Так исходный галенит замещается *бурнонитом* $Pb_{0,83–0,96}(Cu_{0,90–1,09}$, $Fe_{0,0–0,91})$ $(Sb_{0,64–0,98}$, $As_{0,0–0,41})S_3$, халькопирит – *вторичным (гипергенным) ковеллином* ($Cu_{0,81–0,88}Fe_{0,03–0,13})S$, золото самоочищается от примесей и становится более высокопробным до 1000 ‰, при этом выделяются самородный теллур, висмут, сера и т. д.

Список литературы:
1. Ананьев Ю. С., Житков В. Г., Поцелуев А. А. Дистанционная прогнозно-поисковая модель эпитермальных Au-Ag месторождений (на примере рудного поля Светлое, Хабаровский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 5. – С. 84–92.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России /под ред. А. И. Ханчука. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 981 с.
3. Мишин Л. Ф. Вторичные кварциты и их связь с золоторудной минерализацией месторождения Светлое (Россия) (Ульинский прогиб, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс) // Тихоокеанская геология. – 2011. – Т. 30. – № 4. – С. 32–48.
4. Левочская Д. В., Якич Т. Ю., Лесняк Д. В., Ананьев Ю. С. Гидротермально-метасоматическая зональность, флюидный режим, и типы золотого оруденения участков Эми и Елена эпитермального рудного поля Светлое (Хабаровский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 10. – С. 17–32.
5. Hedenquist J. W., Arribas R. A. Exploration for epithermal gold deposits // Reviews in Economic Geology. – 2000. – V. 13. – P. 245–277.
6. Hedenquist J. W., Izawa E., Arribas A., White N. C. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration // Resource Geology. – 1996. – V. 1. – P. 1–15.
7. Henley R. W. Epithermal deposits in volcanic terranes // Gold Metallogeny and Exploration. –Glasgow : Blackie, 1991. – P. 133–164.
8. Lindgren W. Mineral deposits. – New York ; London : McGraw-Hill Book Company, 1933. – 930 p.
9. Sillitoe R. H. Epithermal models, genetic types, geometrical controls and shallow features // Mineral Deposits Division, Special Paper. – Saint John's : Geological Association of Canada, 1993. – P. 403–417.
10. Sillitoe R., Hedenquist J. Linkages between volcano-tectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits // Society of Economic Geologists Special Public. – 2003. – V. 10. – P. 315–343.
11. Tikhomirov P. L., Akinin V. V., Ispolatov V. O., Alexander P., Cherepanova I. Y., Zagoskin V. V. The Okhotsk-Chukotka volcanic belt: age of its northern partaccording to new Ar-Ar and U-Pb geochronological data // Stratigraphy and Geological Correlation. – 2006. – V. 14. – P. 524–537.
12. Tikhomirov P. L., Kalinina E. A., Kobayashi K., E. Nakamura. Late Mesozoic silicic magmatism of the North Chukotka area (NERussia): age, magma sources, and geodynamic implications // Lithosphere – 2008. – V. 105. – P. 329–346.
13. White D. E. Thermal springs and epithermal ore deposits // Economic Geology. – 1955. – V. 55. – P. 99–154.
14. White N. C., Hedenquist J. W. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration // SEG Newsletter. – 1995. – V. 23. – P. 1–9.
15. Yakich T. Y., Ananyev Y. S., Ruban A. S., Gavrilov R. Y., Lesnyak D. V., Levochskaia D. V., Savinova O. V. and Rudmin M. A. Mineralogy of the Svetloye epithermal district, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, and its insights for exploration // Ore Geology Reviews. – 2021. – V. 136 –104257.

Паламарчук Р. С.[1], Степанов С. Ю.[1], Петров С. В.[2]
[1] ФГБУН «ИГГ им. А.Н. Заварицкого УрО РАН», г. Екатеринбург;
[2] ФГБОУ «СПбГУ», г. Санкт-Петербург

СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В КЛИНОПИРОКСЕНИТАХ И ГАББРО ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ № 22-17-00027, https://rscf.ru/project/22-17-00027/.

Работа включает в себя обобщение результатов минералогических и геохимических исследований пироксенитов и габброидов Платиноносного пояса Урала. Установлена связь минералов благородных металлов с вкрапленными медными сульфидами (борнит, халькопирит), а также общее совпадение ассоциаций минералов благородных металлов в клинопироксенитах и массивов Урало-Аляскинского типа. Главным отличием ассоциаций минералов благородных металлов в пироксенитах и габбро от хромититов и дунитов является почти полное отсутствие интерметаллидов ЭПГ при преобладании сульфидов (высоцкит) и теллуридов (меренскиит) Pd. Наибольшая концентрация благородных металлов (в основном Pd+Au) отмечается для массивных сульфидных руд Волковского месторождения (до 9 г/т), в то время как в сульфидизированных клинопироксенитах и габбро концентрация ЭПГ+Au редко превышает 1 г/т. Хондрит-нормализованное распределение ЭПГ и Au в пироксенитах и габбро характеризуется резким положительным наклоном с повышенными концентрациями в породах Pd и Au, в то время как концентрация Os, Ir, Ru, и Rh находится ниже пределов обнаружения.

Ключевые слова: Платиноносный пояс Урала, элементы платиновой группы, габбро, клинопироксениты, медно-благороднометалльная минерализация, минералы золота.

Массивы Урало-Аляскинского типа хорошо известны во всем Мире благодаря связанными с ними платиновыми россыпями, которые отрабатываются уже больше чем 200 лет. Для многих массивов известны коренные проявления платины в хромититах в дунитовых частях, с разрушением которых связывают формирование россыпей. Кроме дунитов, массивы Урало-Аляскинского типа сложены клинопироксенитами и габброидами, которые составляют в общей сложности до 75 % Платиноносного пояса Урала. Кроме известных с середины XX века месторождений титаномагнетита в пироксенитах и комплексных медно-титаномагнетит-благороднометалльных месторождений в габброидах, повсеместно в пироксенитах и габброидах массивов Урало-Аляскинского типа распространена медно-сульфидная вкрапленность с повышенными концентрациями благородных металлов (Pd, Pt, Au). Так, в Британской Колумбии этот класс массивов приобретает все большее значение в качестве объектов разведки магматических медно-благороднометалльных месторождений, обедненных никелем (например, Turnagain, [8]; Giant Mascot, [6]; массив Tulameen, [9]). Несмотря на то, что именно в пределах Платиноносного пояса Урала (ППУ), в средней его части, действуют крупные по запасам месторождения титаномагнетита в пироксенитах (Качканарское и Гусевогорское месторождения) и комплексное медно-титаномагнетит-благороднометалльное в габброидах (Волковское месторождение), изученность клинопироксенитов и габброидов других частей ППУ с точки зрения медно-благороднометалльного оруденения остается слабой.

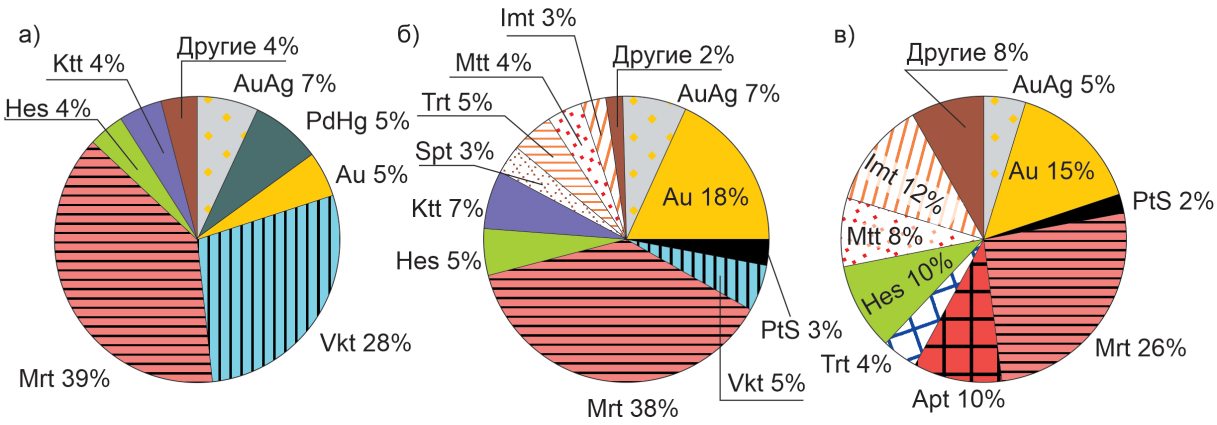


Рис. 1. Ассоциация минералов благородных металлов из сульфидизированных пироксенитов Качканарского массива (а, 46 зерен), амфиболовых габбро с халькопирит-борнитовой вкрапленностью массива Серебрянский Камень (б, 97 зерен) и габброидов Кумбинского массива (в, 71 зерно). Mrt – меренскиит, Hes – гессит, Ktt – котульскит, AuAg – сплав Au и Ag, PdHg – потарит, Au – самородное золото, Vkt – высоцкит, Spt – сперрилит, Trt – тернрусит, Mtt – мертиит, Imt – изомертиит, PtS – куперит

