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

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

XIV Международной научно-практической конференции «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов»

Москва,
ФГБУ «ЦНИГРИ»
15–18 апреля 2025

Москва
ЦНИГРИ
2025

УДК 553.41/.82.04 (043.2)
Р83

Сборник тезисов докладов XIV Международной научно-практической конференции «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (15–18 апреля 2025 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2025. – 518 с.

ISBN 978-5-85657-064-8

В сборник включены 196 докладов.

Научно-техническое издание

Тезисы докладов публикуются в авторской редакции.

Сдано в набор 28.03.2025. Подписано в печать 11.04.2025
Печать цифровая. Тираж 50 экз.

Полиграфическая база ФГБУ «ЦНИГРИ»:
117545, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

Аббасов Н. А. (nuraddinabbasov@bsu.edu.az)[1], Рустамова Р. Е.[1], Гулиев И. Ф.[1], Гусеинова А. Н.[2]

[1] Бакинский Государственный Университет;

[2] Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджанская Республика

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЛИЗИОННОГО ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ МИСХАНО-ЗАНГЕЗУРСКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗОНЫ НА ЮГЕ МАЛОГО КАВКАЗА

Рассматривается зональность и минералого-геохимическая характеристика золото-полиметаллического оруденения Мисхано-Зангезурской металлической зоны на юге Малого Кавказа. С использованием данных минералого-литохимического опробования рудовмещающих пород и руд в горных выработках и керна буровых скважин по разрезам, ориентированным вкрест простирания рудолокализующих структур, изучены закономерности формирования первичных ореолов вокруг детально разведанных скрытых рудных тел золото-полиметаллических месторождений Ордубадского и Далидагского рудных районов. Установлен коэффициент зональности четвертого порядка, который может быть использован для оценки перспектив рудоносности литохимических аномалий при поисках скрытого оруденения данного типа.

Ключевые слова: Мисхано-Зангезур, Далидаг, Ордубад, золото-полиметаллические руды.

В пределах рудных полей и районов, где развиты коллизионные медно-порфировое медно-молибденовое, медное и медноколчеданное оруденение, свинцово-цинковые руды размещаются на флангах и верхних горизонтах этих полей и представляют собой минеральные ассоциации последних стадий единого рудного процесса [7]. Важно отметить, что относительно крупные концентрации свинцово-цинковых руд известны в медно-полиметаллических и медноколчеданных месторождениях (Насирваз, Агдара, Кванц, Ковурмадара, Агтала, Газма, Атгыз, Сары-Даг и другие) в Мисхано-Зангезурской зоне на юге Малого Кавказа, ценность которых может значительно повыситься при условии попутного извлечения меди, золота, серебра и других компонентов.

Золото-полиметаллические месторождения, расположенные на юге Малого Кавказа (Ордубадский и Далидагский рудный район), связаны с туфогенно-осадочными образованиями среднего и верхнего эоцена [6]. Как видно на блок-диаграмме (см. рисунок), структурная позиция Насирвазского месторождения определяется приуроченностью к крупной палеовулканической постройке среднеэоценового возраста [1]. Все промышленные рудные тела приурочены к кварцевым андезитам субвулканической фации, залегающим в центральной части постройки (Ш. Мусаев, 1983). Из структурных элементов наиболее четко проявлены элементы дизъюнктивной тектоники (месторождения Султангейдар, Агдара, Насирваз, Кванц). Из других нарушений следует отметить Ордубадский, Диахчайский, Дебаклинский и Гейгель-Гейдагский разломы [4].

Золото-полиметаллические рудные тела представлены мощными жилами и маломощными прожилками, нередко они сопровождаются зонами прожилково-вкрапленного оруденения. По простиранию рудные жилы прослеживаются на несколько сотен метров, мощность их колеблется от 0,6 до 3,5 метров в раздувах наиболее крупных рудных тел. Часто сульфидные минералы локализуются в зальбандах мощных жил, центральные части которых сложены более поздней кварц-карбонатной массой [2]. Главными рудными минералами месторождения являются пирит, сфалерит, халькопирит и галенит. В различных типах руд и в разных количественных соотношениях установлены также теннантит, тетраэдрит, борнит, энаргит, халькозин, ковеллин, теллуриды свинца, золота, серебра и висмута, самородное золото, самородное серебро. Основными промышленными компонентами руд являются золото, серебро, цинк, свинец, медь. Наиболее богаты благородными (золото, серебро) и редкими (теллур, кадмий, индий, галлий и др.) элементами продукты галенит-халькопирит-сфалеритовой стадии минерализации [2]. При изучении минерального и химического составов основных рудных и жильных минералов Насирвазского месторождения на электронном микрозонде CamEscan (аналитик В. Лапутина, 1986) в составе сфалерита определены (мас. %): Fe – 0,23–0,35, Hg –

0,03–0,39, Cd – 0,06–0,49. Халькопирит содержит до 0,07 % серебра, содержание его в галените существенно ниже обычного (от следов до 0,11 мас. %) и основная его масса связана с теллуридами. Выделения блеклых руд резко зональные, их состав варьирует от теннантита до Te-As тетраэдрита, что характерно для вулканогенных золотых руд [5]. Среди жильных минералов широко развиты марганцовистые кальцит (MnO до 6 мас. %) и хлорит – рипидолит (MnO до 3 %). Для руд Насирвазского месторождения отмечены теллуриды ртути, золота и серебра – сильванит, гессит. Сильванит ($AuAgTe_4$) широко распространен в рудах месторождения и с ним связана основная часть золота. Сильванит обогащен золотом и обеднен серебром против стехиометрии, содержит заметное количество меди (до 0,72 мас. %), что характерно для вулканогенных золотых руд [4]. Гессит (Ag_2Te) слагает многочисленные мелкие метасоматические сростки в галените, реже в сфалерите, халькопирите, тетраэдрите и срастания с алтаитом. Заметная часть гессита возникла путем замещения сильванита и, по-видимому, гессит является наиболее поздним гипогенным минералом руд. В составе гессита полностью отсутствует золото, в заметных количествах отмечены свинец (до 3 мас. %) и кадмий (0,6–0,7 мас. %), примесь кадмия в теллуридах серебра ранее не отмечалась. В результате изучения минерального состава впервые для руд Насирвазского месторождения выделена наиболее поздняя продуктивная золото-теллуридная стадия.

Для разработки методики геохимических поисков и оценки скрытого золото-полиметаллического оруденения были изучены закономерности формирования первичных ореолов вокруг детально разведанных скрытых рудных тел месторождения [3]. Наиболее протяженные и контрастные ореолы вокруг золото-полиметаллических рудных зон выявлены для золота, серебра, цинка, меди, свинца и мышьяка. Их вертикальная протяженность составляет 60–120 м от верхней кромки скрытых рудных тел. По мере удаления от рудных тел концентрации рудных элементов в ореолах понижаются и на флангах месторождения достигают фоновых значений. В гипергенном поле рассеяния по кларкам концентрации ($К_к = C_{ан.}/C_ф$) основные рудные элементы ранжируются следующим образом: Au_{25} – Ag_{10} – $Zn_{7,9}$ – $Pb_{6,3}$ – $Cu_{3,9}$ – $Mo_{3,7}$ – $Mn_{3,5}$ – $Bi_{2,7}$ – $Co_{2,5}$ – $V_{2,4}$ – $Sn_{1,2}$. По корреляционным связям в составе типоморфного комплекса отчетливо выделяются три группы химических элементов. Первую группу образовали основные рудные элементы месторождения – Au, Ag, Zn, Cu, Pb, Cd, Sb, Bi и As. Для элементов второй группы (Ba, Sn и Mo) на месторождении установлены как ореолы привноса,

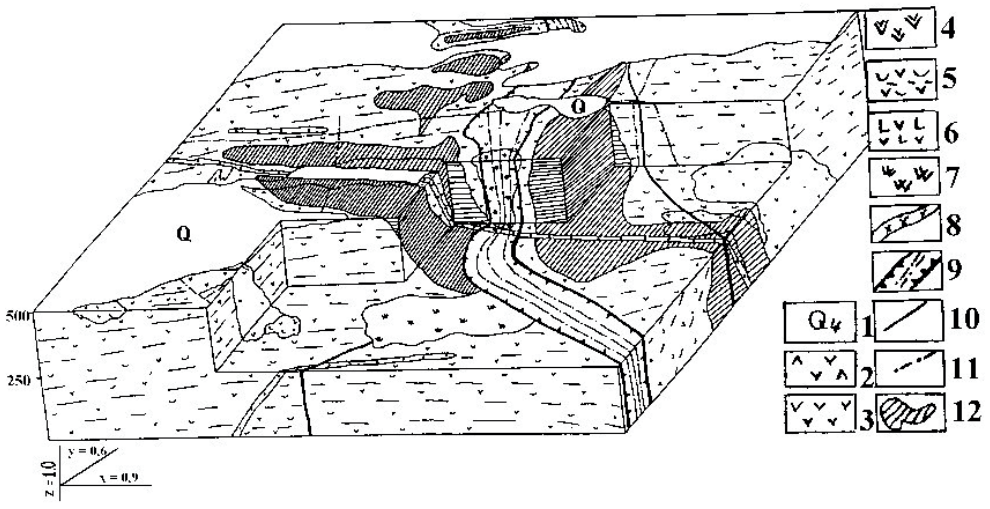


Рисунок. Блок-диаграмма Насирвазского месторождения. Составитель Н. А. Аббасов, 1989:
1 – четвертичные отложения; 2 – андезито-дациты; 3 – андезиты; 4 – базальты; 5 – чередования разнообломочных туфов андезитового состава; 6 – разнообломочные туфы базальтового состава; 7 – вторичные кварциты и монокварциты, пиритизированные; 8 – дайки диорит-порфиритов; 9 – рудоконтролирующие структуры; 10 – локальные разрывные нарушения; 11 – линейная трещиноватость в породах; 12 – перспективные площади по обнаружению скрытых золото-полиметаллических рудных тел

так и ореолы выноса. Элементы выноса Co, Ni, Mn и V (третья группа) формируют отчетливые аномальные поля на западном фланге месторождения. Анализ распределения рудных элементов в рудах и первичных ореолов по трем разрезам на северо-восточном фланге месторождения показывает, что наиболее тесными элементами-спутниками золота в первичных ореолах и рудах месторождения являются серебро (r = +0,87), что определяется преимущественным нахождением этого элемента в сильваните, медь (r = +0,69), цинк (r = +0,38), свинец (r = +0,31). Это позволило через уравнение множественной регрессии – Au = -0,24697 Cu + 0,25136 Zn -1,38743 Pb + 0,01941 Ag + 0,10550 – рассчитать содержания золота на поверхности и построить карту гипергенного поля рассеяния этого элемента.

Вертикальная зональность в строении первичных ореолов основных рудных элементов и элементов-спутников в Ордубадском рудном районе изучена по трем поперечным разрезам I-I, II-II и III-III. По характеру распределения элементов в околорудном пространстве отчетливо выявляется зональность, проявленная в приуроченности максимальных содержаний одних элементов к надрудным и верхнерудным горизонтам оруденения, других – к среднерудным, нижнерудным и подрудным. Наиболее широкие и контрастные ореолы в верхних частях разрезов формируют, кроме золота, свинец, цинк, серебро и мышьяк. По расположению в пространстве и по размерам к ореолам этих элементов близки первичные ореолы бария и кадмия.

В нижних частях исследуемых разрезов максимально развиты широкие и контрастные ореолы кобальта, молибдена и ванадия, никель и олово здесь формируют более узкие ореолы. Достаточно контрастные первичные ореолы меди, кадмия и хрома прослеживаются по всему протяжению рудных тел. Методом показателей зональности по трем разрезам месторождения установлены частные ряды зонального отложения элементов [8]: разрез I-I (снизу вверх) – Mo–V–Sn–Co–Cd–Cr–Ni–Cu–Ag–Zn–Pb–As–Ba; разрез II-II – Sn–Ni–Mo–Co–Cr–V–Cu–Cd–Zn–Ag–Ba–As–Pb; разрез III-III – V–Ni–Sn–Mo–Co–Cd–Cr–Cu–Zn–As–Ag–Pb–Ba. Высокая степень сходства частных рядов зонального по трем разрезам позволила вывести общий ряд зональности для Насирвазского меторождения Ордубадского рудного района (снизу вверх): Sn – Mo – V – Ni – Co – Cr – Cd – Cu – (Au) – Zn – Ag – As – Pb – Ba. Положение Au в зональном ряду установлено по ограниченному количеству проб.

Автором с помощью программы Ню-2 по профилю I-I установлен ряд зонального отложения по центрам тяжести графиков парных отношений элементов типоморфного комплекса: Mo – V – Ni – Co – Sn – Cu – Cr – Cd – Ag – Ba – Zn – Pb – As, который очень близок к общему ряду (ранговый коэффициент корреляции между ними составил r = +0,88 при $r_{5\,\%}$ = 0,55). Для месторождений Ордубадского рудного района – Насирваз, Агдара, Ковурмадараси, Кванец – надрудными и верхнерудными элементами-индикаторами являются Ba, Pb, Zn, Ag и As, нижнерудными и подрудными – Sn, Co, Ni, Mo и V. На поверхности геохимические поля этого показателя ($К_з 3.10^5$) пространственно совпадают с выходами золото-полиметаллического оруденения и с проекциями глубокозалегающих рудных тел. Выбранные геохимические показатели и описанный выше мультипликативный коэффициент зональности четвертого порядка могут быть использованы в качестве надежного геохимического критерия для оценки перспектив рудоносности литохимических аномалий при поисках скрытого оруденения данного типа, для оценки уровня эрозионного среза рудных зон, определения на этой основе их перспектив на глубину и прогнозной оценки ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аббасов Н. А. Геологическое строение и минералогический состав колчеданно-полиметаллических руд Насирвазского месторождения: тематический сборник научных трудов по теме: «Геология месторождения твердых полезных ископаемых Азербайджана». – Баку, 1988.
2. Аббасов Н. А. Особенности образования и закономерности размещения медно-молибден-порфировых месторождения Ордубадского рудного района : автореферат диссертации на соискание учен. степени канд. геол.-минерал. наук. – Баку, 2003. – 220 с.

3. Баба-Заде В. М., Рамазанов В. Г., Масимов А. А., Аббасов Н. А. [и др.] Минералого-геохимические факторы золотоносности руд медно-порфировых месторождений Ордубадского рудного района // Сборник БГУ. Серия «Естественные науки». – 1999. – № 3.
4. Заменский С. Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геол.-минерал. наук. – М., 2008.
5. Исмаил-Заде А. Д., Мустафаев Г. В., Рустамов М. И. Геология Азербайджана. Т. III. Магматизм. – Баку, 2001. – 433 с.
6. Исмаил-Заде А. Д., Рустамов М. И., Кеичерли Т. Н. Аразская мегазона (Малый Кавказ). Геология Азербайджана. Т. IV. Тектоника. – Баку, 2005. – С. 338–359.
7. Рамазанов В. Г. Медно-порфировая формации Азербайджана : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геол.-минерал. наук. – Тбилиси, 1993.
8. Рустамов М. И. Геодинамика и магматизм Каспийско-Кавказского сегмента Средиземноморского пояса в фанерозое : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геол.-минерал. наук. – Баку, 2008.

Адылханов И. А. (npcburenie@mail.ru)
ТОО «НПЦ «Бурение»», Республика Казахстан

БЕСКЛИНОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕНИТНЫМ УГЛОМ СКВАЖИНЫ ПРИ БУРЕНИИ СНАРЯДАМИ СО СЪЕМНЫМ КЕРНОПРИЕМНИКОМ

Дано проверенное практикой теоретическое обоснование технологических методов регулирования зенитного искривления скважин при бурении снарядами со съемным керноприемником типа Q по Восточно-Казахстанскому и другим регионам Республики Казахстан. В работе изложены состояние и основы детерминированной технологии направленного бурения скважин снарядами со съемным керноприемником, формирования математической модели детерминанта DDD (determinant of directional drilling) как определителя и регулятора зенитного искривления скважин, даны методика и примеры расчета длины полуволн импортных бурильных колонн типа Q. Рассмотрены причины и механизм выкручивания (уменьшения), выполаживания (увеличения) или стабилизации зенитных углов скважин при бурении снарядами типа Q.

Ключевые слова: комплекс снаряда со съемным керноприемником типа Q, длина полуволны, стабилизирующая длина, детерминант, зенитный угол скважины, интенсивность искривления скважины, компоновка низа буровой колонны (КНБК).

Введение. Проведение направленных скважин с применением комплекса Q – задача технически довольно сложная и может быть решена на основе оптимизации процесса искривления скважин. Бурение с комплексом Q требует принципиально нового подхода к вопросам направленного бурения. Как показывает опыт, вмешательство в процесс искривления скважины при бурении комплексами со съемным керноприемником отклонителями любого типа чревато невосполнимыми потерями в производительности, высокой аварийностью, большим расходом бурильных труб. Все это свидетельствует о невозможности реализации основных преимуществ высокооборотного бурения и о том, что снаряды со съемным керноприемником типа Q и традиционные средства искусственного искривления технически и технологически не совместимы.

Таким образом, для того, чтобы как-то снизить затраты на искусственное искривление, возникла необходимость создания и внедрения качественно новых методов, основанных на непрерывности процесса управления трассой и регулируемых чисто технологическими параметрами. В целях решения этих задач была разработана новая бесклиновая технология направленного бурения скважин [4].

Главным управляющим параметром данной технологии является длина колонкового набора. Последний выступает как регулятор зенитного искривления скважины при постоянстве заданного оптимального азимута. При этом решаются задачи коррекции трассы – выкручива-

ние или выполаживание и, самое главное, стабилизация заданной интенсивности зенитного искривления скважины.

1. Форма изогнутой бурильной колонны. Если скважина прямолинейна и осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент отсутствует, то бурильная колонна также прямолинейна [5]. При достаточно малой нагрузке на коронку колонна остается прямолинейной.

Осевая нагрузка по мере увеличения достигает критического значения, при котором бурильная колонна изгибается и соприкасается со стенкой скважины. Это явление называется продольным изгибом первого порядка. При дальнейшем увеличении осевой нагрузки она приобретает новое критическое значение, при котором бурильная колонна изгибается вторично – это изгиб второго порядка. При еще больших нагрузках происходит изгиб третьего и высших порядков [1].

2. Критические условия. Любой нагрузке на переходник соответствует определенное расстояние между переходником и нейтральным сечением. Критическая величина этого расстояния зависит от типа бурильных труб (резьбовое соединение труба в трубу) и удельного веса промывочной жидкости (глинистого раствора или специального раствора, обогащенного реагентами). Очень удобно измерять расстояния не в метрах, а в безразмерных единицах.

3. Определение длины нижней полуволны. В настоящей работе расчет длины полуволны бурильной колонны производится по методике Г. Вудса и А. Лубинского [1].

Длина безразмерной единицы веса бурильной колонны определяется по формуле

$$m = 10^{-2}\sqrt[3]{\frac{E \cdot I}{10^{-2} \cdot P_m}} \qquad (1),$$

где Е – модуль Юнга для стали в кН/см²; I – момент инерции поперечного сечения бурильной трубы, см⁴; P_m – вес 1 метра бурильной трубы в промывочной жидкости в кН/м.

Длина нижней полуволны L_m зависит от осевой нагрузки, зенитного угла скважины Θ и определяется соотношением $L_m = \frac{\theta \cdot m}{r}$ (2),

где Θ – зенитный угол скважины в радианах; m – уже известная величина; r – кажущийся радиус ствола скважины в метрах.

Под кажущимся радиусом ствола подразумевается стрела прогиба колонны в скважине. Величина кажущегося радиуса скважины r определяется из выражения:

$$r = \frac{D_c - D_m}{2} \qquad (3),$$

где D_c и D_n – соответственно диаметры скважины и бурильной колонны, м.

4. Стабилизирующая длина. Для определения стабилизирующей длины колонкового набора при высокооборотном вращательном бурении следует перейти к динамической модели, полагая, что колонна при этом, в отличие от низкооборотного ударно-вращательного, может вращаться как жесткое тело вокруг оси скважины или как гибкий вал – вокруг своей собственной оси. Следовательно, необходимо учитывать силы инерции, прибегая к методу кинетостатики.

Расчетная или выбранная длина колонкового набора, обеспечивающего равновесие КНБК (соответственно стабилизацию угла), и есть стабилизирующая длина колонкового набора.

Анализ физической модели компоновки низа буровой колонны (КНБК) показал, как можно в наклонно-направленном бурении за счет применения стабилизирующей длины колонкового набора добиться такого положения, при котором на забое отклоняющая сила на коронке была бы нулевой. Иными словами, силы, действующие по направлению к висячей стенке, равнялись бы по направлению к лежачей стенке скважины.

Как было показано выше, зависимость стабилизирующей длины дается в функции от длины полуволны нижней свечи, т. е. верхней половины КНБК, что, в свою очередь, зависит от

многих быстро изменяющихся факторов: осевой нагрузки, зенитного угла, диаметра скважины и др. Следовательно, при каждом изменении технического или технологического параметра требуется смена КНБК, точнее замена каждый раз нового колонкового набора стабилизирующей длины. Ясно, что смена набора почти после каждого угла или для каждой нагрузки не самое экономичное решение, тем более что стандартный колонковый набор NQ выпускается только в двух размерах 5 и 10 футов. В таких случаях для стабилизации угла можно использовать эксцентричный переходник, который ставится выше колонкового набора, на место релитового переходника или выше его.

Когда КНБК не сбалансирована (не равновесна первой, второй или третьей стабилизирующей длине), возникает дестабилизирующая пара сил, которая порождает момент на коронке и уводит ее, как известно, вниз или вверх по восстанию пласта, вплоть до угла встречи с породой, близкого к 90°, если породы сильно влияют на кривизну. Если эта пара сил противодействует расчетному направлению сил в КНБК, то учитывать в таких случаях надо прежде всего именно ее действие. При этом необходимо прогнозирование вероятного поведения такой КНБК в стволе скважины. Критерием оценки последующего вероятного искривления должен быть уже не угол стабилизации, а интенсивность искривления. Причем расчет на возможную, зависящую от длины набора, интенсивность должен производиться уже с учетом главенствующего влияния геологических факторов. Для расчета фактической интенсивности необходимо вначале знать интенсивность естественного искривления, еще важнее его знак – плюс или минус. Это имеет принципиальное значение для будущего расчета трассы скважины.

Нами установлено, что при бурении анизотропных переслаивающихся пород, залегающих под углом к горизонтали, обладающих четко выраженной закономерной тенденцией к выполаживанию, если породы гетерогенные (неоднородные), то, когда они меняются, меняются и показатели разрушения по осям в процессе бурения. Если скважина пересечет породы, обладающие ярко выраженной тенденцией к выкручиванию, то величину фактической интенсивности на этом интервале можно получить путем алгебраической суммы этих интенсивностей – расчетной и естественной. Для того, чтобы естественные тенденции могли проявиться более или менее полно, необходимо пробурить еще 10–15 метров после достижения угла стабилизации и провести инклинометрию скважины в данном интервале. Только после этого можно с уверенностью сказать, какая тенденция проявляется на данном участке – к выполаживанию или выкручиванию. Почему именно в этом интервале? Потому что после угла стабилизации компоновка находится в условиях неустойчивого равновесия и воздействие механических сил сведено практически на нет, тогда как главенствующим является влияние чисто внешних, т. е. геологических факторов.

Таким образом, нами сделана попытка связать расчеты на основе стабилизирующей длины колонкового набора с геологией и технологией, чтобы результаты влияния этих двух решающих факторов работали в единой системе.

5. Факторы, влияющие на интенсивность зенитного искривления скважины. При вращательном бурении участвуют 2 формы движения – вокруг оси скважины и собственной оси, и решающим фактором искривления скважины является продольный изгиб колонкового набора.

Исходя из основного параметра критерия качества, определяющего направление (знак) зенитного искривления скважины – стабилизирующей длины колонкового набора, нами разработана математическая модель интенсивности зенитного искривления скважин для вращательного бурения комплексами Q.

Заключение. В настоящее время самый достоверный источник информации о залегании рудного тела в земной коре достается путем бурения скважин. Широкое применение в Казахстане при бурении на твердые полезные ископаемые получил комплекс снаряда со съемным керноприемником как отвечающий мировым стандартам.

Настоящая работа представляет собой комплексное решение одной из проблем создания АСУ ТП – решение проблемы профилактики искривления и управления трассой скважин.

Рассматриваемая в данной работе система управления базируется на математическом моделировании. Она предназначена для гарантированной проводки глубоких направленных сква-

жин и обеспечивает максимально возможную экономичность за счет исключения непроизводительных затрат на искусственное искривление.

Принципиальным отличием новой системы является то, что основным критерием оптимальности принята так называемая стабилизирующая длина колонкового набора, выступающая в качестве регулятора зенитного искривления скважины. Система предусматривает решение следующих задач:

1. профилактика искривления и стабилизация заданного зенитного угла с сохранением оптимального азимута;
2. выкручивание (уменьшение зенитного угла);
3. выполаживание (увеличение зенитного угла).

В настоящее время разрабатывается проект для бурения наклонно-горизонтально направленной трассы скважины с последующей укладкой в ней нефтегазопроводов, основа которого взята из данной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вудс Г., Лубинский А. Искривление скважин при бурении. – М. : Гостоптехиздат, 1960. – 162 с.
2. Динник А. Н. Продольный изгиб, кручение. – М. : Изд. АН СССР, 1955. – 537 с.
3. Кичигин В. А. Инструкция по эксплуатации комплекса NQ. – Усть-Каменогорск, Чаралтын, 1997 г. – 103 с.
4. Музапаров М. Ж. Автоматизированное проектирование и технология управления трассой скважин при бурении комплексом ССК-59 (методическое руководство). – Алма-Ата : КазРудгеология, 1988. – 33 с.
5. Музапаров М. Ж. Определение длины полуволны бурильной колонны в наклонно направленной скважине (методическое руководство). – Алматы : КазНТУ, 1998. – 23 с.
6. Музапаров М. Ж., Адылханов И. А., Аршидинова М. Т. Зарубежный опыт бурения направленных скважин со съемными керноприемниками // Междунар. конф. ЦАУ : сб. докл. – Алматы, 2002. – С. 127–131.
7. Музапаров М. Ж., Адылханов И. А., Аршидинова М. Т. Отечественный опыт бурения направленных скважин со съемными керноприемниками // Междунар. конф. ЦАУ : сб. докл. – Алматы, 2002. – С. 124–127.
8. Новиков Г. П., Буглов Н. А., Новожилов Б. А. [и др.] Основные принципы оптимизации параметров компоновок нижней части бурильной колонны при алмазном бурении геологоразведочных скважин в анизотропных породах. – М. : ВИЭМС, 1990. – 71 с.
9. Саркисов Г. М. Устойчивость и изгиб бурильных труб. Бурильные трубы. – Баку : Азгостоптехиздат, 1940. – С. 35–51.
10. Султанов Б. З. Управление устойчивостью и динамикой бурильной колонны. – М. : Недра, 1991. – 208 с.
11. Энштейн Е. Ф., Мацейчик В. И., Ивахнин И. Н. Расчет бурильных труб в геологоразведочном бурении. – М. : Недра, 1979. – 160 с.

Аксенов В. Н. [1] (aksenov_vn46@mail.ru), Андреева Ю. С. [2] (afanasevaus@mail.ru)

[1] ИРНИТУ, г. Иркутск; [2] ФГБОУ ВО «ИГУ», г. Иркутск

ХЛОРИТ-АКТИНОЛИТОВЫЕ СЛАНЦЫ ГОЛЬЦА СВЕТЛЫЙ (МАМСКО-ЧУЙСКИЙ РАЙОН)

Были изучены хлорит-актинолитовые ортосланцы, проявленные в пределах гольца Светлый Мамско-Чуйского района. Наличие в ортосланцах обильной сульфидной минерализации позволяет предположить, что на глубоких горизонтах могут сложиться благоприятные условия для формирования характерных для подобных образований месторождений меди, никеля, кобальта, хрома, платины, золота и других полезных ископаемых. Особенности состава и строение

геологических тел, сложенных хлорит-актинолитовыми ортосланцами, позволяют авторам рекомендовать дальнейшее изучение глубоких горизонтов данной территории с помощью бурения до глубин 200–300 м.