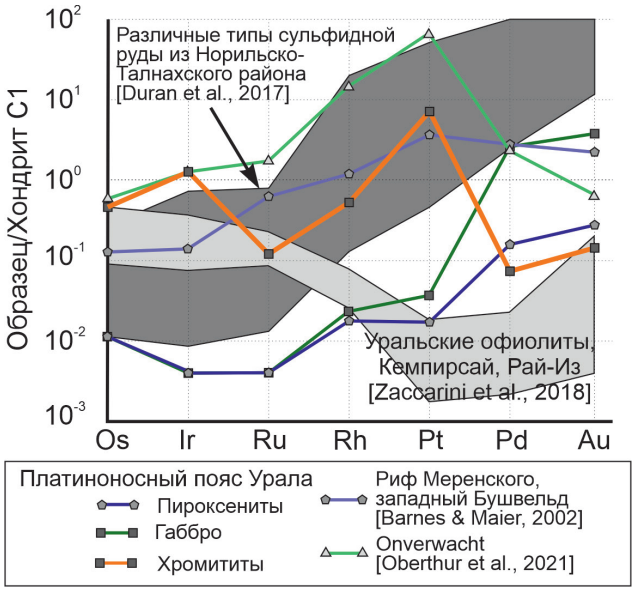


Рис. 2. Хондрит-нормализованное [7] содержание ЭПГ и Au в ультраосновных-основных массивах различного типа [5; 12]. Содержание ЭПГ и Au приведено среднее по породам [10]

В нашей работе приводятся обобщающение результатов анализа концентраций элементов платиновой группы (ЭПГ) и Au в сульфидизированных клинопироксенитах Качканарского массива [10], амфиболовых габбро массива Серебрянский Камень [3] и габбро Кумбинского массива [2], а также вещественная характеристика ассоциаций минералов платиновой группы и минералов золота из этих пород. Концентрации ЭПГ и Au были получены методом пробирной плавки с ICP-MS окончанием. Минералы ЭПГ и Au были выделены из гравитационных концентратов аналогичных пород, после чего были изучены с помощью методов электронной микроскопии.

Большинство МПГ и минералов Au в пироксенитах связаны с вкрапленным медно-сульфидным оруденением (борнит и халькопирит). В клинопироксенитах, не содержащих сульфидов и титаномагнетитовой руды, МПГ и минералы Au встречаются очень редко (единичные зерна стибиопалладинита в пироксенитах Светлоборского массива). Аналогично редко встречаются минералы благородных металлов в магнетитовых пироксенитах (единичные зерна меренскиита в рудных пироксенитах Качканарского месторождения). В пироксенитах с сульфидной минерализацией преобладают сульфиды (высоцкит) и теллуриды (меренскиит) Pd (рис. 1), редко встречаются арсениды. Среди самородных элементов и сплавов в изученной ассоциации встречаются самородное золото и Au-Ag сплавы, обычно в виде включений в сульфидах. Отмечаются находки меркуридов Pd (потарит и др.).

В изученных габбро МПГ встречаются в ассоциации с вкрапленной халькопирит-борнитовой минерализацией, которая в редких случаях может слагать 10–15 об. % породы. Наиболее распространен в этих породах меренскиит с образованием идиоморфных включений в борните, реже встречается самородное золото и разнообразные Au-Ag-Cu сплавы [10]. Остальная ассоциация сложена широким набором минералов, в том числе бортниковитом (Pd4Cu3Zn), высоцкитом ((Pd,Ni)S), котульскитом (Pd(Te,Bi)2-x), тернруситом (Pd11As2Te2), арсенопалладинитом (Pd8(As,Sb)3), мертиитом (Pd8Sb2.5As0.5), изомертиитом (Pd11Sb2As2), майчнеритом (PdBiTe) и др. Были обнаружены также арсениды и антимониды ЭПГ.

Абсолютные концентрации ЭПГ и Au в пироксенитах и габбро с вкрапленной сульфидной минерализацией сопоставимы и обычно лежат в пределах 0,1–1 г/т суммы ЭПГ и Au, причем содержания Os, Ir, Ru и Rh лежат ниже предела обнаружения. Содержание Pt обычно не превышает 50 ppb. Концентрация Pd и Au резко возрастает с увеличением доли сульфидов меди в породе. Так, для массивных сульфидных руд Волковского месторождения (50 мас.% Cu) были получены содержание Pd до 0,8 г/т и содержание Au до 0,3 г/т.

Хондрит-нормализованное распределение благородных металлов в габбро показывает постепенное обогащение пород от Rh+Pt к Pd+Au с крутым наклоном тренда между Pt и Pd (рис. 2). Распределение благородных металлов в пироксенитах характеризуется схожей картиной, отличаясь меньшими абсолютными концентрациями Pd+Au.

Характер изменения распределения ЭПГ и Au в дунитах, хромититах, пироксенитах и габбро Урало-Аляскинских массивов (см. рис. 2) может объясняться их генетической связью, обусловленной последовательной эволюцией родоначального магматического расплава, сформировавшегося в результате плавления одного субстрата в сходных геодинамических условиях. С целью сравнительного анализа характера распределения ЭПГ и Au в ультраосновных-основных массивах различных типов в работе приведены литературные данные для сульфидных руд

Норильско-Талнахского рудного района и Уральских офиолитовых массивов, которые рассматриваются в качестве типичных примеров связи благородных металлов с хромититами и сульфидными рудами соответственно. Сходство характера распределения благородных металлов в ультраосновных-основных интрузивах различных генетических типов подчеркивает важную роль несмесимых сульфидных расплавов в формировании медно-благороднометалльного оруденения с Pd и Au специализацией в клинопироксенитах и габбро ППУ. Для интрузивов и массивов с развитием хромититов отмечается совсем другой спектр ЭПГ, причем Ir-Pt, местами Os-Ir-Pt распределение, характерное для хромититов Урало-Аляскинских массивов обладает некоторыми сходными чертами с характером распределения ЭПГ в офиолитовых хромититах.

Таким образом, ассоциации минералов благородных металлов в пироксенитах и габбро схожи по многим параметрам, таким как генетическая связь с сульфидами меди (борнит, халькопирит), преобладание сульфидов и теллуридов Pd, почти полное отсутствие интерметаллидов ЭПГ, широкое распространение сплавов состава Au-Ag-(Cu). При этом для платиноидной минерализации в габбро отмечается большее минеральное разнообразие. Охарактеризованные ассоциации минералов благородных металлов сопоставимы с ранее полученными данными по благороднометалльному оруденению Волковского месторождения (габброиды) [1, 4] и Баронского рудопроявления (клинопироксениты) [11]. Особенности распределения ЭПГ и Au в клинопироксенитах и габбро также схожи. Хондрит-нормализованные тренды характеризуются резким положительным наклоном с преобладанием в геохимической ассоциации Pd и Au, в то время как концентрация Os, Ir, Ru и Rh находится ниже пределов обнаружения, а концентрация Pt – около пределов обнаружения.

Обнаружение все большего количества объектов, потенциальных на медно-благороднометалльное оруденение с широким распространением вкрапленных сульфидных медных руд позволяет пересмотреть рудный потенциал пироксенитов и габбро массивов Урало-Аляскинского типа.

Список литературы:

1. Аникина Е. В., Алексеев А. В. Минералого-геохимическая характеристика золото-палладиевого оруденения в Волковском габбро-диоритовом массиве (Платиноносный пояс Урала) // Литосфера. – 2010. – № 5. – С. 75–100.
2. Михайлов В. В., Степанов С. Ю., Петров С. В., Паламарчук Р. С. Благороднометалльная минерализация в габброидах Кумбинского массива, Платиноносный пояс Урала (Северный Урал) // Минералогия. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 79–93.
3. Михайлов В. В., Степанов С. Ю., Козлов А. В., Петров С. В., Паламарчук Р. С., Шиловских В. В., Абрамова В. Д., Корнеев А. В. Новое медно-благороднометалльное рудопроявление в габбро массива Серебрянского Камня, Платиноносный пояс Урала (Северный Урал) // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 6. – С. 520–550.
4. Мурзин В. В., Пальянова Г. А., Аникина Е. В., Молошаг В. П. Минералогия благородных металлов (Au, Ag, Pd, Pt) Волковского Cu-Fe-Ti-V месторождения (Средний Урал) // Литосфера. – 2021. – Т. 21, № 5. – С. 653–659.
5. Duran C. J., Barnes S-J., Plese P., Kudrna Prasek M., Zientek M. L., Page P. Fractional crystallization-induced variations in sulfides from the Noril'sk-Talnakh mining district (polar Siberia, Russia) // Ore geology reviews. – 2017. – № 90. – P. 326–351.
6. Manor M. J., Scoates J. S., Nixon G. T. and Ames D. E. The Giant Mascot Ni-Cu-PGE deposit, British Columbia: mineralized conduits in a convergent margin tectonic setting // Economic Geology. – 2016. – № 111. – P. 57–87.
7. McDonough W. F., Sun S. The composition of the Earth // Chem. Geol. – 1995. – № 120. – P. 223–253.
8. Nixon, G. T., Scheel J. E., Friedman R. M., Wall C. J., Gabites J., Miller D., and Scoates J. S. Geology and geochronology of the Turnagain ultramafic-mafic intrusion, British Columbia // British Columbia Geological Survey Geoscience Map 2017-1, scale: 1:10 000 (2 Sheets). –2017.
9. Nixon G. T., Manor M. J., Jackson-Brown S., Scoates J. S., and Ames D. E. Magmatic Ni-Cu-PGE sulphide deposits at convergent margins, in Targeted Geoscience Initiative 4: Canadian Nickel-