Ключевые слова: хлорит-актинолитовые ортосланцы, поисковые работы Мамско-Чуйский район, рудные полезные ископаемые.

Хлорит-актинолитовые ортосланцы впервые выявлены В. Н. Аксеновым в 1973 г. в поисковых траншеях на гольце Скорняковском Согдиондонского месторождения Мамско-Чуйского района Иркутской области.

Визуально хлорит-актинолитовые ортосланцы имеют темно-зеленый цвет и мелкозернистую структуру (размер зерен до 1–2 мм). Средний минеральный состав: актинолит – 93 %, диопсид – 4 %, хлорит – 3 %, кварц – до 1 %.

В существенных количествах присутствуют плагиоклаз, ильменит, халькопирит, пирротин, магнетит, хромит и слюда. Акцессорными минералами являются циркон, рутил, галенит, пентландит, гранат, апатит, сфен, эпидот и пирит.

В шлифах порода состоит в основном из длиннопризматических и столбчатых (ромбовидных) кристаллов амфибола (актинолита) светло-зеленого цвета. Отмечаются также длиннопризматические кристаллы бесцветного тремолита. Ромбовидные кристаллы повсеместно замещаются по трещинам спайности лейкоксеном.

Часть мелких кристаллов с низким двупреломлением и прямым погасанием относится к диопсиду и, возможно, антофиллиту. По амфиболу интенсивно развивается хлорит (клинохлор), участками занимающий до 10 % площади шлифов.

По содержанию SiO_2 (45,3–50,2 мас. %) ортосланцы, в соответствии с принятой классификацией [2], принадлежат к отряду основных пород (45–52 %), т. е. они, скорее всего, представляют собой метаморфизованные аналоги основных пород.

По суммарному содержанию щелочей ($Na_2O + K_2O$ = 0,42–0,88 мас. %) они относятся к подотряду низкощелочных образований ($Na_2O + K_2O < 2$). По отношению щелочей 50 % проб имеют натриевый (Na_2O / K_2O = 2,28–2,52), а 50 % – калий-натриевый (Na_2O / K_2O = 7,4–16,0) типы щелочности. По содержанию K_2O хлорит-актиноитовые ортосланцы относятся к низкокалиевому типу пород (K_2O = 0,05–0,25).

По степени фемичности [2] они являются частично фемисалическими ($M_Ф$ = 27,57–29,65), а частично фемическими ($M_Ф$ = 30,12–37,04) породами.

По степени глиноземистости [2] это слабоглиноземистые ($M_Г$ = 0,23–0,38), а по степени известковистости – нормально-известковистые ($M_и$ = 0,92–0,95) образования.

Приведенные выше данные [1] свидетельствуют о том, что ортосланцы, скорее всего, представляют собой интенсивно метаморфизованные и метасоматически измененные тела базитов мантийного происхождения.

Мамский синклинорий, в пределах которого отмечены выходы вышеописанных хлорит-актинолитовых ортосланцев, сформировался путем погружения блоков земной коры по серии параллельных глубинных разломов (Абчадского, Мамского и Центрального) на сдвиго-раздвиговой границе Мамской и Чуйской структурно-фациальных зон, разделяющих, в свою очередь, верхнепротерозойские отложения Мамско-Бадайбинской и Делюн-Уранской зон [3].

Центральный глубинный разлом, прослеживающийся вдоль оси Мамского синклинория, служил каналом поступления к поверхности пород мантийного происхождения (в том числе хлорит-актинолитовых ортосланцев) и сквозь магматические растворы, вызвавшие интенсивный метаморфизм и гранитизацию осадочных отложений Мамского синклинория. Интрузивные породы поднимались по зоне разлома в верхние горизонты протерозойских отложений синклинория в виде диапира, где, не достигая земной поверхности, кристаллизовались под экраном пластичных глиноземистых сланцев и гнейсов. Здесь сформировалась кровля мантийного потока, представленная хлорит-актинолитовыми ортосланцами. Встречаются последние сравнительно редко, обычно в виде ксенолитов в массивах гранит-пегматитов, приуроченных исключительно к центральному антиклинальному поднятию синклинория (к зоне так называемых обильных инъекций). Данная зона прослеживается вдоль оси синклинория в виде полосы

длиной около 300 км и шириной 5–7 км. Внедрение в мамскую толщу хлорит-актинолитовых ортосланцев, судя по элементам залегания гнейсов и сланцев, сопровождалось интенсивной деформацией и отрывом обломков в виде ксенолитов. Признаки приконтактовой закалки, как и заметных изменений в структуре и минеральном составе вблизи контактов ортосланцев с гранит-пегматитами и паросланцами, визуально не наблюдаются. Определенная стратиграфическая привязка также не отмечается. Наличие ксенолитов ортосланцев в телах гранит-пегматитов указывает на их допегматитовый возраст.

На изученной части синклинория коренной выход на поверхность ортосланцев вскрыт лишь на участке гольца Светлый (рисунок).

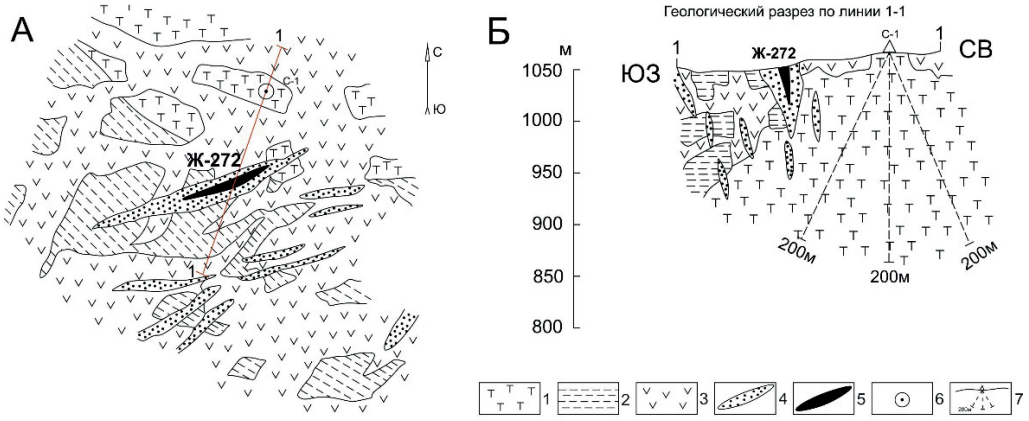


Рисунок. Голец Светлый: А – геологический план; Б – геологический разрез по линии 1-1.
Условные обозначения: 1 – хлорит-актинолитовые ортосланцы; 2 – гнейсы и сланцы Мамского синклинория; 3 – гранит-пегматиты и недифференцированные пегматиты; 4 – пегматитовые жилы; 5 – зона промышленного ослюденения жилы 272; 6 – проектируемые скважины (на плане); 7 – проектируемые скважины на геологическом разрезе и их глубины

В эндоконтакте тело ортосланцев, очевидно, было насыщено послемагматическими флюидами, богатыми серой, что обусловило наличие в них обильной вкрапленности сульфидов. Совокупность приведенных данных позволяет предположить, что ортосланцы залегают ниже гранит-пегматитовых массивов.

Кристаллизация на глубоких горизонтах темноцветных минералов, слагающих мантийные основные и ультраосновные породы, сопровождалась выносом подвижных элементов и особенно калия.

Большое количество калия, высвобождающегося при кристаллизации мантийных пород, обусловило концентрацию вблизи тел последних ультракалиевых легкоподвижных расплавов – растворов. Линзы последних всплывали к поверхности, где и кристаллизовались в виде интрузий ультракалиевых щелочных сиенитов сыннырского комплекса. Последние часто имеют овальную или округлую в плане форму и зональное строение. Наличие ксенолитов сыннырских сиенитов, как и хлорит-актинолитовых ортосланцев в телах гранит-пегматитов, говорит об их допегматитовом возрасте. После удаления высококалиевых растворов – расплавов в зоне центрального разлома сформировался огромный остаточный резервуар легкоплавкого гранитного расплава, обогащенного кремнеземом, водой, кальцием, щелочами и другими летучими и легкоподвижными элементами.

Образованию гранитного расплава, очевидно, способствовал прогрев метаморфических пород синклинория в результате внедрения в них горячих мантийных интрузий. Этому же способствовало выделение дополнительного тепла в периоды тектонических подвижек по глубинному разлому. В зоне интенсивного тектонического дробления, приуроченной к центральному антиклинальному поднятию синклинория, локализовалась сетчатая интрузия гранит-пегматитов и пегматитов огромного размера. Интрузия имеет выдержанное северо-восточное простирание, длину более 300 км и ширину порядка 5–7 км.

Подобную структуру можно было бы назвать дайкой регионального масштаба.

Насыщенность хлорит-актинолитовых ортосланцев разнообразными сульфидами позволяет предположить, что на глубоких горизонтах интрузии могут сложиться благоприятные условия для формирования характерных для подобных образований месторождений меди, никеля, кобальта, хрома, платины, золота и других полезных ископаемых.

Можно ожидать вертикальную зональность в размещении вышеперечисленных рудопроявлений в зависимости от расстояния до кровли или подошвы интрузии хлорит-актинолитовых ортосланцев.

Рекомендуется изучить с помощью скважин глубокие горизонты данной интрузии (рисунок) хотя бы до глубины 200–300 м.

В случае выявления вышеперечисленных полезных ископаемых, залегающих под мамскими месторождениями слюдоносных пегматитов, ценность и перспективность огромного Мамского синклинория резко возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочнев А. П. Магматические комплексы Мамской мусковитоносной провинции / А. П. Кочнев, В. Н. Аксенов, В. В. Четверикова. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2022. – 368 с.
2. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – СПб. : ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2009. – 160 с.
3. Салоп Л. И. Геология байкальской горной области. Том 2. / Л. И. Салоп. – М. : Недра, 1967. – 699 с.

Алексеев И. А. [1, 2], **Подлипский И. И.** [1, 2, 3], **Дуброва С. В.** [1, 2], **Тиличко Д. Ю.** [1]

[1] ООО «ОГЕО-ПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург; [2] ФГБОУ ВО «СПбГУ», г. Санкт-Петербург; [3] ООО «КТПИ «Газпроект», г. Санкт-Петербург

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФОНОВОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАМКАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ, ВКЛЮЧАЮЩЕГО ПОИСКИ И ОЦЕНКУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В настоящей работе рассматриваются основы апробированной методики оценки фонового состояния компонентов среды как основы для разработки системы экологического мониторинга на объектах недропользования.

Ключевые слова: экологический мониторинг, оценка фонового состояния, программа экологического мониторинга, ПЭК.

Экологический мониторинг является неотъемлемой частью системы экологического менеджмента в недропользовании. Он обеспечивает объективную информацию для принятия управленческих решений, направленных на обеспечение устойчивого развития и сохранения окружающей среды для будущих поколений. Эффективный экологический мониторинг способствует минимизации рисков, связанных с негативным воздействием на экосистемы, и позволяет гармонизировать экономическую деятельность с потребностями охраны окружающей среды.

Согласно «Правилам подготовки проектной документации на проведение геологического изучения недр и разведки месторождений полезных ископаемых по видам полезных ископаемых» (Приказ МПР России № 352 от 14.06.2016, п. 57), раздел проекта «Мероприятия по охране окружающей среды» должен содержать сведения и данные, представленные в таблице 1.

С целью реализации требований Приказа МПР России № 352 рекомендуется к использованию апробированная методика как основа для разработки системы экологического мониторинга на территории объектов недропользования.

Экологический мониторинг в недропользовании представляет собой комплексную систему наблюдений, оценки и прогнозирования изменений состояния окружающей среды, обусловлен-

Таблица 1. Рекомендации по реализации требований Приказа МПР России № 352

Приказ МПР России № 352	Рекомендации
Характеристика района проведения геологоразведочных работ с указанием наличия территорий с особыми условиями пользования недрами, включая населенные пункты, особо охраняемые природные территории и объекты, защитные леса и особо защитные участки лесов, санитарно-защитные зоны, водоохранные зоны, зоны охраны источников питьевого водоснабжения.	**Оценка фонового состояния компонентов среды**. Проведенные работы по оценке фонового состояния компонентов окружающей среды в рамках проектов по геологическому изучению, включающему поиски и оценку месторождений полезных ископаемых.
Сбор информации о характере и масштабах воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности, оценке экологических и связанных с ними социально-экономических и иных последствий этого воздействия и их значимости, возможности минимизации воздействий.	**Предварительный прогноз возможных неблагоприятных изменений** природной биогенной среды можно рассматривать как отдельный раздел отчета по этапу I.
Составление перечня мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия и рациональному использованию природных ресурсов на период проведения геологоразведочных работ.	**Перечень мероприятий** по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия и рациональному использованию природных ресурсов можно рассматривать как отдельный раздел отчета по этапу I.

ных деятельностью, связанной с разведкой, добычей и переработкой полезных ископаемых. Его целью является обеспечение экологической безопасности, минимизация негативного воздействия на экосистемы и рациональное использование природных ресурсов.

Основным этапом рекомендуемой методики является оценка фонового состояния компонентов окружающей среды, включающая блоки работ, приведенные на рисунке.

Нормативно-методической основой оценки фонового состояния компонентов окружающей среды является комплекс законов и подзаконных нормативно-правовых актов, а также методическая прикладная литература, общий список которой приведен в таблице 2. Важно помнить, что объект исследования (лицензионная площадь), а также прогнозируемая деятельность (геологическое изучение недр и разведка месторождений полезных ископаемых) напрямую не соответствует видам деятельности, регулируемым приведенными в таблице нормативными документами, поэтому их использование должно проходить обязательный этап обоснования необходимости, исходя из поставленной цели и задач по каждому конкретному объекту.

По результатам проведенных полевых и камеральных работ составляется «Технический отчет по оценке фонового состояния окружающей среды», структура которого должна содержать следующие разделы:

- Изученность экологических условий;
- Характеристика природных и техногенных условий;
- Почвенно-растительные условия;
- Характеристика животного мира;

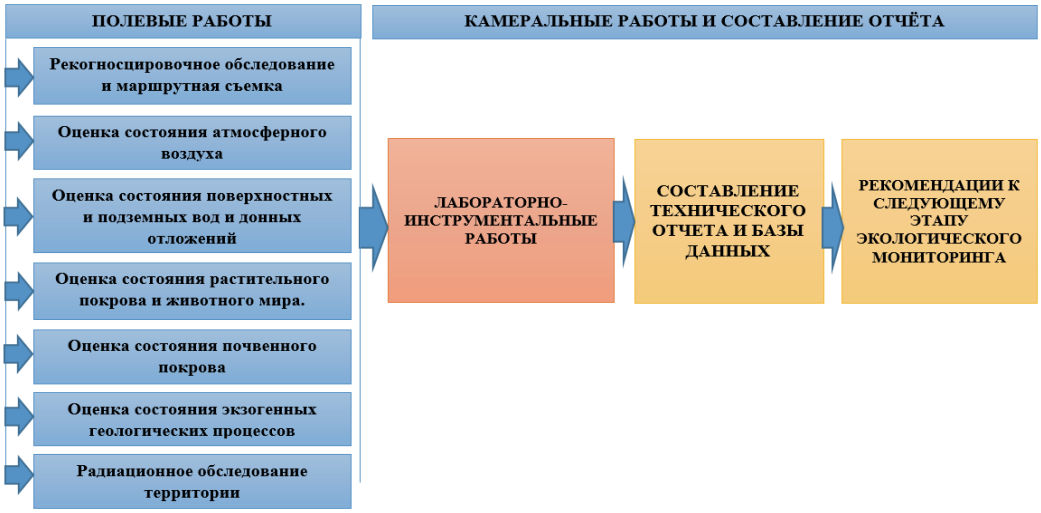


Рисунок. Состав методики оценки фонового состояния компонентов окружающей среды

• Зоны с особыми условиями использованиям территории (ЗОУИТ);
• Хозяйственное использование территории;
• Социально-экономическое положение;
• Современное фоновое состояние компонентов окружающей среды;
• Предварительный прогноз возможных неблагоприятных изменений природной биогенной среды;
• Перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия и рациональному использованию природных ресурсов на период проведения геологоразведочных работ;
• Предложения к программе экологического мониторинга.

Таким образом, предлагаемая методика оценки фонового состояния компонентов окружающей среды является основой разработки программы экологического мониторинга (ПЭК) объекта недропользования и источником информации для проводимых инженерных изысканий, выполняемых для разработки проектной документации объектов капитального строительства, связанных с разработкой месторождений. Кроме того, полученная информация может быть использована как «точка отсчета» при оценке степени нарушенности земель на территории объекта недропользования и в зоне его воздействия, а также может быть применена при расчете ущерба компонентам окружающей среды в контрольно-надзорной деятельности исполнительных органов власти субъектов Российской Федерации.

Таблица 2. Нормативно-технические источники обоснования объемов и состава работ в рамках оценки

№	Вид работ	Обоснование объема и состава работ	
		Нормативная основа	Научно-методическая основа
1	Рекогносцировочное обследование и маршрутная съемка	СНиП 11-102-97, СП 47.13330.2016, СП 502.1325800.2021	1, 6, 9, 11, 12, 26, 28
2	Оценка фонового состояния атмосферного воздуха	СНиП 11-102-97, СП 47.13330.2016, СП 502.1325800.2021, ГОСТ 17.1.5.05-85, РД 52.04.186-89, РД 52.04.667-2005	5, 14, 15, 16
3	Оценка фонового состояния поверхностных водоемов, подземных вод и донных отложений	СНиП 11-102-97, СП 47.13330.2016, СП 502.1325800.2021, СанПиН 1.2.3685-21, ГОСТ Р 59024-2020, РД 52.24.609-2013, ГОСТ 17.1.5.01-80, ПП РФ № 1393, РП РФ № 2753-р, ФЗ РФ № 155, Приказ МПР № 112	2, 3, 20, 21, 27, 31, 32, 33
4	Оценка фонового состояния растительного покрова и животного мира	СНиП 11-102-97, СП 47.13330.2016, СП 502.1325800.2021	11, 12, 13, 17, 18, 19, 30
5	Биогеохимические исследования	–	4, 7, 8, 10, 22, 23, 24, 25
6	Оценка фонового состояния почвенного покрова	СНиП 11-102-97, СП 47.13330.2016, СП 502.1325800.2021, СанПиН 2.1.3684-21, СанПиН 1.2.3685-21, ГОСТ 17.4.3.01-2017, ГОСТ 17.4.4.02-2017, ГОСТ 17.5.3.06, ГОСТ 17.5.1.03, ГОСТ 17.4.1.3.01-2019, МУ 2.1.7.730-99, ГОСТ Р 58486-2019, ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3.2-2003, ПНД Ф 12.4.2.1-99.	1, 6, 9, 15, 26, 28
7	Пешеходное радиационное обследование территории	СНиП 11-102-97, СП 47.13330.2016, СП 502.1325800.2021, СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009), СП 2.6.1.2612-10 (ОСПОРБ-99/2010), СанПиН 2.6.1.2800-10, Письмо Роспотребнадзора от 03.12.2009 № 01/18433-9-32, МУ 2.6.1.2398-11	1, 6, 9, 15, 26, 28
8	Оценка фонового состояния экзогенных геологических процессов (ЭГП)	ГОСТ 22.0.03-97; ГОСТ Р 22.1.06-99; СП 116.13330.2012; СП 115.13330.2016; Требования к составу информации…, 1995; Макет программы работ…, 1998; Методическое письмо № 2…, 1990; Методическое письмо по проведению…, 2001; Временные требования по использованию…, 2000; ФЗ РФ «О недрах»; Положение о порядке осуществления... Минприроды РФ от 21.05.2001 г.; Правила охраны недр. Госгортехнадзор РФ 06.06.2003 г.; СП 165.1325800.2014	29

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко В. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : Логос, 2005. – 354 с.
2. Базарский О. В. Механизмы образования донных осадков в водоемах // Материалы Второго молодежного инновационного проекта «Школа экологических перспектив». Воронеж : Изд-во ВГУ, 2013. – С. 9–14.
3. Бреховских В. Ф., Казмирук Т. Н., Казмирук В. Д. Донные отложения Иваньковского водохранилища. – М. : Наука, 2006. – 253 с.
4. Брукс Р. Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых. – М. : Недра, 1986. – 312 с.
5. Василенко В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 181 с.
6. Ворошилов В. Г. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 104 с.
7. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает и др. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
8. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. – М. : Изд-во МГУ, 1964. – 227 с.
9. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / Григорян С. В., Кузин М. Ф., Соловов А. П. – М. : Недра, 1983. – 191 с.
10. Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. – М. : Недра, 1974. – 144 с.
11. Корчагин А. А. Полевая геоботаника. Т. I–V. – Л. : Наука, 1976.
12. Краснощеков Ю. Н. и др. Полевая геоботаника с основами почвоведения. – Красноярск : Изд-во Красноярск. гос. ун-та, 2004. – 117 с.
13. Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в России (с алгоритмами расчета численности). Методика учета утверждена приказом ФГБУ «ФНИЦ Охота» от 14 ноября 2022 года № 74.
14. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 15 мая 1990 г. № 5174-90).
15. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 112 с.
16. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 66 с.
17. Методические указания по организации и проведению зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР (1980).
18. Методические указания по организации, проведению и обработке зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР (1990).
19. Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Мулдашев А. А. Высшие растения: краткий курс систематики с основами науки о растительности: Учебник. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
20. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга / Региональный норматив, разработанный в рамках российско-голландского сотрудничества по PSO95/RF/3/1. – СПб., 1996. – 20 с.
21. Обоснование обобщающего показателя качества экологического состояния донных отложений / А. А. Кленкин, Л. Ф. Павленко, И. Г. Корпакова, З. А. Темердашев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – № 8. – С. 11–14.
22. Перельман А. И. Геохимия биосферы. – М. : Наука, 1973. – 167 с.
23. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. – М. : Высш. шк., 1966. – 392 с.
24. Перельман А. И. Геохимия природных вод. – М. : Наука, 1982. – 152 с.
25. Перельман А. И. Геохимия. – М. : Высш. шк., 1979. – 424 с.
26. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 768 с.
27. Правила охраны поверхностных вод (типовые положения). – М. : Госкомприрода СССР, 1991. – 34 с.
28. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : Недра, 1985. – 294 с.

29. Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых. – М. : МПР, 2000.
30. Флора Сибири. В 14 томах / Сост. Кашина Л. И, Красноборов И. М., Шауло Д. Н. и др. – Новосибирск : Наука, 1988.
31. Янин Е. П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка). – М. : ИМГРЭ, 2004. – 95 с.
32. Muller G. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River // GeoJournal. – 1969. – No. 2. – P. 108–118.
33. Pandey J., Singh R. Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences // Appl Water Sci. – 2015. – V. 7. – P. 1669–1678. − DOI 10.1007/s13201-015-0334-7.

Аленичева А. А. (Antonina_Alenicheva@karpinsyinstitute.ru),
Куделько И. Ю. (Irina_Kudelko@karpinskyinstitute.ru),
Шатов В. В. (vitaly_shatov@karpinskyinstitute.ru)
Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАПАДНО-ПРИМОРСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В ОТНОШЕНИИ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ (ЮГО-ЗАПАДНОЕ ПРИМОРЬЕ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

Обоснована пространственная и генетическая связь золото-медно-порфирового оруденения Западно-Приморской металлогенической зоны с средне-позднепермскими гранитоидами рязановского плутонического комплекса. Выделены новые перспективные Au-Cu-(Mo)-порфировые рудные узлы: Каменный и Верхнеконстантиновский.

Ключевые слова: Западно-Приморская металлогеническая зона, Au-Cu-порфировое оруденение, средне-позднепермские гранитоиды, рязановский комплекс, Каменный, Верхнеконстантиновский, рудные узлы.

Введение. Западно-Приморская металлогеническая зона (МЗ) охватывает часть Юго-Западного Приморья на границе с Китаем (рисунок). В структурном плане МЗ соответствует Лайолин-Гродековскому блоку западной части Ханкайского гетерогенного массива (микроконтинента) с неопротерозойским метаморфическим основанием. Лайолин-Гродековский блок является продолжением складчатых структур Центрально-Азиатского орогенного пояса, с которыми на территории северно-восточного Китая связаны многочисленные Mo и Cu-Mo порфировые месторождения [6]. Сходство структурной позиции предполагает обнаружение в Западно-Приморской МЗ промышленных объектов порфирового типа, однако систематизированных металлогенических исследований, направленных на выявление крупнообъемной минерализации порфирового типа на этой территории, проведено недостаточно.

Геоструктурная позиция и металлогения. В структурах Лайолин-Гродековского блока пермские островодужные и аккреционные комплексы рассматриваются как восточное окончание пермь-триасового Янбианского складчатого пояса, выделенного на территории Китая [5]. На российской территории ранне-среднепермские и среднепермские осадочно-вулканогенные и вулканогенные образования барабашской, решетниковской, владивостокской свит и гранитоиды плутонического средне-позднепермского рязановского комплекса слагают Ханкайский вулкано-плутонический пояс (ВПП) [3], который подразделяется на Западно-Ханкайский и Восточно-Ханкайский.

Андезит-диорит-гранодиорит-гранитная вулкано-плутоническая ассоциация Западно-Ханкайского ВПП является продуктивной в отношении медно-порфировой минерализации Западно-Приморской МЗ в составе Амуро-Сихотэ-Алинской металлогенической медно-порфировой провинции [3], охватывающей южную часть Дальневосточного региона (рис. 1). Металлогенический профиль МЗ определяют многочисленные рудные и россыпные проявления Au, а также проявления и пункты минерализации Pb, Zn, Cu и Mo. Перспективы МЗ связывались с золото-

рудными узлами: Первомайским Приханкайского рудного района (РР) с золоторудным месторождением Первомайское и Комиссаровским в Комиссаровско-Фадеевском РР [2]. Проведенные за последние годы исследования позволяют выделить в Западно-Приморской МЗ два новых рудных узла (РУ), перспективных в отношении Au-Cu-порфирового оруденения: Каменный и Верхнеконстантиновский, минерализация которых ассоциирует с гранитоидами рязановского плутонического комплекса.

Характеристика рудоносного комплекса. Средне-позднепермский рязановский габбро-диорит-гранодиорит-гранитовый комплекс образует три последовательные интрузивные фазы, из которых потенциально рудоносными являются порфировидные гранодиориты и амфиболовые граниты второй фазы. Помимо геохимических особенностей, таких как окисленность и адакитовый состав [1], характерных для магм, инициирующих образование порфировых рудных систем, потенциальная рудоносность гранитоидов подтверждена индикативными геохимическими параметрами цирконов-PIZ, которые изучались по методике, изложенной в работе [4]. Порфировидные гранодиориты и граниты Гродековского батолита показали наивысшую продуктивность на Au-Cu порфировое оруденение, сопоставимую с крупными порфировыми объектами (Малмыж, Песчанка) [1].