Copper-Platinum Group Elements-Chromium Ore Systems – Fertility, Pathfinders, New and Revised Models, Geological Survey of Canada Open File 7856. – 2015. – P. 19–34.
10. Stepanov S. Yu., Palamarchuk R. S., Kutyrev A. V., Shilovskikh V. V., Petrov S. V. Mineralogy and geochemistry of platinum-group elements in the zoned mafic-ultramafic intrusions of the Uralian Platinum belt, Russia // Journal of geochemical exploration. – 2023. – № 246 (246). – P. 1–16.
11. Zaccarini F., Anikina E., Pushkarev E. I., Rusin I., Garuti G. Palladium and gold minerals from the Baronskoe-Kluevsky ore deposit (Volkovsky complex, Central Urals, Russia) // Miner. Petrol. – 2004. – № 82(1–2). – P. 137–156.
12. Zaccarini F., Garuti G., Pushkarev E., Thalhammer O. Origin of Platinum group minerals (PGM) inclusions in chromite deposits of the Urals // Minerals. – 2018. – № 8 (9). – P. 379. https://doi.org/10.3390/min8090379

Gao Yongwei
Xi'an Center of China Geological Survey, China
China-SCO Geosciences Cooperation Research Center, Ministry of Natural Resources, China

CHARACTERISTICS OF PYRITE AND IMPLICATIONS ON THE ORE-FORMING MECHANISM OF KATEBA'ASU GOLD DEPOSIT, WESTERN TIANSHAN, CHINA

The Central Asian orogenic belt (CAOB) hosts a large number of world-class large gold and copper deposits. The Chinese Western Tianshan is located in the southwestern margin of the CAOB. The Kateba'asu gold deposit is a newly discovered large-scale gold deposit in the Weatern Tianshan, with a proven resource of 87 tons of gold. The gold ore bodies are strictly controlled by the NE-, NEE-trending faults. The main Au mineralization belongs to the altered rock type. Pyrite is the predominant sulfide mineral, closely related to Au mineralization. The research on detailed mineralogy of pyrite was conducted. Four stages of hydrothermal Au mineralization have been identified: pyrite-quartz-sericite (stage I), quartz–pyrite (stage II), gold-polymetallic sulfide (stage III) and quartz-carbonate (stage IV). Based on the physical and geochemical characteristics of the pyrite in different stages, the Kateba'asu gold deposit is considered to be a magmatic hydrothermal type.

Keywords: Kateba'asu gold deposit, Pyrite mineralogy, Physical and geochemical characteristics, Western Tianshan, Central Asian orogenic belt.

The Central Asian Orogenic Belt (CAOB, also known as the modified Altaids) is situated among the Siberia and Baltica cratons to the north and the Tarim and North China cratons to the south (Xiao et al., 2015). It has a prolonged history of subduction, accretion and collision of island arcs, oceanic plateaus, and micro-continents from 1250 to 250 Ma (Xiao et al., 2015). The Central Asian orogenic belt is a world famous giant metallogenic province, which hosts a large number of world-class large gold and copper deposits, such as the Muruntau, Kumtor, Kalmakyr, Makmal, Zarmitan, Jilau and many other large or super-large gold deposits (Figure 1) (Kempe et al., 2015; Graupner et al., 2001, 2006; Goldfarb et al., 2001, 2014; Bierlein et al, 2010; Cole et al., 2000). The Chinese Western Tianshan is located in the southwestern margin of the CAOB. From north to south, the Chinese Western Tianshan can be tectonically subdivided into the North Tianshan, Kazakhstan – Yili block, Central Tianshan and South Tianshan. They are separated by the North Tianshan Fault, Nikolaev Line–North Nalati Fault and the Atbashi–Inylchek–South Nalati Fault (Fig. 1b; Abzalov, 2007; Biske and Seltmann, 2010; Xue et al., 2014).

The Kateba'asu gold deposit located on the northern margin of the Central Tianshan and near the Nikolaev Line-North Nalati Fault (Sun et al., 2023), is a newly discovered large-scale gold deposit, with a proven resource of 87 tons of gold. The ore district is characterized by voluminous Devono-Carboniferous granitoids that have intruded the Lower Silurian Bayanbulak group, which is composed of mafic-intermediate volcanic rocks, marble and limestone (Fig. 3). There are a large amount of granitoids in the Kateba'asu district, consisting of syenogranite, monzogranite and granodiorite. The Au mineralization are controlled by NE-NEE trending fault fracture zones. Sixteen ore bodies have been recognized in the deposit.

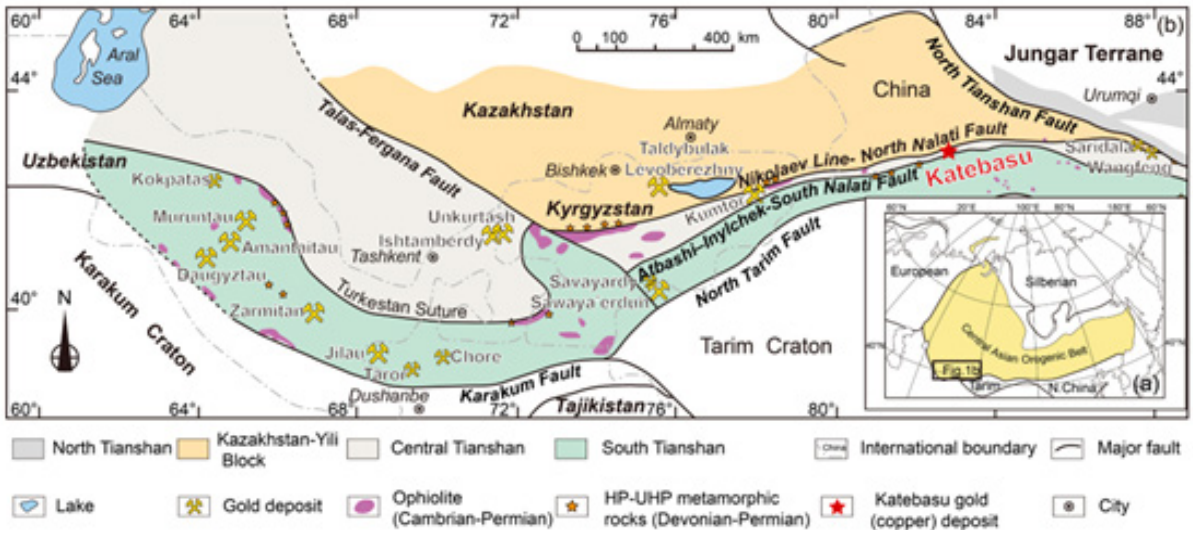


Fig. 1. (a) Schematic tectonic map of the Central Asian Orogenic Belt and the location of the Western Tianshan orogen. (b) Simplified tectonic framework of the Western Tianshan orogen, showing the locations of major gold deposits (modified after Xue et al., 2014; Sun et al., 2023).

The main mineralization belongs to the altered rock type. Pyrite is the predominant sulfide mineral, closely related to gold mineralization. Four stages of hydrothermal Au mineralization have been recognized: pyrite-quartz-sericite (stage I), quartz-pyrite (stage II), gold-polymetallic sulfide (stage III) and quartz-carbonate (stage IV). From early to late stage, the morphology of pyrite is characterized by evolution from coarse-grained, euhedral-subhedral shape to medium grained, euhedral-subhedral (maily cube), to medium-fine grained, euhedral pyrite, to subhedral-anhedral (mainly cube, pyritohedron, octahedron) and to fine-grained single cubic crystal, indicating a decreased temperature of ore-forming fluid . The early stage of mineralization is under conditions of higher temperature, low oversaturation, low fO2 and fS2 ,and the fluid of the mainly gold stage is relatively higher fO2 , fS2 and oversaturation .The earlist stage pyrite contains high Co, Ni contents, in contrast to the pyrites formed in the main mineralization stages with a slightly higher contents of Ag, Se, Te, As, Cu, Zn and, Sb. High Co/Ni ratios (1−10) and low Au/Ag ratios(>1) of pyrites suggest a magmatic-hydrothermal origin.

Bismuth and tellurium bearing minerals are firstly discovered. The good positive correlation between Au, Bi and Te in pyrite, suggests that Bi and Te play a significant role in gold precipitation. Compared to the early stage, the pyrites formed in the main mineralization stage are characterized by decreased total REE and strong negative Eu anomaly. The Ce anomalies of pyrite are not obvious, indicating the ore-forming fluid is reduced. The δDH2O of the quartz ranging from − 80,7 ‰ to − 107,0 ‰, and the calculated δ18OH2O (from 1,6 ‰ to 11,0 ‰,) indicate the ore-forming fluid is a mixture of magmatic

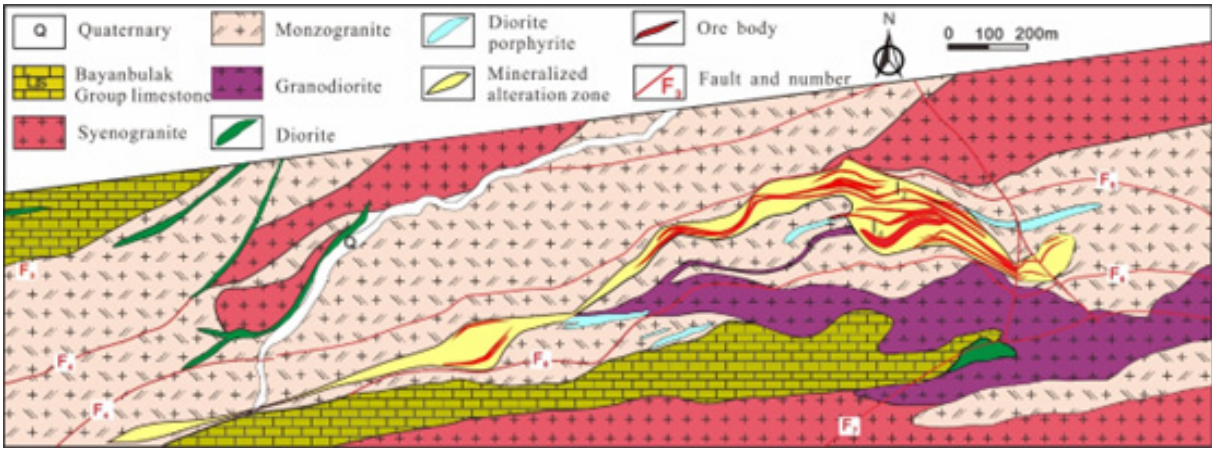


Fig. 2. Geological map of the Kateba'asu gold deposit (modified after Gao et al., 2015).

fluids and meteoric water. The values of δ34S of pyrite from 5,8 ‰ − 12,15 ‰, show a tower style distribution, which indicates that the sulfur mainly comes from magmatic source and may be mixed into the strata.Lead isotope compositions of the pyrite (206Pb/204Pb: 18,106 to 8,896; 207Pb/204Pb: 15,557 to 15,647; 208Pb/204Pb: 37,954 to 38,851) suggest the lead may have a mixed source of crust and mantle. Meanwhile,the ore-host monzogranite and strata may also contribute to the mineralization. Based on the analysis of pyrite mineralogy, isotopic geochemistry and previous studies, we propose that the Kateba'asu gold deposit is a magmatic hydrothermal deposit, and the genetic model of the deposit is established.

References:

1. Bierlein F. P., Wilde A. R. 2010. New constraints on the polychronous nature of the giant Muruntau gold deposit from wall-rock alteration and ore paragenetic study [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 57:839 – 854.
2. Biske Y. S., Seltmann R. 2010. Paleozoic Tian-Shan as a transitional region between the Rheic and Urals-Turkestan oceans. Gondwana Research, 17:602 – 613.
3. Cole A., Wilkinson J. J., Halls C., Serenko T. J. 2000. Geological characteristics, tectonic setting and preliminary interpretations of the Jilau gold–quartz vein deposit, Tajikistan. Mineralium Deposita, 35:600 – 618.
4. Gao Y. W., Zhang Z. L., Wang Z. H., Yang W. Z., Ban J. Y., Dong F. C., Tan W. J. 2015. Geochronology of the Katabaasu gold deposit in West Tian Shan and its geological significance: Evidence from 40Ar–39Ar isotopic ages of sericite. Geology and Exploration, 51(5) :805–815 (in Chinese with English abstract).
5. Goldfarb R. J., Groves D. I., Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Ore Geology Reviews, 18:1 – 75.
6. Goldfarb R. J., Taylor R. D., Collins G. S. 2014. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia. Gondwana Research, 25:48 – 102.
7. Graupner T., Kempe U., Spooner E. T. C., Irmer G. 2001. Microthermometric, laser Raman spectroscopic, and volatile/ion chromatographic analysis of hydrothermal fluids in the Paleozoic Muruntau Au–quartz vein ore field, Uzbekistan. Economic Geololy, 96:1 – 23.
8. Kempe U., Seltmann R., Graupner T., Rodionov N., Sergeev S. A., Matukov D., Kremenetsky A. A. 2015.Concordant U–Pb SHRIMP ages of U-rich zircon in granitoids from the Muruntau gold district (Uzbekistan): Timing of intrusion, alteration ages,or meaningless numbers . Ore Geology Reviews, 65:308 – 326.
9. Sun J. B., Qin K. Z. Chen W., Liu Y. H., Shen Z., Zhang B., Zhang Z. Y., Xing L., Zhao S. M., Zhang W., Yin J. Y. 2023. Exhumation history of the Katebasu gold–copper deposit, Western Tianshan, NW China: Constraints from (U–Th)/He and fission-track thermochronology. Ore GeoloGY Revoews, 152:105220.
10. Xiao W. J., Windley B. F., Sun S., Li J. L., Huang B. C., Han C. M., Yuan C., Sun M., Chen H. L. 2015. A tale of amalgamation of three Permo-Triassic collage systems in central Asia: oroclines, sutures, and terminal accretion. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 43:477–507.
11. Xue Chun-ji, Zhao Xiao-bo, Mo Xuan-xue, Dong Lian-hui, Gu Xue-xiang, Nurtaev B., Pak N., Zhang Zhao-chong, Wang Xin-li, Zu Bo, Zhang Guo-zhen, Feng Bo, Liu Jia-ying. 2014. Asian gold belt in western Tianshan and its dynamic setting,metallogenic control and exploration [J]. Earth Science Frontiers, 21(5) :128 – 155 (in Chinese with English abstract).

СОДЕРЖАНИЕ

Аббасов Н. А., Рустамова Р. Е., Гулиев И. Ф., Гусейнова А. Н.
ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ СИСТЕМ ДАМИРЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МАЛОГО КАВКАЗА 3

Авдонин Г. И.
ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД СПОСОБОМ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ 6

Авилова О. В.
ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧУКОТКИ 10

Агибалов О. А., Зубова Т. П., Позднякова Н. Н.
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКОМ ОПРОБОВАНИИ ЗОЛОТОНОСНОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЕРАВНЕНСКОЙ ПЛОЩАДИ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ) 13

Алексеев Я. В., Корчагина Д. А.
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И РЕСУРСОВ В ОЦЕНКЕ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ МСБ МЕДИ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗАДАЧ ПО ЕЕ ВОСПРОИЗВОДСТВУ 14

Андреев А. В. Двуреченская С. С., Лейбгам П. Н.
УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТО-МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ РУД СЕВЕРО-МАМБЕТОВСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН) 16

Арипова М. К.
УСЛОВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ В ЭОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ 20

Афанасьев В. П., Ковалевский В. В.
О ПРОИСХОЖДЕНИИ КАРБОНАДО 23

Ахмедов М. Ш.
СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ УРАНОВОРУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В КАРКАТИНСКОЙ ВПАДИНЕ 24

Ахмедова Н. Ю.
ФОРМИРОВАНИЕ СЕРНОКОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЧИРАГДАРИНСКО-ТОГАНАЛИНСКОГО ТИПА 27

Ащепков И. В., Зинченко В. Н., Иванов А. С.
ОЦЕНКА АЛМАЗОНОСНОСТИ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ МОНОМИНЕРАЛЬНОЙ ОКСИ- И ТЕРМОБАРОМЕТРИИ ПЕРИДОТИТОВ И ЭКЛОГИОТОВ 30

Бабаянц П. С., Контарович О. Р., Трусов А. А.
АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ РАБОТ НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ 34

Багатаев Р. М., Алхасов Б. А.
СОДЕРЖАНИЕ Au И Ag В КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ КУРУШ-МАЗИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (СЛАНЦЕВЫЙ ДАГЕСТАН) 37

Барышев А. Н.
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАГЕНИИ, ИХ МЕСТО В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПРОГНОЗА И РАСШИРЕНИИ КОМПЛЕКСНОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ 40

Бечвая А. Д., Юрченко О. С.
ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ АЛМАЗОНОСНЫХ ТАКСОНОВ В РАЙОНАХ ПОЛИХРОННОГО КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА 43

Божко Н. А.
О НЕКОТОРЫХ ВАЖНЫХ РУБЕЖАХ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ АЛМАЗОНОСНОГО МАГМАТИЗМА 48

Бондаренко П. В., Корсаков А. В.
НЕЙРОННАЯ СЕТЬ КАК НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ В КОЛИЧЕСТВЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ 51

Борисов В. В., Ратьков С. С., Юсуфов Б. С.
ВОЗМОЖНОСТИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСТОРИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ 54

Бровченко В. Д., Юдовская М. А., Радько В. А., Абрамова В. Д., Петренко Д. Б., Служеникин С. Ф.
ОБРАЗОВАНИЕ БОГАТЫХ РОДИЕМ РУД НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА И ФОРМА НАХОЖДЕНИЯ В НИХ ЭПГ 56

Бужинская Е. В., Селиванов П. В.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТОСУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ШИЛГОН (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)) 59

Вахрушев А. М., Уварова Е. А.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ФГБУ «ЦНИГРИ» 62