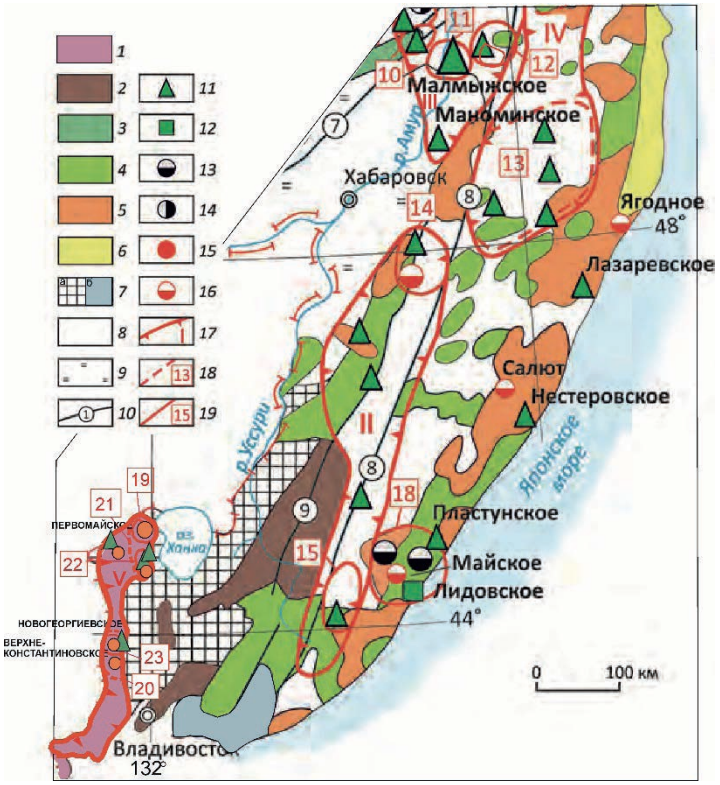


Рисунок. Схема размещения Западно-Приморской МЗ в южной части Амурско-Сихотэ-Алинской медно-порфировой провинции. По [3], с дополнениями авторов:

1–6 – ареалы развития магматических образований вулкано-плутонических поясов: 1 – Западно-Ханкайского (P_{1-2}), 2 – Восточно-Ханкайского (P_{1-2}), 3 – Хингано-Охотского (K_{1-2}), 4 – Западно-Сихотэ-Алинского (K_{1-2}), 5 – Восточно-Сихотэ-Алинского (K_2–P_1), 6 – Колчанского (P_{2-3}); 7 – выступы: а) Ханкайского и б) Сергеевского мегаблоков; 8 – терригенные и вулканогенно-терригенные толщи Сихотэ-Алинской складчатой системы; 9 – кайнозойские впадины; 10 – основные разломы (7 – Харпийский, 8 – Центральный, 9 – Арсеньевский); 11–16 – месторождения (крупный знак) и проявления (мелкий знак): 11 – (молибден)-медно-порфировые, 12 – медноскарновые, 13 – свинцово-цинковые с содержанием меди, 14 – оловорудные, 15 – золото-сульфидно-кварцевые, золото-порфировые, 16 – золото-серебряные; 17 – медно-порфировые металлогенические зоны: II – Южная, III – Западная, IV – Восточная, V – Западно-Приморская; потенциальные медно-порфировые: 18 – рудные районы (13 – Дагды-Коппинский, 20 – Николо-Львовский, 21 – Приханкайский) и 19 – рудные узлы: (10 – Анаджаканский, 11 – Малмыжско-Болоньский, 12 – Пони-Мулинский; 15 – Соболиный; 19 – Первомайский, 22 – Каменный, 23 – Верхнеконстантиновский, 18 – Лидовский

Перспективные рудные узлы. *Каменный Cu-Mo-Au-рудный узел* выделен в южной части Приханкайского РР (рис. 1) при анализе материалов ГДП-200 (Росгеолфонд, Геол. отчет № 546999, 2010) и проведенных аналитических исследований [1]. Выявлены два Cu-Mo-порфировых проявления: Ильинское и Южный с контрастными ореолами Cu, Mo и Sn, при заверке которых выявлены кварц-полевошпатовые и кварц-сульфидные жилы с малахитом, азуритом, баритом, халькопиритом мощностью 25–40 см, с содержанием Au до 9,7 г/т, Cu до 10 %, молибдена – 0,01–0,1 %, кобальта – 0,01–0,1 %.

Верхнеконстантиновский Cu-Au-рудно-россыпной узел выделен в Николо-Львовском РР (рис. 1) при ГДП-200 (Росгеолфонд, Геол. отчет № 546999, 2022). Медно-золоторудная минерализация установлена в эндо- и экзоконтактах гранитной интрузии рязановского комплекса. В пределах узла выявлено Верхнеконстантиновское проявление Au и Cu и Новогеоргиевское проявление Cu и полиметаллов, пункты минерализации Sn, Pb, Au, W, литохимические ореолы золота. В отдельных пробах содержания Cu – 0,14–0,93 %.

Заключение. Уточнение ареалов распространения потенциально рудоносных на Au-Cu-Mo-порфировую минерализацию пермских гранитоидов рязановского комплекса и связанных с ними полей метасоматитов позволяет расширить границы Западно-Приморской МЗ и выделить в ней новые потенциальные РУ: Каменный и Верхнеконстантиновский. Для достоверной оценки прогнозных ресурсов Au, Cu и Mo на площади потенциальных РУ рекомендуется проведение крупномасштабных геолого-съемочных (ГК 50, ГК 25) и поисково-оценочных работ.

Исследования выполнены счет субсидий по Государственному заданию Федерального агентства по недропользованию по объекту «Мониторинг государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа в 2023–2025 годах».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аленичева А. А., Шатов В. В. [и др.] Изучение изотопно-геохимических параметров цирконов позднепермских гранитоидов Гродековского батолита (Юго-Западное Приморье) для оценки их продуктивности на золото-медно-порфировое оруденение и прогнозирования новых объектов // Металлогения золота Центрально-Азиатского орогенного пояса и его обрамления. – Кызыл : ТувИКОПР СО РАН, 2024. – С. 10–17.
2. Государственная геологическая карта РФ. М-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Дальневосточная серия. Лист L-52 (Пограничный), L-53 (Ханка), K-53 (Находка) / Под ред. С. В. Коваленко. – СПб. : Карт. фабрика ВСЕГЕИ, 2006.
3. Минина О. В., Мигачёв И. Ф., Звездов В. С. Прогнозно-металлогеническое районирование южной части Дальневосточного региона на медно-порфировое оруденение // Отечественная геология. – 2019. – № 1. – С. 35–49.
4. Петров О. В., Киселев Е. А. [и др.] Распределение элементов-примесей в цирконе как индикатор рудоносности магматических пород Au-Cu-порфировых проявлений Малмыжского и Понийского рудных полей (Нижнее Приамурье, Дальний восток) // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 55–70.
5. Ханчук А. И., Аленичева А. А. [и др.] Ханкайский массив: гетерогенность фундамента и региональные корреляции // Тихоокеанская геология. – 2022. – Т.41, № 4. – С. 3–22
6. Qingdong Zeng, Kezhang Qin, Qingdong Zeng. Porphyry molybdenum deposites in the Tiashan-Xingmeng orogenic belt, Northern China // Int J Earth Sci (Geol Rundsch. – 2015. – V. 104. – P. 991–1023. – DOI : 10.1007/s00531-014-1122-6.

Антащук К. М.
ООО «УК Полюс», г. Москва

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПОИСКОВОЙ СТАДИИ ГРР: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассматриваются вопросы повышения эффективности геофизического сопровождения поисковой стадии ГРР. Приведены основные факторы, приводящие к снижению качества данных и надежности интерпретации полученных результатов. Обозначены возможные пути устранения ключевых ошибок и усовершенствования подходов при планировании и проведении работ, а также интерпретации полученных материалов.

Ключевые слова: геофизическое сопровождение, геологоразведочные работы, твердые полезные ископаемые.

Согласно действующим и разрабатываемым методическим рекомендациям по проведению ГДП-200 и ГМК-50, геофизическое сопровождение геолого-съемочных работ реализуется в несколько этапов.

На первом этапе на всей изучаемой территории проводятся комплексные аэрогеофизические съемки, по результатам которых выделяются перспективные для обнаружения ПИ участки. На втором этапе в пределах выделенных участков проводятся детальные наземные съемки, которые могут быть дополнены активно развивающимися беспилотными съемками. Несмотря на существенный технический прогресс, развитие аппаратурной базы, программного обеспечения обработки и инверсии данных, эффективность выполняемых работ по-прежнему невысока. Такое положение дел связано с рядом факторов, среди которых сложность поисковых объектов, их значительная удаленность от районов развитой инфраструктуры, сложные физико-географические условия ведения работ. С другой стороны, есть ряд субъективных факторов, уменьшающих эффективность геофизических работ, а иногда и препятствующих получению новой информации.

При планировании работ, как правило, и отраслевые институты, и недропользователи идут по пути применения «типового» комплекса геофизических методов для каждой поисковой модели профилирующего ПИ. При этом учет особенностей геологического строения площади, ландшафтных особенностей, предполагаемой физико-геологической модели конкретного объекта на исследуемой территории и геологических задач выполняется достаточно формально, в том числе из-за недостатка времени и ресурсов для полноценного анализа ретроспективных данных. Поэтому аэрогеофизические съемки проводятся с максимальным количеством регистрирующего оборудования на воздушном носителе. Подобный подход позволяет получать избыточное количество геофизических характеристик среды, что имеет свои преимущества при недостаточно проработанной физико-геологической модели. В то же время он ведет к снижению качества получаемых данных и, как следствие, к снижению информативности каждого метода в отдельности и комплекса в целом.

При обработке и интерпретации аэрогеофизических данных основным источником ошибок является отсутствие актуальной геологической информации вследствие объективной разобщенности между геологической и геофизической службами. Современное программно-математическое обеспечение обработки и инверсии позволяют получать полностью математически обоснованные геофизические модели, однако полученные в «геологическом вакууме», без учета априорных петрофизических и структурных ограничений, они могут полностью не соответствовать геологическому строению территории. При широко используемом формализованном прогнозе полученные геофизические данные вместе с накопленными ошибками используются для локализации перспективных участков на основе эталонных усредненных физико-геологических моделей предполагаемого типа оруденения или характеристик уже открытых на данной территории месторождений.

Результаты заверочных детализационных геофизических работ, выполняемых в пределах выделенных перспективных площадей, как правило, тоже не приводят к существенным результатам, так как ограничиваются стандартным комплексом магниторазведки с электрораз-

ведкой методом вызванной поляризации, что оптимально не для всех типов месторождений. Эффективность работ, особенно крупномасштабных, непосредственно зависит от детальной постановки геологических задач и определения параметров целевых объектов поиска, включая рудовмещающие и рудоконтролирующие толщи или структуры, зоны минерализации, метасоматические изменения горных пород.

Все перечисленные выше проблемы в конечном итоге ведут к двум негативным последствиям: во-первых, к снижению эффективности геофизического сопровождения геолого-поисковых работ, во-вторых, к компрометации геофизических методов и снижению уровня доверия со стороны геологического сообщества, и, как результат, к снижению объёмов работ и финансирования геофизических исследований.

Для качественного повышения уровня геофизического сопровождения ГРР на всех этапах работ необходимо предпринять следующие шаги. Во-первых, тщательное планирование геофизических работ, основанное на конкретных геологических задачах. Их постановка должна быть максимально детальной, с указанием конкретных целевых рудоконтролирующих или рудовмещающих объектов. На основе геологической информации должны быть определены физико-геологические модели и наиболее значимые для данного объекта геофизические характеристики. Следует обратить внимание на то, что информативные признаки могут меняться при переходе на более крупный масштаб, и формируемые модели должны это учитывать. На основе сформированной физико-геологической модели и с учетом физико-географических особенностей изучаемой территории выбирается комплекс методов и методика проведения съемки, определяются требуемые точности ведения работ. При формировании наиболее эффективного комплекса следует особое внимание уделять как ретроспективным материалам, так и имеющимся на рынке новым технологиям, к примеру беспилотным съемкам, которые зачастую позволяют получать достаточную геолого-геофизическую информацию, существенно снижая затраты на проведение работ. При создании поисковых физико-геологических моделей целесообразно использовать развиваемые профильными геологическими институтами геологические модели соответствующего масштабного уровня, переводя их характеристики в параметры наблюдаемых полей.

При интерпретации данных необходимо обеспечить полноценное взаимодействие между геологическими и геофизическими службами. Подход к интерпретации должен быть реализован по итерационному алгоритму «априорные данные – стартовая модель – инверсия – оценка сходимости – уточнение модели», что возможно только при совместной работе геолога и геофизика. Кроме того, на всех этапах необходимо рассматривать весь комплекс имеющейся геолого-геофизической информации и стремиться к построению комплексных моделей, удовлетворяющих всем имеющимся данным.

Относительно новым направлением, которое игнорируется в отраслевых институтах, является развитие Big Data анализа с привлечением соответствующих специалистов, обладающих необходимыми навыками и квалификацией. Как уже отмечалось выше, все массивы данных, получаемые в полевой период, анализируются отдельными группами по каждому направлению. Работающие параллельно группы обмениваются лишь «значимыми» с их точки зрения данными и закономерностями. Базы данных зачастую ведутся с сильными задержками и достаточно формально, разные группы специалистов используют различное специализированное программное обеспечение. При этом в сложных геологических условиях только полноценный комплексный анализ может позволить получить принципиально новый и эффективный результат. Создание дополнительной группы аналитиков с соответствующими компетенциями, контролирующих своевременную актуализацию всех баз данных и осуществляющих контроль, пространственный анализ, вычисление корреляционных связей, статистики, может оказать значительное положительное влияние и позволить повысить эффективность ГРР в целом.

Для реализации очевидных, но на практике постоянно игнорируемых требований к получению качественных геофизических данных необходимо обеспечить полноценный анализ ретроспективных данных для обоснования постановки на всей исследуемой территории или ее части полевы работ, аэрогеофизических, беспилотных или наземных, либо использования

только ретроспективных данных, а также для создания поисковых физико-геологических моделей.

Участие компаний-недропользователей в региональном геологическом изучении недр, с одной стороны, может придать новый импульс развитию методики геофизического сопровождения, а с другой стороны, ставит новые вызовы перед компаниями-исполнителями. Важно отметить необходимость повышения роли отраслевой науки и влияния геофизических институтов на разработку и внедрение методических документов, технологий проведения ГРР и апробирование новых методов.

Антонов А. Е. [1] (alexander.e.antonov@gmail.com), Егорова Л. А. [2] (3goroval@gmail.com)
[1] Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева, г. Ташкент, Республика Узбекистан;
[2] АО «НГМК», г. Навои, Республика Узбекистан

МУРУНТАУСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ ПОЛЕ: ВОЗМОЖНОСТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РОСТА РЕСУРСНОЙ БАЗЫ И УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Геотектоническая позиция гигантского мегаштокверка Мурунтау определяется пересечением двух структурных трендов юго-восточного и юго-западного простирания (соответственно Мурунтау-Айрак и Мурунтау-Даугызтау). В 45 км к ЮВ выделено недоразведанное Айрак-Акказатское рудное поле с потенциалом увеличения ресурсной базы горнорудного комбината. На глубоких горизонтах северо-восточного фланга рудного поля прогнозируется слепая залежь большой мощности, рентабельная для подземной отработки. Важный потенциал роста производства связан также с вовлечением в переработку низкосортной и забалансовой руды. Для получения необходимых дополнительных количеств воды планируется внедрение систем ее рециркуляции.