Викентьев И. В., Блоков В. И., Криночкин Л. А.
НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ВОРОНЦОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ НА СЕВЕРНОМ УРАЛЕ 66

Викентьев И. В., Спирина А. В., Соболев И. Д., Травин А. В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ДАТИРОВАНИЯ ДАЙКИ ГАББРО В ПРЕДЕЛАХ НОВО-УЧАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ) AR-AR МЕТОДОМ 69

Внучков Д. А., Макарова М. А., Боева Н. М., Шипилова Е. С., Лопухин М. А.
РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ОБЛОМОЧНЫХ БОКСИТОВ В ЛАТЕРИТНЫХ ПОКРОВАХ ПРОВИНЦИИ ФУТА ДЖАЛОН-МАНДИНГО (ЗАПАДНАЯ АФРИКА) 71

Воробьев С. А.
АТМОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ЛАНДШАТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ 74

Гаранин В. К.
АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ. ОТКРЫТИЕ, ОСВОЕНИЕ, ДОБЫЧА АЛМАЗОВ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ 78

Георгиевский А. Ф., Бугина В. М., Георгиевский А. А.
РЕЗУЛЬТАТЫ РЕВИЗИОННЫХ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ПЛОЩАДЕЙ УЧЕБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ РУДН НА ЮЖНОМ УРАЛЕ 80

Гирфанов М. М., Истомин В. А., Федоров Д. Т., Сватков А. С.
УЧАСТИЕ ФГБУ «ЦНИГРИ» В МЕЖДУНАРОДНОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ В ОБЛАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР 84

Глухов А. Н., Колова Е. Е.
СДВИГОВЫЕ ДУПЛЕКСЫ – РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КОНИ-ПЬЯГИНСКОГО РАЙОНА ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ВУЛКАНОГЕННОГО ПОЯСА..... 87

Голубев С. Ю.
ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ ПЕРЕНОСА АЛМАЗОВ В СОСТАВЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕК ОЛЕНЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ ЯКУТИИ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА..... 88

Голубев Ю. К., Прусакова Н. А.
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОТКРЫТИЕ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ..... 92

Гонгальский Б. И.
СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УДОКАН-ЧИНЕЙСКОГО РАЙОНА..... 94

Гончар А. Д., Соатов Н. Т.
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЯХ УЗБЕКИСТАНА..... 97

Граханов О. С., Кошкарев Д. А.
О ВЫБОРЕ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В ЛЕНО-АНАБАРСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ СУБПРОВИНЦИИ..... 98

Гриценко Ю. Д., Юдовская М. А., Кондрикова А. П., Гильбрихт С., Шонвельдд Л., Барнс С. Дж., Годель Б. М., Служеникин С. Ф., Петренко Д. Б., Сейфер Т.
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ (МПГ), РОЛИ МАГМАТИЧЕСКОЙ ДЕГАЗАЦИИ И ФЛЮИДНОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ МПГ В МАЛОСУЛЬФИДНЫХ РУДАХ НОРИЛЬСКИХ ИНТРУЗИВОВ..... 102

Гуревич Д. В., Полонянкин А. А.
КОНДЁР – КЕТ-КАП: ДВА ГЛАВНЫХ ЭТАПА ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖЕНИЙ ЗОЛОТА И МПГ.....106

Гурьянов В. А, Матвеев А. В.
НИКЕЛЕНОСНОСТЬ КУН-МАНЬЁНСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ОБРАМЛЕНИЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)..... 109

Дамдинов Б. Б., Викентьев И. В., Дамдинова Л. Б., Минина О. Р.
ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕЗИСА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЗЕРНИНСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ).....112

Дамдинова Л. Б., Дамдинов Б. Б.
УСЛОВИЯ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ РУД ОЗЕРНОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ).....115

Данилов А. А., Домаренко В. А., Журавлев В. Г.
О ПЕРСПЕКТИВАХ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЗОЛОТА ЭЛЬКОНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА 118

Дементеенко Л. И.
ТИПЫ ОРУДЕНЕНИЯ ЯККАБАГСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЮЖНЫЙ УЗБЕКИСТАН)..... 121

Денисова А. А., Мишенин С. Г. Щербатых М. О.
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЙСКОЕ В ЗМЕИНОГОРСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ)..... 124

Джангиров М. Ю., Четвертаков И. В., Половьян В. А.
СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ШЛИХОВОГО, БОРОЗДОВОГО И ВАЛОВОГО ОПРОБОВАНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ ТЕХНОГЕННОЙ РОССЫПИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮРСКИЙ В НЕРЮНГРИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) 129

Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б., Нематуллаев С. Ю.
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАСОМАТИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАРМИТАН (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)..... 132

Ежков Ю. Б., Захидов А. Р., Холиеров А. Т., Рахимов Р. Р., Тошметов У. Х.
Au-Sb-Hg ОРУДЕНЕНИЕ ХРЕБТА ЧАКЫЛКАЛЯН ЮЖНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ (МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СТРУКТУРЫ И ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ) 134

Ежков Ю. Б., Холиеров А. Т., Тошметов У. Х., Рахимов Р. Р.
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ЗОНАЛЬНОСТЬ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД СЕРЕБРОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОСМАНАЧИ (УЗБЕКИСТАН) 136

Житков В. Г., Ананьев Ю. С., Поцелуев А. А.
СТРУКТУРЫ КОМСОМОЛЬСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПЛОЩАДИ ОРТОН-ФЕДОРОВСКОГО РУДНОГО РАЙОНА В МАТЕРИАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК 138

Звездов В. С., Мигачев И. Ф.
МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С КОМПЛЕКСНОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЕЙ АНДЕЗИТОИДНЫХ И БАЗАЛЬТОИДНЫХ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ..... 141

Зинченко В. Н., Иванов А. С.
СОСТАВЫ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ КАТОКА И ЕЁ ТРУБОК-СПУТНИКОВ (АНГОЛА) НА ДИАГРАММЕ МИТЧЕЛЛА – НОВЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ ИХ МИНЕРАГЕНИИ..... 145

Зинчук Н. Н.
ЛИТОГЕНЕЗ ДРЕВНИХ ОСАДОЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ИХ АЛМАЗНАЯ МИНЕРАГЕНИЯ 149

Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н.
ДРЕВНИЙ ГИПЕРГЕНЕЗ И АЛМАЗНАЯ МИНЕРАГЕНИЯ 153

Ибрагимова А. А., Ткачева Е. А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ ИЗУЧЕННОСТИ ФГБУ «РОСГЕОЛФОНД» ДЛЯ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ 157

Иванов А. И.
ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ ПОЛИХРОННЫХ И ПОЛИГЕННЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ..... 160

Иванов А. С., Специус З. В.
КОМПЛЕКС ДИАГРАММ (Q-R КОД) СОСТАВОВ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТСКОЙ И АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИЙ 163

Иванова И. И.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДА РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ПОЛЕВЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ 3D МОДЕЛИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОБЪЕКТА С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ЕГО ПЕРСПЕКТИВНОСТИ..... 166

Иващенко Я.
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... 171

Ивлева Е. А., Пак Н.Т.
ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ И КРУПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В КЫРГЫЗСТАНЕ 172

Игнатов П. А., Еременко Р. У., Васильев А. П., Мальков А. А., Мальцев М. В.
ПРИЗНАКИ РУДОВМЕЩАЮЩИХ СТРУКТУР СЮЛЬДЮКАРСКИХ КИМБЕРЛИТОВ И НА ПОИСКОВОЙ ПЛОЩАДИ БЕСТЯХ НА СЕВЕРЕ МАЛО-БОТУОБИНСКОГО РАЙОНА 176

Изох А. Э.
ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВОГО МАГМАТИЗМА ЮГА СИБИРСКОГО КРАТОНА И СВЯЗАННОЕ С НИМ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ 179

Истомин В. А.
ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ НИЖНЕЮРСКИХ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ 181

Казаков В.Ф.
РАЗВЕДКА И РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАЛНАХСКОГО РУДНОГО УЗЛА 183

Калинин А. А., Кудряшов Н. М.
ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ЗОЛОТА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА 184

Калинин Ю. А., Шелепаев Р. А., Жимулёв Ф. И., Томиленко А. А., Куйбида М. Л., Хусаинова А. Ш., Греку Е. Д., Яковлев В. А., Шаповалова М. О., Затолокина К. И.
К МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ОРУДЕНЕНИЯ «КУМРОЧСКОГО ТИПА» (КАМЧАТКА) 188

Калита В. А., Алексеев Я. В.
К ВОПРОСУ УЧЕТА РОССИЙСКИХ ЗАПАСОВ УПОРНЫХ РУД 192

Калмыков Б. А., Трусов А. А.
ОСОБЕННОСТИ ОТРАЖЕНИЯ ПОГРЕБЕННЫХ РУДОНОСНЫХ ИНТРУЗИЙ В АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ 194

Камагурова С. В.
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ЗОЛОТОРУДНОГО УЧАСТКА НИЖНЕКЕНЖАСАЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАУЛЬДЫ 196

Каминский Ф. В.
РАННЯЯ ИСТОРИЯ ПОИСКОВ АЛМАЗОВ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ И РОЛЬ ЦНИГРИ В ОТКРЫТИИ ЭТОЙ ПРОВИНЦИИ 198