Ключевые слова: месторождение, мегаштокверк, золото, Мурунтау, структурный тренд, слепая залежь.

Крупнейшее в мире месторождение золота Мурунтау привлекало внимание многих исследователей со времени его открытия в 1958 г. Гигантский мегаштокверк образовался вблизи сутурной зоны закрывшегося в верхнем палеозое Туркестанского палеоокеана. Его формирование связано с эволюцией палеоокеана в среднем и верхнем палеозое, с сопровождающими процессами спрединга, субдукции, коллизии, вплоть до его закрытия, предшествовавшего периоду наиболее интенсивного рудообразования.

Месторождение вместе с близлежащими сателлитами составляет Мурунтауское рудное поле (МРП), занимающее юго-восточную оконечность гор Тамдытау на границе с мезо-кайнозойскими отложениями Сардаринской впадины. Показанный на схеме (рисунок) контур рудного поля включает как выходящие на поверхность палеозойские обнажения, так и минерализованные зоны, скрытые под чехлом мезо-кайнозоя, в пределах возможной доступности для добычных работ.

Рудные тела к ЮВ от мегаштокверка рассматриваются как самостоятельные месторождения Мютенбай и Триада (Чукуркудук).

Геотектоническая позиция рудного поля и его границы определяются пересечением двух структурных трендов – Мурунтау-Айракского юго-восточного простирания и юго-западного Мурунтау-Даугызтауского. Площадь МРП оценивается нами в 90 км^2.

Kempe et al. [12] объяснили позицию месторождения Мурунтау расположением на пересечении двух сдвиговых зон: северо-восточного направления-Мурунтау-Даугызтау и субширотного – Тамдытау-Сангрунтау, идентифицированных по геофизическим данным без анализа деталей их геологического строения.

Нами на основе изучения геолого-геофизических данных по палеозойской части Мурунтауского рудного поля и перекрытому мезо-кайнозойским чехлом фундаменту Сардаринской впадины был выделен Мурунтау-Айракский золоторудный тренд.

Это один из десятка намеченных структурных трендов в Центрально-Кызылкумском рудном районе [2]. Термин «структурный», «золоторудный тренд» используется по аналогии с золоторудной провинцией Невады («Карлин-тренд») и по содержанию примерно соответствует «рудной зоне» в отечественной литературе. Мы проанализировали геологическую структуру отдельных трендов с учетом результатов аэромагнитной, наземной магнитной, гравиметрической и электроразведочной съемок. Пересечением двух из них определяется позиция МРП.

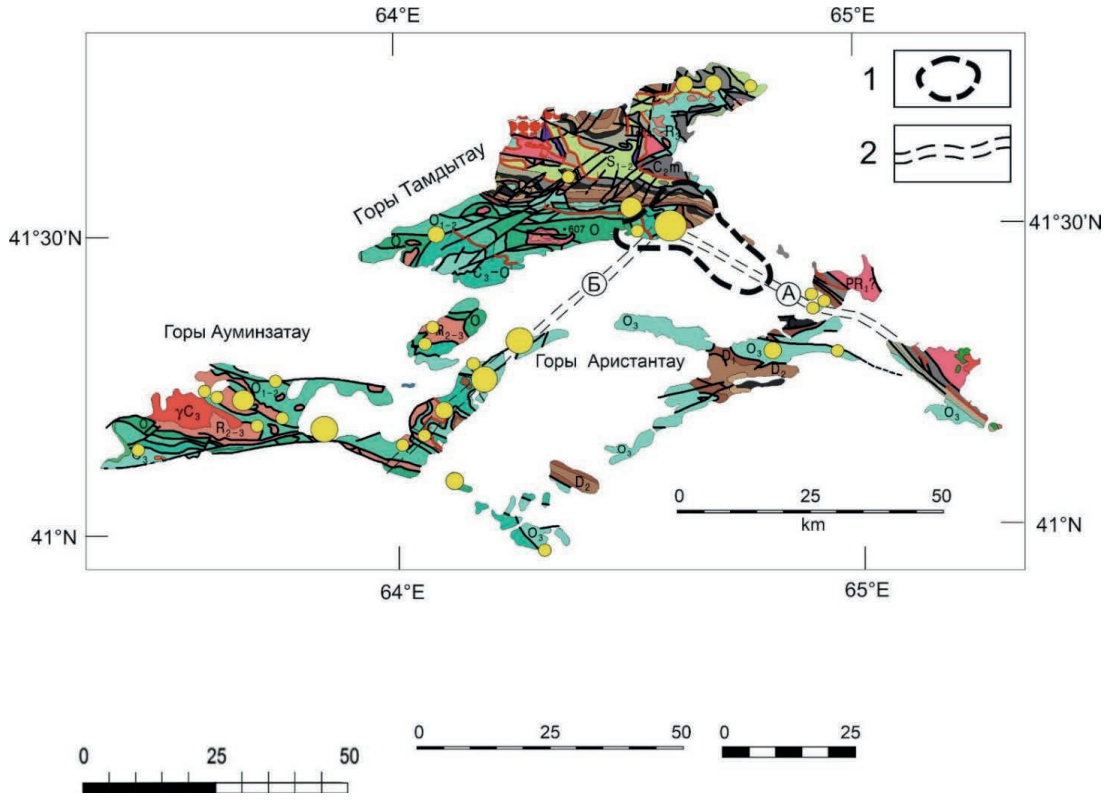


Рисунок. Положение Мурунтауского рудного поля в Кызылкумском рудном районе (на основе Карты месторождений полезных ископаемых Республики Узбекистан. Авторы: В. В. Михайлов, В. В. Чирикин, Н. Г. Саидова, Б. И. Пинхасов, 2017 г.):
1 – контур Мурунтауского рудного поля; 2 – золоторудные тренды: А – Мурунтау-Айракский, Б – Мурунтау-Даугызтауский. Прочие условные обозначения – см. Карту месторождений полезных ископаемых

Мурунтау-Айракский золоторудный тренд включает рудные тела Мурунтау и Мютенбая в палеозойской части возвышенности Тамдытау, а далее в восток-юго-восточном направлении – вскрытые бурением под мезо-кайнозойским чехлом минерализованные зоны месторождения Триада (Чукуркудук) и вытянутые в этом же направлении геохимические ореолы золота и мышьяка, выявленные картировочным геохимическим бурением в фундаменте Сардаринской впадины (М. Т. Хон и др., 1994).

Сопровождающим этот тренд дизъюнктивным нарушением является изгибающаяся в восток-юго-восточном направлении ветвь субширотного Южного разлома.

Мурунтау-Даугызтауский тренд северо-восточного простирания, поперечный к продольным структурам Северо-Нуратинско-Кызылкумского глубинного разлома и сутурной зоне Туркестанского полеоокеана, был выделен U. Kempe и др. [12], а ранее С. Н. Паком (1990 г.) был назван «сквозной Даугызтау-Амантайтау-Мурунтауской региональной рудоконтролирующей структурой повышенной проницаемости (шириной 4–8 км)».

Сардаринская впадина, примыкающая с юга к Мурунтускому рудному полю, играет важную роль в геологическом строении как МРП, так и всего Центрально-Кызылкумского района [3]. Заполняющие ее мезо-кайнозойские отложения мощностью от 50 до 500 м перекрывают

рудовмещающие породы палеозоя и ограничивают возможности рентабельной отработки перекрытого оруденения. Предполагается, что при глубинах залегания до 100–150 м выявленные бурением рудные тела могут быть объектом открытой отработки, а при более глубоком залегании (до 300 м, а на отдельных участках, и более) возможна подземная добыча.

Мурунтауское рудное поле является крупнейшим горнорудным центром с карьерами по добыче золотой руды и двумя гидрометаллургическими заводами по ее переработке. Карьер Мурунтау в настоящее время объединен с карьером Мютенбай и достиг размеров 4,5 × 1,5 км.

К числу наиболее актуальных задач на современном этапе следует также отнести оценку глубоких горизонтов северо-восточного фланга МРП.

Как было показано ранее [1], две глубокие скважины пересекли рудоносные зоны в опущенном блоке северо-восточного фланга рудного поля на глубинах 1000–1800 м от поверхности. Вскрытое здесь оруденение представляет собой мощную залежь, с мощностями до 50–60 м, полого склоняющуюся на северо-восток. На такой глубине возможна только подземная добыча. Этот участок (возможное новое месторождение) мы характеризуем под названием «Чукур» («Глубокое»).

Бурением здесь установлены интервалы большой мощности, до 40 м и более с весьма высокими содержаниями золота, от 3,8 до 14,3 г/т [4]. Прогнозные ресурсы золота по двум выделенным рудным телам в блоке между северной и южной ветвями Южного разлома могут быть оценены как значительные.

В связи с этим снова встает вопрос о целесообразности перехода от открытой к комбинированной системе отработки, с продолжением открытой отработки мегаштокверка Мурунтау и начале шахтной отработки нового скрытого рудного тела северо-восточного фланга [10]. При этом учитываются современные данные о преимуществах подземной отработки по сравнению с открытыми карьерами [13].

Каковы преимущества / недостатки подземной добычи по сравнению с открытой? Представление о том, что открытая добыча как правило предпочтительнее подземной в последнее время коренным образом меняется. В частности, эксперты S&P Global [13] отмечают, что «подземные рудники имеют явное преимущество перед карьерами, а не наоборот, как считалось ранее».

Важным направлением роста производства является также вовлечение в переработку добываемой низкосортной руды с содержанием 0,5–0,7 г/т и забалансовой руды (0,4–0,5 г/т). В настоящее время ежегодный объем перерабатываемой руды на ГМЗ-2 превысил 50 млн т, планируется дальнейшее его увеличение до 65 млн т с возможным строительством новой фабрики. Это будет связано со значительным увеличением потребления воды. Для обеспечения дополнительных объемов воды планируется внедрение систем ее рециркуляции.

Одна из актуальных задач заключается в вовлечении в процесс геологоразведочных работ территорий, которые в прошлом остались недоразведанными, включая те, где перспективные участки перекрыты чехлом мезо-кайнозойских отложений. К числу таких первоочередных объектов, на наш взгляд, следует отнести потенциальное Айрак-Акказатское рудное поле, включающее кластер золоторудных проявлений Айрак Южный, Айрак Центральный, Айрак Северный, Акказат. Оно располагается в 45–50 км к ЮВ от рудника Мурунтау, на сопряжении Мурунтау-Айракского тренда с Ширикинской зоной смятия [1, 3].

На наш взгляд, Айрак-Акказатское рудное поле может явиться одной из перспективных площадей для расширения минерально-сырьевой базы комбината.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А. Е. Современное понимание геологической структуры Мурунтауского рудного поля, возможности увеличения запасов // Геология и минеральные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 42–51.
2. Антонов А. Е., Нуртаев Б. С. Золоторудные тренды Кызылкумов / Сборник тезисов докладов «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» XI Международной научно-практической конференции. – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 8–10.

3. Антонов А. Е., Нуртаев Б. С., Орипов С. Г. Сардаринская впадина – важный структурный элемент Мурунтауского рудного района // Геология и минеральные ресурсы. – 2022. – № 1. – С. 45–50.
4. Ежков Ю. Б., Рахимов Р. Р., Василевский Б. Б., Хантемиров Р. М., Туресебеков А. Х. Перспективы расширения Мурунтау-Косманачинского рудного узла (Центральные Кызылкумы, Узбекистан) // Руды и металлы. – 2009. – № 2. – С. 28–45.
5. Золоторудное месторождение Мурунтау / гл. ред. Шаякубов Т. Ш. – Ташкент : ФАН, 1998. – 539 с.
6. Йулдошев У. У. Развитие глубокого карьера Мурунтау в новых границах V очереди // Горный вестник Узбекистана. – 2016. – № 1 (64). – С. 22–25.
7. Миркамалов Р. Х., Диваев Ф. К., Селтманн Р., Конопелько Д. Л. Геодинамическая эволюция магматизма и связанного с ним оруденения Западного Тянь-Шаня на территории Узбекистана // Геология и минеральные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 3–15.
8. Савчук Ю. С., Асадулин Эн. Э., Волков А. В., Аристов В. В. Уникальное месторождение золота Мурунтау (Узбекистан): геодинамическая позиция и происхождение рудообразующей системы // Геология рудных месторождений. – 2018. – № 5. – С. 413–447.
9. Санакулов К. С. Особенности вовлечения в переработку техногенных отходов горно-металлургических производств // Горный вестник Узбекистана. – 2016. – № 1 (64). – С. 3–7.
10. Хамрабаев И. Х., Мансуров М. М., Джамалетдинов Н. К., Абдувахабов А. Структурные особенности Мурунтауского рудного поля и прогноз скрытого золотого оруденения // Геология и минеральные ресурсы. – 2001. – № 3. – С. 23–33.
11. Antonov A. E., Nurtayev B. S. Typical features of Carlin type gold deposits (CTGD), how consistent are they? KTGD (Kyzylkum type gold deposits), Uzbekistan, Southern Tien-Shan, vs CTGD // Proceedings of the 16th SGA Biennial Meeting, 2022. – 1:5–8.
12. Kempe U., Torsten Graupner T., Seltmann R. et al. The Muruntau gold deposit (Uzbekistan). A unique ancient hydrothermal system in the southern Tien Shan // Geoscience Frontiers. – 2016. – № 7. – pp. 495–528.
13. Tambah Komentar. Advantages Of Underground Mining / Visit Maldon, Victoria's grand and gorgeous gold town – Underground mines are the alternative to surface mines // DAJI-UTAS. 2021. https://daji-utas.blogspot.com/2021/06/advantages-of-underground-mining-visit.html.

Арипова М. К. (uz.aripova@mail.ru), Усманова Ш. В. (shaxina_u@mail.ru)
Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТРАКОД СЕМЕЙСТВА CYTHERIDAE ЮЖНОЙ ЧАСТИ ФЕРГАНСКОЙ ДЕПРЕССИИ

В статье представлены общие представления и монографическое описание остракод, обнаруженных в литолого-стратиграфическом разрезе Шорсу эоценовых отложений Ферганской впадины.

Ключевые слова: остракода, фауна, эоцен, литолого-стратиграфический разрез, створка, алай, туркистан.