Каргин А. В., Носова А. А., Сазонова Л. В., Лебедева Н. М.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ РАСПЛАВОВ С ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИЕЙ, ПРИМЕР ИЗУЧЕНИЯ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ТРУБКИ ИМ. В. ГРИБА, АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ 200

Карабаев М. С., Кодиров О. З., Юсупов А. Б., Садиров Р. М.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ РАЗНОВИДНОСТЯХ ПОРОД И МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЗОНАХ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ) 203

Каргин А. В., Носова А. А., Сазонова Л. В., Лебедева Н. М.
АЛМАЗОНОСНОСТЬ КИМБЕРЛИТОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ, РОССИЯ: ВРЕМЯ ВНЕДРЕНИЯ И ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ПРОМЫШЛЕННО АЛМАЗОНОСНЫХ И НЕАЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ 205

Каримова Ф. Б., Джуманиязов Д. И.
БЛАГОРОДНЫЕ И ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫЧЕКУ АЛМАЛЫКСКОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН) 209

Кашин С. В., Шатов В. В., Белова В. Н., Афанасьева Е. Н., Михайлов В. А.
МЕТАМОРФИЗОВАННЫЕ БЕРЕЗИТЫ УНИКАЛЬНОГО ОЛИМПИАДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА: ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ 211

Керимли У. И., Абдуллаева Ш. Ф., Мамедова Т. А.
ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ И ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЕ НОВЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ОРДУБАДСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН) 215

Кетров А. А., Юдовская М. А., Шелухина Ю. С., Веливецкая Т. А., Паламарчук Р. С.
ИСТОЧНИКИ И ЭВОЛЮЦИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СЕРЫ СУЛЬФИДОВ ХАРАЕЛАХСКОГО И ПЯСИНО-ВОЛОГОЧАНСКОГО ИНТРУЗИВОВ (НОРИЛЬСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН) 220

Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Смирнов М. Ю., Кирсанов Г. А.
ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ – НОВЫЙ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЫВЛЕНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПОРОД 223

Кислов Е. В.
МЕТАЛЛОГЕНИЯ СЕВЕРО-БАЙКАЛЬСКОЙ ЭПГ-CU-NI-НОСНОЙ ПРОВИНЦИИ 226

Ковалев С. Г., Ковалев С. С.
РАССЛОЕННЫЙ КУСИНСКО-КОПАНСКИЙ КОМПЛЕКС, ЮЖНЫЙ УРАЛ: НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПЕРСПЕКТИВАХ МЕТАЛЛОНОСНОСТИ 228

Козлов Г. А., Молчанов А. В., Белова В. Н., Семенова В. В.
РЕСУРСНАЯ БАЗА МАРГАНЦЕВЫХ И ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ РУД РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 232

Колесник А. Ю.
ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ КИМБЕРЛИТОВ ДАЛДЫНО-АЛАКИТСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА 236

Колова Е. Е., Глухов А. Н.
МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНОГО ПРИОХОТЬЯ – ПОИСКОВЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ 237

Колова Е. Е., Глухов А. Н.
ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ ОСНОВЕ – ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗЕДОЧНЫХ РАБОТ 240

Конкин В. Д.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СВЯЗЬ СТРАТОИДНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ И СТРАТИФОРМНЫХ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЯХ 243

Конышев А. А.
ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА СУЛЬФИДНЫХ РАСПЛАВОВ, СУЩЕСТВОВАВШИХ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГРАНИТ-ПОРФИРОВ, АССОЦИИРУЮЩИХ С ГРАНИТАМИ РАПАКИВИ (САЛМИНСКИЙ БАТОЛИТ, КАРЕЛИЯ) 246

Конышев В. О.
К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМАТИКИ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ СОБСТВЕННО ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ТРАДИЦИОННЫХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ ДЛЯ РФ 249

Косбергенов К. М.
МАЛЫЕ ИНТРУЗИИ И ДАЙКИ ГОР КАРАТАУ (ЮЖНЫЙ НУРАТАУ) 253

Костровицкий С. И., Гаранин К. В.
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СОСТАВА КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ ЯКУТИИ 256

Криволуцкая Н. А.
М. Н. ГОДЛЕВСКИЙ – ОСНОВОПОЛОЖНИК ТЕОРИИ МАГМАТИЧЕСКОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ В НОРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ 259

Кряжев С. Г., Двуреченская С. С., Тышкевич А. В., Берковский Е. М., Старостин И. А.
СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИГЕННО-ПОЛИХРОННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВЕРХНЕТАТАРСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПЛОЩАДИ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ) 261

Кудрявцева Н. Г.
КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ МАЙКАИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА – ПАЛЕОЗОЙСКИЙ АНАЛОГ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИПА «КУРОКО» 264

Кудряшов Н. М., Калинин А. А., Галеева Е. В., Удоратина О. В., Гроув М.
ВРЕМЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО (LI, CS, TA) ПЕГМАТИТООБРАЗОВАНИЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА 265

Кужугет Р. В., Анкушева Н. Н., Хертек А. К., Монгуш А-Д. О.
БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АК-СУГ (ВОСТОЧНЫЕ САЯНЫ, РОССИЯ)..... 268

Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В.
ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИЕ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНОГО АЛТАЯ 271

Купенко В. И., Проскурня Ю. А.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ДОНБАССА 274

Лазарев Р. А., Серпуховитина Т. Ю., Серпуховитин В. В.
СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПРИКОНТУРНЫЙ МАССИВ КАРЬЕРА (НА ПРИМЕРЕ НАТАЛКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АО «ПОЛЮС МАГАДАН») 277

Лапковский А. А., Горских П. П. Ромашко В. В.
РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА ЛЕБЯЖНИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (НОРИЛЬСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН) 280

Лаптева А. М., Дорожкина Л. А., Мустафа Т. С., Пузанова М. Ю.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИРОВЫХ РЕСУРСОВ И ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ КАК ФАКТОР РИСКА РАЗВИТИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ 281

Лебедева М. И.
О ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ 284

Лебедева М. И., Белоусова А. А.
ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НСАМ № 392-Х/РС («ЗОЛОТИНКА») С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ГРР НА ТПИ..... 286

Лешуков С. И.
ПРОБЛЕМЫ ОТКРЫТИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА СЕВЕРЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В ПРЕДЕЛАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ..... 287

Лихоман О. А.
РОЛЬ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ОБРАЗОВАНИИ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА (ОРЕНБУРГСКИЙ УРАЛ) 289

Лось В. Л.
ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО, МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКРЫТЫХ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ 292

Мавлянов П. Н., Бакиев С. А.
К РЕЗУЛЬТАТАМ КАЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД СЕНОМАНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ..... 297

Малых О. Н.
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОВ И НОВЫЕ ФАКТЫ В ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ ЮЖНОЙ АФРИКИ..... 300

Малютина А. В., Дорошкевич А. Г., Жукова И. А., Прокопьев И. Р.
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ЗОНАЛЬНОСТЬ КАРБОНАТИТОВОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ FE-REE-NB МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУКТУКОН (ЧАДОБЕЦКОЕ ПОДНЯТИЕ, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)..... 303

Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Керимли У. И., Исмаилова А. М., Мамедова А. Г., Азайева Х. Р., Гусейнов А. И., Шамиев Р. А.
ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ И НОВЫХ ТИПОВ ОРУДЕНЕНИЯ МЕХМАНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (КАРАБАХСКОЕ ПОДНЯТИЕ, АЗЕРБАЙДЖАН)..... 308

Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Кулиев И. Ф., Мамедова Т. А.
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ И ВЫСОТНЫХ СНИМКОВ В ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ И ИХ ГЕОЛОГО-ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА (НА ПРИМЕРЕ МЕХМАНИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, МАЛЫЙ КАВКАЗ) 311

Марипов Б. Б., Рахимов Д. Р.
ПЕТРОГАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАНОСИЕНИТОВ, РАСПРОСТРАНЕННЫХ НА РУДНОМ ПОЛЕ КАТЫРТАС (ГОРЫ ВОСТОЧНЫЙ БУКАНТАУ)..... 314

Марипова С. Т., Мовланов Ж. Ж., Рахматуллаев Ф. Ф.
СТАТИСТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ УЗБЕКИСТАНА (ЗАПАДНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ) 317

Махоткин И. Л., Дубягин В. П.
АЛМАЗОНОСНОСТЬ И ПАЛЕОГЕОТЕРМИЯ МАНТИЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ ЕРМАКОВСКАЯ-7 ТЕРСКОГО БЕРЕГА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА 320

Махоткин И. Л., Дубягин В. П.
АЛМАЗОНОСНОСТЬ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ 323

Мизерная М. А., Зикирова К. Т., Айтказыев Т. М., Пяткова А. П., Кузьмина О. Н., Ойцева Т. А., Пятков А. П., Агеева О. В.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛЕНИНОГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, РУДНЫЙ АЛТАЙ..... 327

Молчанов А. В., Белова В. Н., Семенова В. В.
ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГДП (ГМК)-200 НА ЗОЛОТО НА ОСНОВЕ СОСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА КАРТ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРОГНОЗА БОЛЬШЕОБЪЕМНЫХ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ И ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ МАСШТАБА 1:2 500 000 331