Первые находки остракод связаны с изучением современной фауны. Наиболее крупные представители остракод были известны уже Аристотелю как «очень мелкие формы» среди креветок и крабов. Термин *Ostracoda* (первое наименование *Ostrachoda*) в качестве самостоятельного таксона впервые ввел Латрейль. Остракоды, или раковинчатые раки, относятся к подклассу *Ostracoda* класса *Crustacea*. Минимальные размеры ныне живущих остракод составляют 0,1 мм, максимальные – 23 мм. Раковина известковая или фосфатная. Остракода – микробентосная группа, наиболее чувствительная к изменению среды. Она является наилучшим объектом для палеоэкологических и фациальной изменчивости реконструкций. Их высокий стратигра-

фический потенциал отражен в зональных шкалах, разработанных в последние годы в Англии и Германии. Однако комплексы остракод в Узбекистане изучены недостаточно, их палеоэкология практически неизвестна.

Геологическое значение. Остракоды имеют большое биостратиграфическое значение, особенно для нефтегазоносных районов, благодаря сочетанию трех факторов: маленьких размеров, разнообразного строения, массовых находок в разнофациальных отложениях морского происхождения [И. А. Михайлова, О. Б. Бондаренко, Палеонтология, 2005, С. 265]. Это использование остракод обусловлено их повсеместным распространением в осадках различного типа и быстрой изменчивостью во времени. Мелкие размеры раковин делают остракод особенно ценной фауной при изучении отложении [1, 2]. Преимущественно образ жизни, известковистый состав раковины обусловливают роль остракод в качестве породообразующих организмов, а приуроченность значительной части семейств и родов остракод к определенной среде обитания (морской, солеватоводный, пресноводной) часто позволяет установить обстановку, в которой отлагались содержащие эту фауну осадки, которые являются условием поисков различных полезных ископаемых (Ю. А. Орлов, Основы палеонтологии, 1960). В кайнозойскую эру существуют представители пяти отрядов остракод – *Myodocopida, Cladocopida, Platycopida, Metacopida и Podocopida.* Представители первых четырех отрядов составляют не более 5 % всей кайнозойской фауны остракод, основная же ее часть приходится на долю представителей отряда *Podocopida* (кайнозойская остракода) [3, 4]. В изученных нами разрезах более распространенным является отряд Podocopida и *Platycopida*.

Отряд *Podocopida mijller, 1894.* Раковина овальной до закругленно-прямоугольной, не равностворчатая, иногда с вытянутым задним концом и с уступом на нем; изредка расчлененная или с центральной ямкой; часто шипы на концах и краевое ребро. Различно развитая внутренняя бесструктурная пластинка. Поверхность разнообразно скульптированная или гладкая.

Отряд *Platycopida, 1954*. Это другой подотряд остракодов, характеризующийся более плоскими, обычно тонкими и широкими раковинами. Эти остракоды часто встречаются в морских водах и обычно имеют активный образ жизни. Остракоды, включая группы Podocopida и *Platycopida*, играют значительную роль в палеогеографии, особенно в изучении изменений древних экосистем и реконструкции климатических и географических условий прошлого. Вот несколько ключевых аспектов их роли:

Индикаторы климатических изменений. Остракоды благодаря своей чувствительности к различным экологическим условиям служат отличными индикаторами климатических изменений. Изучая раковины остракод, можно реконструировать температуру воды, ее соленость, уровень кислорода и другие параметры среды в различные геологические эпохи. Например, различия в составе кальциевых карбонатных раковин могут свидетельствовать о колебаниях температуры или солености воды.

Реконструкция древних водоемов и экосистем. Изучая фоссилизированные остракоды, палеонтологи могут восстанавливать информацию о типах водоемов (например, морских, пресных, соленых или временных водоемах), в которых они обитали. Это помогает реконструировать древние экосистемы, исследовать, какие виды существовали в различных географических областях в разные исторические периоды.

Палеоокеанография и реконструкция океанских течений. Остракоды являются важными маркерами для изучения древних океанских течений. Разные виды остракодов предпочитают разные температурные и соленосные условия, и их распределение в палеоокеанах может помочь реконструировать древние океанические [5, 6].

Систематическая часть. **Отряд**: Podocopida. **Семейство**: Cytheridae. **Род**: *Cytheridea*. **Вид**: *Cytheridea khanabadensis* Mandelstam, 1959

Описание. Раковина почковидная, удлиненная, средней величины. Передний конец несколько выше заднего, более полого закруглен в верхней части; спинной край слабо выгнутый или прямой, брюшной – вогнут в передней трети. Створки почти равномерно выпуклые. Левая незначительно больше правой. Поверхность створок гладкая, иногда наблюдаются маленькие устья поровых каналов. Поровоканальная зона на концах нешироkая с густо расположенными прямыми тонкими поровыми каналами (Рис. 1). Бесструктурная пластинка слабо развита.



А



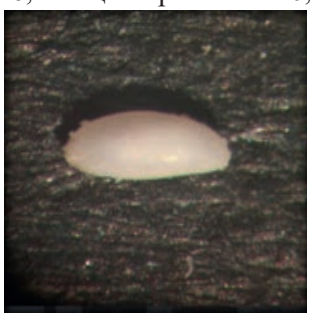
Б

Рис. 1. А – Cytheridea khanabadensis, разрез Шорсу, Б – место отбора проб

Размер в мм: длина раковины 0,66–0,78; высота переднего конца 0,31–0,36; высота заднего конца 0,23–0,30; толщина 0,30–0,27. *Сравнение.* Раковина описываемого вида идентична виду Cytheridea khanabadensis Mandelst. /1959/. *Распространение.* Ферганская депрессия: туркестанский, ханабадский и сумсарский горизонты /р. Шосу/; ханабадский горизонт – Чангырташ: ханабадский – сумсарский горизонты – Чаурская складки, Риштон; сумсарский горизонт – Приташкентский район, р. Каска-су (рис. 1, Б).

Отряд: Podocopida. **Семейство**: Cytherellidae. **Род**: *Cytherella*. **Вид**: *Cytherella evexa* Mandelstam, 1957.

Описание. Раковина яйцевидная, средней величины. Концы почти одинаковой высоты и полового дугообразно закруглены. Концы почти одинаковой высоты и полого дугообразно закруглены. Спинной и брюшной края прямые с перекрывающими выгибами правой створки, заходящими, в закрытой раковине, на левую сторону. На концах раковины охват выражен слабо (Рис. 2). Наибольшая выпуклость в задней части и равномерно уплощается к переднему концу. Наибольшая высота в средней части раковины. Створки гладкие. *Размеры в мм:* длина раковин – 0,7 м, диаметр – 0,4–0,46, толщина раковин – 0,25.



А



Б

Рис. 2. А – Cytherella evexa, разрез Шорсу, Б – место отбора проб.

Сравнение. Раковина описываемого оригинала идентична раковине вида Cytherella evexa, описанного М. И. Мендельштамом из ханабадских отложений Таджикской депрессии. *Распространение.* Средней верхней эоцен различных регионов Средней Азии.

Выводы. На основе систематических данных о видах *Cytheridea khanabadensis* и *Cytherella evexa* Mandelstam можно сделать несколько важных выводов, особенно в контексте палеонтологических и стратиграфических исследований. Оба вида остракодов были описаны на основе находок в осадках, относящихся к определенным геологическим эпохам (например, средний и верхний эоцен). Это позволяет использовать их как маркеры для стратиграфического датирования осадочных отложений. Изучение их распространения и возрастных характеристик помогает датировать слои осадков, где они встречаются, и точно устанавливать хронологию геологических процессов, происходивших в это время. Остракоды, такие как Cytheridea khanabadensis и Cytherella evexa, часто служат индикаторами экологических условий, таких как температура воды, ее соленость и химический состав. Зная предпочтения этих видов, можно сделать выводы о характере водоемов, в которых они обитали (например, морских, прибрежных или пресных водах), а также о климатических условиях в эпоху их существования. Эти данные могут помочь в восстановлении древних экосистем, а также в изучении изменений климата и окружающей среды за длительные геологические промежутки времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. 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. 30–35.
2. Абдуазимов И. М., Абдусаматов А. А., Кремлякова Т. М. // Отчет «Биостратиграфическое расчленение верхнемеловых и палеогеновых отложений Ферганской депрессии (разрезы Гава, Варзык, Исфайрам, Сох, Кувасай), миоцена и плиоцена Приташкентского региона за 2007–2010 гг. (Ташкентская обл.)». – С. 10–12.
3. Абдусаматов А. А. Отчет по теме «Расчленение и корреляция палеогеновых отложений Южного и Восточного Узбекистана (Ферганская депрессия, Приташкентский район, Юго-Западные отроги Гиссарского хребта)» за 1999–2002 гг. – С. 23–29.
4. Арипова М. К., Сатторова С. О., Мелибоев Б. Ф. Биостратиграфическое расчленения эоценовых отложений Ферганской депрессии // XV Всероссийское палеонтологическая конференция. – М. : Издательство ГЕОС, 2022. – С. 31–36.
5. Кушаков А. Р., Арипова М. К. // Распространение биотических сообществ, их особенности существования палеогенового седиментационного бассейна Ферганы. – Ташкент : Университет, 2023. – С. 286–290.
6. Kushakov A. R., Stelmakh A. G., Romanov S. A., Ilhamova G. K., Aripova M. K. Taxonomic Diversity of Fossil Complexes of Paleogene Sediments from the Fergana Basin of Uzbekistan. – P. 27392–27406.

Асроров А. А. (azamatasrorov603@gmail.com), Сайитов С. С. (sardorsayitov@gmail.com), Абдуваитов А. К. (azimjon.abduvaitov96@gmail.com)
[1] ГУ «Институт минеральных ресурсов» г. Ташкент, Узбекистан

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ТУКМАН (ЗАРМИТАНСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ)

В рамках данной работы были изучены руды и вмещающие породы рудопроявления золота Тукман в Зармитанском рудном поле. Особое внимание уделено изучению разновидностей рудовмещающих пород и метасоматическим изменениям, связанным с ними, а также исследованию минералогического состава, парагенетических минеральных ассоциаций на основе комплекса полевых геологических и лабораторных работ.

Ключевые слова: вмещающие породы, минеральный состав, петрографические особенности, ассоциация, самородное золото, рудопроявление Тукман, Узбекистан.

Рудопроявление Тукман структурно занимает северную часть Зармитанского золоторудного поля, расположенного в южном крыле Северо-Нуратинского антиклинория, который является составной частью Зарафшано-Туркестанской структурно-формационной зоны Южно-Тяньшаньского герцинского складчатого пояса. Рудопроявление находится в центральной части Кошрабадского интрузива в районе сочленения с Уразальским разломом, являясь восточным продолжением Уразальского рудопроявления, и сохраняет особенности геологического строения последнего. Характеризуется единством позиции в структуре рудного поля и основных закономерностей рудолокализации [1].

На рудопроявлении основными рудовмещающими породами являются интрузивные породы кошрабадского комплекса, которые представлены граносиенитами и их более щелочными и меланократовыми гибридными разностями – сиенитоидами и монцонитоидами, а также габброидами. Породы типичны для Кошрабадского интрузива с уклоном к меланократовым. Кроме того, на изученном объекте отмечаются блок-ксенолиты габбро-диабазов, габбро-диоритов, диоритов, кварцевых диоритов и гранодиоритов мальгузарского субвулканического комплекса [2].

На рудопроявлении Тукман рудоконтролирующими структурами являются системы сколовых трещин северо-восточного простирания, сочленяющиеся с Караулхона-Чармитанской зоной смятия. К ним относятся Уразальский разлом и система субпараллельных ему разрывов, часто фиксирующихся к северу от Караулхона-Чармитанской зоны смятия. Мощность разрывов достигает десятков метров, падение крутое (70–80°) на северо-запад.

На территории объекта в ходе полевых геологических исследований проводилось изучение обнажений коренных пород, наземных горных выработок и керна буровых скважин с целью изучения минерализованных зон и вмещающих пород. Для дальнейших минералого-петрографических исследований были отобраны соответствующие образцы. Минералого-петрографические характеристики руд и вмещающих пород были изучены с использованием оптических методов. В частности, петрографические особенности вмещающих пород и их метасоматические изменения были исследованы в прозрачных шлифах в проходящем свете с использованием микроскопа Nikon Eclipse LV100N POL. Изучение рудных минералов проводилось в аншлифах в отраженном свете под микроскопом.

В результате изучения прозрачных шлифов под микроскопом установлены следующие типы рудовмещающих пород на рудопроявлении Тукман: сиенит, монцонит-порфир, монцодиорит, диорит и их кварцевые разновидности, габбро-эссексит и гранодиорит. Среди них преобладают сиениты, кварцевые сиениты и монцонитоиды. Некоторые породы имеют разную степень метасоматического изменения. Дайковые образования представлены монцонит-порфирами и габбро-эссекситами.

На участке Тукман в породах можно наблюдать следующие структуры: гипидиоморфнозернистую (сиениты, кварцевые сиениты, монцодиориты, кварцевые диориты, гранодиориты) (рис. 1, а), аллотриоморфнозернистую (сиениты, габбро-эссекситы), порфировидную (сиениты, монцониты), маргинационную (сиениты, кварцевые сиениты), габбро-офитовую (габбро-эссексит) (см. рис. 1, б). Кроме того, во многих шлифах отмечаются сростки мирмекита на границе плагиоклаза и калиевого полевого шпата (см. рис. 1, в).