Молчанов В. П., Цянь Е., Сун Фенгуй
БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ И СЕВЕРО-ВОСТОКА КИТАЯ 333

Морохин А. И., Шумилова Т. Г.
УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОКОЖЕЛЕЗИСТОЙ РАЗНОВИДНОСТИ БОРНИТА К ДИФФУЗИИ МЕДИ ПРИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МЕДНЫХ РУД 335

Мочалов А. Г.
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И КРИТЕРИИ ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНЫ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАССИВОВ АЛДАНСКОГО ЩИТА 336

Мухаммедов Ж. Э.
ОПТИМАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРОБОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКЕ МЕДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 340

Николаев Ю. Н., Балыкова И. В., Бакшеев И. А., Калько И. А., Аплеталин А. В.
ПОИСКОВАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ, СВЯЗАННОГО С ИНТРУЗИЯМИ 342

Носова А. А., Копылова М. Г., Каргин А. В., Лебедева Н. М., Возняк А. А., Сазонова Л. В.
ИСТОЧНИКИ РАСПЛАВОВ КИМБЕРЛИТОВ И ЛАМПРОФИРОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ И КОЛЬСКОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ПРОВИНЦИЙ ПО Rb-Sr, Sm-Nd И U-Pb ИЗОТОПНЫМ ДАННЫМ 344

Нуржанов Г. Ж., Ниценко П. А., Гусев А. В.
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЗКАЗГАН 346

Окулов А. В., Сорокин Д. А.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДИК И АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ, КАЯНЧИНСКАЯ ПЛОЩАДЬ, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ) 350

Пак Н. Т., Гончаренко А. А., Ивлева Е. А.
КВАРЦ-ТУРМАЛИНОВЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА В АКТЮЗБООРДИНСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ, КЫРГЫЗСТАН) 354

Пенделяк Р. Н.
ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПРИРОДЫ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ЗАВЕРКИ «ЛОЖНЫХ» ОБЪЕКТОВ 358

Петухов А. А., Кузнецова Т. П., Филиппова С. С.
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ ЕКАТЕРИНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ) 361

Плюснин И. А., Чуйко В. А., Синкин В. А., Калинин К. П.
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КРУПНООБЪЕМНОГО ОПРОБОВАНИЯ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ 363

Подмогов Ю. Г., Керцман В. М., Мойланен Е. В.
ОПЕРЕЖАЮЩИЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСОМ «ЭКВАТОР» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ..... 366

Пономарева Г. А.
К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ В КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ..... 369

Попов И. В., Алексеев Я. В.
«ЗАЯВИТЕЛЬНЫЙ ПРИНЦИП», РОЛЬ В ВОСПРОИЗВОДСТВЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАСЛЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И РЕСУРСОВ..... 373

Похиленко Н. П., Афанасьев В. П.
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ С ПРОМЫШЛЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ..... 375

Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г.
СТРУКТУРЫ БЕЗЫМЯНСКОГО РУДНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО УЗЛА (АРХИПЕЛАГ НОВАЯ ЗЕМЛЯ) В МАТЕРИАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК..... 379

Прокопьев И. Р., Дорошкевич А. Г., Старикова А. Е., Проскурнин В. Ф., Кошкарев Д. А., Серов И. В.
ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ ЩЕЛОЧНО-КАРБОНАТИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ СИБИРИ И АРКТИКИ (ЧАДОБЕЦ, ХУШМА, ТАЙМЫР)..... 382

Прокопьев И. Р., Изох А. Э., Наумов Е. А.
ПЕТРОГЕНЕЗИС И ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА РУД МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ МАКСУТ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН).....385

Проскурнин В. Ф., Пальянова Г. А., Багаева А. А., Боровиков А. А., Петров О. В., Бортников Н. С.
ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТАЙМЫРО-СЕВЕРОЗЕМЕЛЬСКОГО (КАРСКОГО) ОРОГЕНА..... 387

Прусакова Н. А., Голубев Ю. К., Громцев К. В., Антащук М. Г.
О ПЕРСПЕКТИВАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ НА КОРЕННУЮ АЛМАЗОНОСНОСТЬ..... 392

Пушкарев Е. В.
ЧТО МЫ ЗНАЕМ ОБ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ХРОМ-ПЛАТИНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ УРАЛЬСКОГО ТИПА И ПОЧЕМУ ДО СИХ ПОР НЕ НАЙДЕНЫ КРУПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ?.....395

Радько В. А.
ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ СУЛЬФИДНЫХ Cu-Ni РУД МЕТОДОМ ПРОДУКТИВНОСТЕЙ..... 399

Раков Л. Т.
СТРУКТУРНЫЕ ДЕФЕКТЫ В КВАРЦЕ КАК ПОКАЗАТЕЛИ ИСТОЧНИКОВ СНОСА И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ..... 401

Раткин В. В., Тихомиров Д. В., Чугаев А. В., Елисеева О. А.
Pb-Zn СКАРНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДАЛЬНЕГОРСКОГО ТИПА: ГЕОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПОРОД И РУД..... 403

Рахматуллаев Ж. Ф., Бегалиев Н. С.
ПЕРСПЕКТИВЫ ОЛОВОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ УЗБЕКИСТАНА..... 406

Рахмонова Н. Б.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАУЛЬДЫ 408

Саблуков С. М.
ПРАВИЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ («МЕЛАЛЕЙЦИТИТЫ» Р. СУХОНЫ, «КИМБЕРЛИТЫ» ТРУБКИ KL-01 И ДРУГИЕ «НЕОБЫЧНЫЕ» ОБЪЕКТЫ) 411

Саблуков С. М., Саблукова Л. И.
К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПАХ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ 415

Савельев Д. А., Айтпаева Д. Б.
ПРИМЕНЕНИЕ ИМПЛИЦИТНОГО МЕТОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД 418

Савельев Д. Е., Гатауллин Р. А.
ПЛАТИНОМЕТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ОФИОЛИТАХ ЮЖНОГО УРАЛА 419

Садиров Р. М., Карабаев М. С.
ОКОЛОРУДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОР АУМИНЗАТАУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ) 423

Сайитов С. С., Цой В. Д., Жаниев Х. Э., Булин С.Е., Расулов Ш. М., Халиков О. А.
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ УЧАСТКА ДЖАСАУЛ И ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ 425

Салихов В. А., Собиров С. С., Худайбердиев Х. С.
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРО- И КОСМОФОТОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ 429

Сейтмуратова Э. Ю., Сайдашева Ф. Ф., Горяева В. С., Баратов Р. Т., Даутбеков Д. О., Машрапова М. А., Даулетулы А.
К ПРОБЛЕМЕ ОСВОЕНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ЖОНГАРО-БАЛХАШСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ (КАЗАХСТАН) 432

Серов И. В., Кошкарев Д. А.
НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВ КОРЕННЫХ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ) 435

Сидорова Е. В.
К 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЫДАЮЩЕГОСЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИХАИЛА НИКОЛАЕВИЧА ГОДЛЕВСКОГО 438

Симаков С. К.
НОВЫЙ ПИРОПОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ КИМБЕРЛИТОВ 440

Симаков С. К., Устинов В. Н.
ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ КИМБЕРЛИТОВ НА ОСНОВЕ СОСТАВОВ ПИКРОИЛЬМЕНИТА (НА ПРИМЕРЕ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО РАЙОНА) 442

Служеникин С. Ф., Анциферова Т. Н., Бровченко В. Д.
БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В РУДАХ НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА 444

Собиров С. С., Салихов В. А., Хайдарова С. К., Худайбердиев Х. С.
ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЗОНАЛЬНОСТЕЙ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИДРОГЕННОГО ТИПА (НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗБЕКИСТАНА) 447

Соболев С. Н., Арискин А. А., Пшеницын И. В., Грошев Н. Ю.
КОРРЕЛЯЦИИ ПЕТРОСТРУКТУРНЫХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НАКОПЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ И ХРОМИТА В ДУНИТАХ ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО МАССИВА И МОНЧЕГОРСКОГО ПЛУТОНА 450

Столяренко В. В., Соколов Е. П., Алферова В. А., Рябошапко А. Г., Минаева С. В.
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ МАЛОМУРУНСКОЙ ТРУБКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ЗОЛОТОРУДНЫМИ ЭКСПЛОЗИВНЫМИ БРЕКЧИЯМИ..... 454

Стримжа Т. П.
ЭНДОГЕННАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ РУДНЫХ ТЕЛ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ) 459

Сурин Т. Н.
ПАЛЕОВУЛКАНИЗМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МАГНИТОГОРСКОЙ МЕГАЗОНЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)..... 461

Сучков А. В., Шашорин Б. Н.
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СКАРНОВО-ШЕЕЛИТ-СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИХОТЭ-АЛИНЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НОВЫХ ПОИСКОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ЗВОНКОЙ ПЛОЩАДИ.....465

Таракановский В. И.
ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ 469

Толстых Н. Д., Подлипский М. Ю.
ШЛИХОВЫЕ КРИТЕРИИ ПОИСКОВ ПЛАТИНОНОСНЫХ ИНТРУЗИЙ..... 471

Третяченко В. В.
ЗИМНЕБЕРЕЖНЫЙ АЛМАЗОНОСНЫЙ РАЙОН – СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА 473

Турапов М. К., Умматов Н. Ф., Кобилов З. М.
ГЕОДИНАМИКА РУДООБРАЗОВАНИЯ ДАУГЫЗТАУСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ 477

Туресебеков А. Х., Садыкова Л. Р., Шукуров Ш. Р., Файзиев Ф. Ф.
МЕТАЛЛОГЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ, ЦВЕТНЫХ, РАДИОАКТИВНЫХ И ДРУГИХ СОПУТСТВУЮЩИХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВОЙ ФОРМАЦИИ ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА; ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПРОГНОЗНЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ..... 479

Умматов Н. Ф., Турапов М. К., Жонибеков Б. О.
ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА РУДООБРАЗОВАНИЯ БЕЛЬТАУСКОГО РУДНОГО РАЙОНА 481

Усманова Ш. В., Арипова М. К., Яхшибаев Ш. Б.
МИНЕРАЛЬНЫЕ ТИПЫ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛЬМАКЫР И ЁШЛИК (АЛМАЛЫК-АНГРЕНСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ)..... 484

Фатхуллаева З. М., Шарипов Ш. Ф.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ТАМДЫТАУ-БЕЛЬТАУСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ..... 485

Федоров Д. Т.
О ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ НА МИРОВОМ РЫНКЕ НИКЕЛЯ..... 487

Филатова Л. К. , Филатов Е. И.
ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ РУДОВМЕЩАЮЩИХ КРЕМНЕКИСЛЫХ ВУЛКАНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ДЕВОНСКИХ ВУЛКАНИТОВ РУДНОГО АЛТАЯ)..... 490

Филина Т. В., Станишевская Ю. Л., Перхурова В. А., Саид Илмен
РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ РУДНОГО РАЙОНА BOU AZZER, 2021 гг. 491

Фозилзода М. М.
ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕРЕБРО-СВИНЦОВО-ВИСМУТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В АДРАСМАН-КАНИМАНСУРСКОМ РУДНОМ ПОЛЕ (СРЕДИННЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ) 495

Хабибуллаев С. С., Умаров Ш. А., Баратов А. Х., Акобиров А. М.
ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ МЕТОДОВ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И МОНИТОРИНГА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОТКРЫТЫХ И ПОГРЕБЕННЫХ ЧАСТЯХ ГОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ УЗБЕКИСТАНА 499

Хамраев А. Х., Мамарозиков У. Д.
ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ЛАМПРОФИРОВЫХ ДАЕК, РАЗВИТЫХ В ПРЕДЕЛАХ ТАУШАНСКОГО ИНТРУЗИВА 502

Хафизов У. А., Мирхамдамов М. М.
ПОВЫШЕННЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ХР. КУЛЬДЖУКТАУ (УЗБЕКИСТАН) 506

Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е.
ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ РОССЫПЕЙ ПРИСАЯНЬЯ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ИХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....508

Чайка И. Ф., Изох А. Э., Каменецкий В. С., Лобастов Б. М., Сокол Э. В., Петренко Д. Б., Житова Л. М., Шевко А. Я., Гора М. П., Служеникин С. Ф., Калугин В. М., Шведов Г. И.
МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ МАЛОСУЛЬФИДНЫХ PT-PD РУД ИНТРУЗИИ НОРИЛЬСК-1. .. 510

Черемисина Е. Н., Любимова А. В., Толмачева Е. Р., Марков К. Н.
ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ 514

Черемисина Е. Н., Финкельштейн М. Я., Деев К. В., Большаков Е. М.
ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА INTEGRO ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ..... 517

Чернышов Д. С., Уварова Е. А.
WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МЕТАДАННЫХ В ЕБГИ ФГБУ «ЦНИГРИ»..... 519

Чижова И. А.
ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА ВЫЯВЛЕНИЕ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ НА ОСНОВЕ ЭТАЛОННЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РУДНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ 521

Чуйко В. А., Синкин В. А., Плюснин И. А., Калинин К. П.
СЮЗЁВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ РОССЫПНЫХ АЛМАЗОВ – ПЕРВАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ РОССЫПЬ ЗОН ТЕКТОНИЧЕСКИХ УСТУПОВ (РЗТУ) УРАЛА 524

Чумаков А. В., Аликин О. В., Рудашевский В. Н., Богданов Г. В.
МЕТОД ГИДРОСЕПАРАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБ, СОДЕРЖАЩИХ ЗОЛОТО.... 528

Шамшиев О. Ш., Маралбаев А. О.
БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОСТЬ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ 532

Шарахмедов Х. Н., Кувондиков И. Ш., Беркинов Н. А.
К ВОПРОСУ О ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМАХ 533

Шарипов Ш. Ф., Умаров Ш. А.
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛЯНГАР 535

Шахурдина Н. К., Тарских О. В.
МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЫГЫАТТИНСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ) 538

Шевкунов А. Г., Корницкий А. И., Башкиров А. П., Айдаркулов Т.
ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ LEAPFROG GEO (SEEQUENT) ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗОЛОТА КУМТОР (СРЕДИННЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ, КЫРГЫЗСТАН) 541

Шкурихин А. С., Проказов Е. П.
ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ 546

Шумилин Д. А., Шатилова Л. В., Кочетова К. Н., Ковальчук Е. В., Никольский М. С., Левицкая Л. А.
САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РУДНОГО ПОЛЯ БЫСТРЫЙ МЕЧИВЕЕМСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) 547

Щербатых М. О., Денисова А. А., Утюпин Ю. В.
ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПОИСКЕ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ МАЛОМОЩНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТУШКАНИХА (ЗМЕИНОГОРСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН) 550

Щукин В. С., Турандин Н. С., Обермейстер А. С.
СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ..... 554

Эргашев Э. Х., Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б.
ПЛАТИНОИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОСМАНАЧИ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КЫЗЫЛКУМ, УЗБЕКИСТАН)..... 558

Яблокова С. В., Миляев С. А.
МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОРОДНОГО ЗОЛОТА В ОТЛОЖЕНИЯХ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.....560

Якич Т. Ю., Левочская Д. В., Ерофеев А. Е.
ЭТАПЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВЕТЛОЕ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 563

Паламарчук Р. С., Степанов С. Ю., Петров С. В.
СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В КЛИНОПИРОКСЕНИТАХ И ГАББРО ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА 567

Gao Yongwei
CHARACTERISTICS OF PYRITE AND IMPLICATIONS ON THE ORE-FORMING MECHANISM OF KATEBA'ASU GOLD DEPOSIT, WESTERN TIANSHAN, CHINA..... 571



АЭРОГЕОФИЗИКА

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НОВЫХ ОТКРЫТИЙ











Решаемые задачи:

- прогноз, поиски и оценка месторождений твердых полезных ископаемых
- оценка ресурсного потенциала территорий на углеводороды
- геологическое картирование
- инженерно-геологические изыскания

Преимущества работы с нами:

- использование всех аэрогеофизических методов
- уникальный опыт проведения высокоточных аэрогеофизических съемок
- моделирование и геологическая интерпретация получаемых данных
- собственные аппаратурно-технологические разработ
- использование различных типов летательных аппаратов, включая беспилотные

Наши заказчики:

- ведущие горнорудные предприятия
- компании нефтегазового комплекса
- Федеральное агентство по недропользованию

+7 (495) 738-7777
www.aerogeo.ru agp@aerogeo.ru
125373, Москва,
Походный пр-д, 19

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ ФГБУ «ЦНИГРИ»

- Научно-технические журналы
- Входят в список ВАК
- Индексируются в РИНЦ
- Содержание печатной и электронной версий полностью совпадает Публикация статей в журналах бесплатна для авторов

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

- Издается с марта 1933 года
- Учредители – Минприроды России, Российское геологическое общество, ФГБУ «ЦНИГРИ»
- Издатель – ФГБУ «ЦНИГРИ»
- Главный редактор – научный руководитель ФГБУ «ЦНИГРИ» А.И. Иванов
- Выходит раз в два месяца
- Доступ ко всем номерам – tsnigri.ru/ru/informatsionnyeresursy/izdaniya/zhurnal-otechestvennaya-geologiya.html
- ISSN печатной версии: 0869-7175

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

- Издается с 21 декабря 1992 года
- Учредитель и издатель – ФГБУ «ЦНИГРИ»
- Главный редактор – генеральный директор ФГБУ «ЦНИГРИ» А.И. Черных
- Издается при поддержке Международной ассоциации по генезису рудных месторождений (IAGOD.org)
- Выходит раз в три месяца
- Доступ ко всем номерам – rm.tsnigri.ru
- ISSN печатной версии: 0869-5997

РУДЫ и МЕТАЛЛЫ

научно-технический журнал

ТЕМЫ ПУБЛИКАЦИЙ

- ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В СФЕРЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ
- МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РОССИИ
- КОНЪЮНКТУРА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
- ПРОГНОЗ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГРР
- ПЕРЕРАБОТКА И АНАЛИЗ РУД



Научно-технический журнал

ISSN 0869-7175

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

Выпускается с 1933 года