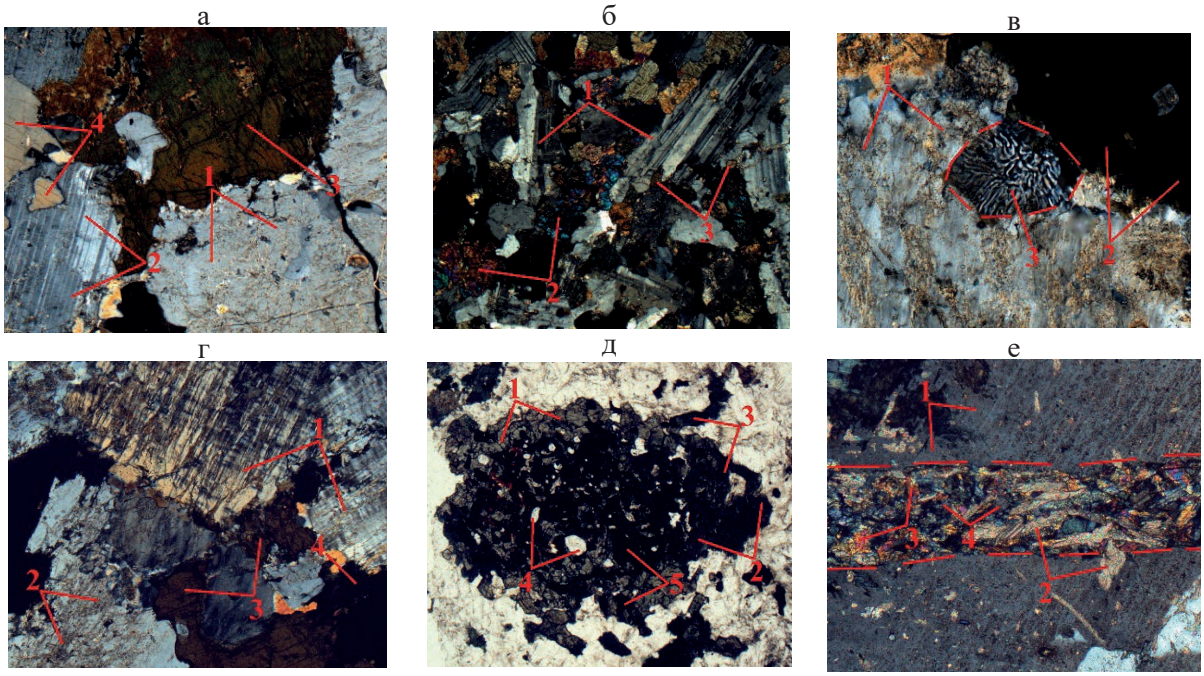


Рис. 1. Виды структур и метасоматических изменений пород рудопроявления Тукман:
структуры: а – гипидиоморфнозернистая (1 – ортоклаз, 2 – плагиоклаз, 3 – амфибол, 4 – кварц; ув. ×40, николи X), б – габбро-офитовая (1 – плагиоклаз, 2 – пироксен, 3 – сфен; ув. ×40, николи X); в – сростки мирмекита в сиените (1 – ортоклаз, 2 – амфибол, 3 – мирмекит; ув. ×100, николи X); г – пелитизация и пертитизация (1 – микроклин-пертит, 2 – ортоклаз (пелитизированный), 3 – амфибол, 4 – рудные минералы; ув. ×40, николи X); д – замещение фемических минералов (1 – пироксен, 2 – амфибол, 3 – хлорит, 4 – апатит, 5 – рудные минералы; ув. ×40, николи X); е – хлорит-эпидот-кальцитовый прожилок (1 – ортоклаз, 2 – карбонат, 3 – эпидот, 4 – хлорит; ув. ×100, николи X)

Вмещающие породы характеризуются слабо выраженными метасоматическими изменениями, представленными частичной серицитизацией, сосюритизацией, эпидотизацией и карбонатизацией плагиоклазов. В калиевых полевых шпатах наблюдаются пертитизация и частичная пелитизация (см. рис. 1, г). Темноцветные минералы (амфибол, пироксен и биотит) частично или полностью замещены хлоритом, эпидотом и карбонатом, а именно в этих зонах можно увидеть вкрапления оксидов железа в качестве вторичного продукта (см. рис. 1, д). Также, в некоторых шлифах отмечаются кальцитовые и хлорит-эпидот-кальцитовые прожилки мощностью до 0,5 мм и скопления титанита (см. рис. 1, е).

Что касается рудных зон, здесь метасоматические изменения развиты более интенсивно и выражены березитизацией, прожилковым окварцеванием и сульфидизацией (рис. 2, 3).

В результате изучения аншлифов под микроскопом установлены следующие рудные минералы: самородное золото, самородное серебро, самородная медь, сульфоантимонит серебра, пирит, арсенопирит, магнетит, пирротин, халькопирит, марказит, галенит, леллингит, сфалерит, гематит, ильменит, гидроксиды железа, касситерит, титанит, пиролюзит.

Форма проявления рудных минералов в основном в виде вкрапленности, скоплений, гнездовых и прожилковых образований, сростков рудных минералов друг с другом. Текстура руд вкрапленная, гнездовая, массивная, прожилковая, замещения. Структура рудных минералов по кристаллизации аллотриоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая. По размерности зерен – от мелкозернистых до крупнозернистых. Рудные минералы развиваются по трещинам пород и в межзерновых пространствах минералов, образуя вкрапления и скопления.

Содержание рудных минералов во всех аншлифах не превышает 15–20 % от общей массы аншлифа. Основными рудными минералами на площади аншлифов являются пирит, арсенопирит и магнетит. Также часто встречаются пирротин, марказит и халькопирит. Остальные минералы отмечены в количестве единичных или частых зерен. В нескольких аншлифах отмечены самородные минералы (золото, серебро, медь) (рис. 4, а). Отмечены они в количестве единичных зерен, как в виде вкраплений, так и сростков.



Рис. 2. Прожилковое окварцевание

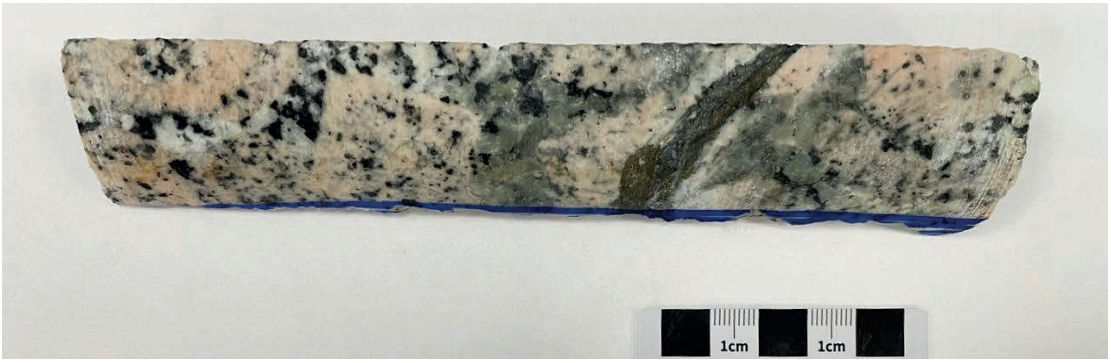


Рис. 3. Пирит-арсенопиритовые прожилки в кварцевых сиенит-порфирах

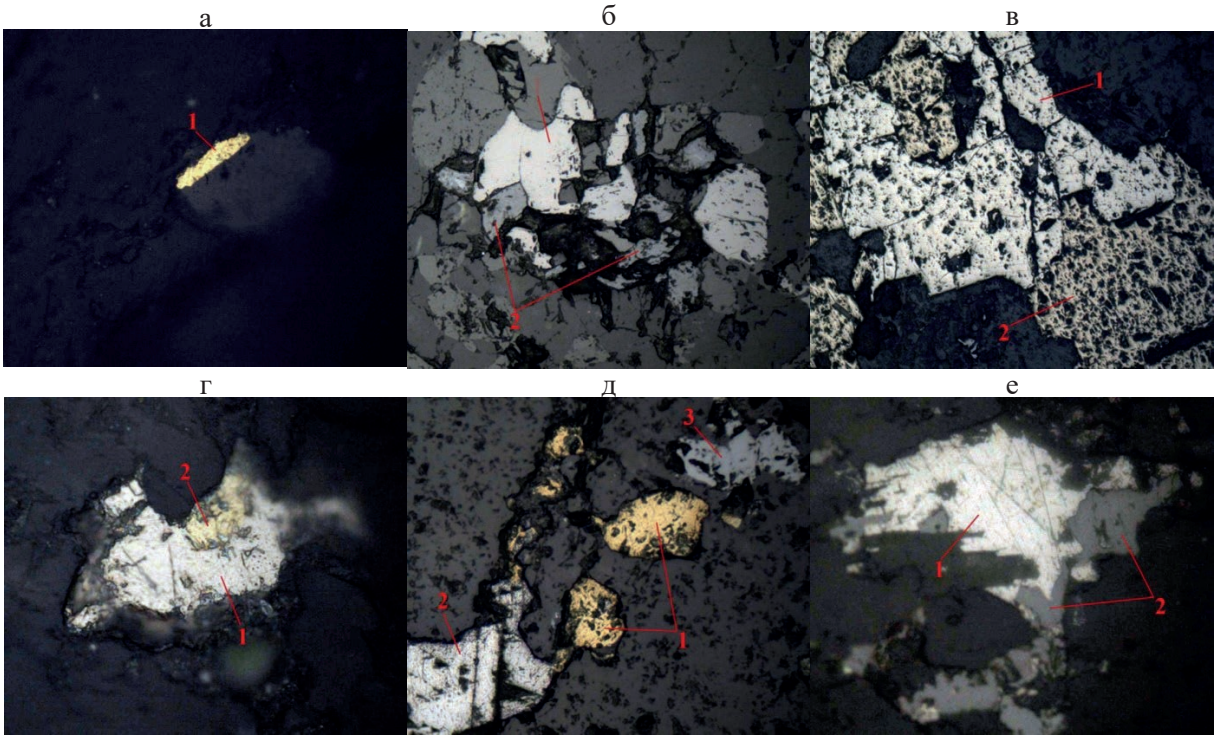


Рис. 4. Рудные минералы:
а – удлиненное зерно самородного золота (ув. ×1000); б – магнетит в сростке с гидроксидами железа (1 – магнетит, 2 – гидроксиды железа; ув. ×200); в – сросток пирита с арсенопиритом (1 – арсенопирит, 2 – пирит; ув. ×100); г – сросток пирротина с халькопиритом (1 – пирротин, 2 – халькопирит; ув. ×1000); д – сросток халькопирита с галенитом (1 – халькопирит, 2 – галенит, 3 – ильменит; ув. ×200); е – сросток галенита со сфалеритом (1 – галенит, 2 – сфалерит, ув. ×400)

Основные парагенетические минеральные ассоциации единого гидротермально-метасоматического этапа минералообразования: ранняя окисная (магнетит-гематитовая) (см. рис. 4, б), ранне-сульфидная (пирит-арсенопиритовая с золотом, халькопирит-пирротиновая) (см. рис. 4, в, г), полиметаллическая (сфалерит-халькопирит-галенитовая) (см. рис. 4, д, е). Среди них пирит-арсенопиритовая с золотом является продуктивной минеральной ассоциацией для золотого оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ризаев М. М., Ташпулатов Ш. Т., Мусаев А. М., Джуманиязов Д. И. Фенитизация и связанное с ней оруденение в Кошрабадском интрузиве (Западный Узбекистан) // Горный вестник Узбекистана. – 2022. – Т. 88, № 1. – С. 28–35.
2. Далимов Т. Н., Шаякубов Т. Ш., Троицкий В. И. и др. Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан. – Ташкент : Университет, 1998. – С. 253–256.

Аухатов Я. Г. (yan-89178823520@yandex.ru)
Институт проблем экологии и недропользования АН Республики Татарстан, г. Казань

ЗОЛОТО В ОТЛОЖЕНИЯХ ДОМАНИКОВОГО ТИПА (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Отложения доманикового типа входят в группу черносланцевых формаций, перспективных на поиски золоторудных месторождений. Мобилизующим фактором для тонкорассеянного золота в отложениях доманикового типа могут служить надвиговые зоны.

Ключевые слова: отложения доманикового типа, черносланцевые отложения, надвиги, золото.

Черносланцевые отложения, перспективные на выявление месторождений золота, вмещают крупные месторождения золота, такие как Сухой Лог, Майское, Олимпиадинское, Кумтор, Наталка, Мурунтау и др. Несмотря на большое количество публикаций о золотоносности черносланцевых отложений, некоторые вопросы, важные для понимания природы золотого оруденения в отложениях доманикового типа (доманики, доманикиты, доманикоиды), остаются недостаточно изученными, другие требуют уточнения. Черносланцевые отложения – термин свободного пользования, включающий в себя осадочные и осадочно-метаморфические породы, обогащенные органическим веществом (ОВ). Такой подход не дает возможности провести сравнительный анализ геодинамических и палеогеографических условий формирования вмещающих золоторудные месторождения отложений, в различной степени обогащенных органическим веществом.

В зависимости от геодинамических и палеогеографических условий, автор выделяет углеродисто-кремнистые, горючесланцевые, кульмовые и доманиковые отложения. Возникновение углеродисто-кремнистой формации сопряжено с некоторым запозданием осадконакопления по отношению циклов и фаз спилит-кератофирового (эвгеосинклинали), доманиковой – андезитового (островные дуги), кульма-липаритового (вулканогенные пояса) вулканизма, что определяет их минерагеническую специализацию [3, 4]. Минерагеническая специализация зависит, во-первых, от парагенезиса пород, слагающих отложения, во-вторых – от поступления химических элементов в бассейн седиментации в результате подземного и подводного разрушения магматических и осадочных пород, а также растворов гидротермальной эксгаляции, дифференциация которых происходит под влиянием их сродства с серой (Mo, V, Pb, Zn, Cu и др.) или с кислородом (P, Mn и др.) [3].

В опубликованных работах по золотоносности черносланцевых отложений мало внимания уделяется проявлениям золота в отложениях типа доманика, что связано с отсутствием в них известных месторождений, хотя перспективы их открытия уже намечены [9]. Отложения типа доманика контролируются областями опускания некомпенсированного типа [3].

Бугурусланская область опускания некомпенсированного типа (ООНТ) охватывает территорию Самарской и Оренбургской областей, в её строении участвуют отложения: молассовые, доманикоидные, рифогенные, сульфатно-карбонатные. Сероцветная моласса позднепермского возраста, развитая на восточной шельфовой зоне, представлена тонкообломочным терригенным материалом и маломощными прослоями известняков. Мощность отложений до 100 м. Отложения типа доманика в объеме калиновской свиты нижнеказанского подъяруса среднего отдела пермской системы представлены маломощной (4–10 м) пачкой темно-серых и черных тонкослоистых глин, мергелей с ОВ. К северу, на территории Татарстана, известны отложения доманикового типа мощностью 2–4 м, обогащенные ОВ и интенсивно пиритизированные. Согласно концепции Я. Э. Юдовича [10], морскую сероцветную толщу, обогащенную ОВ (1–5 %), можно рассматривать в генетической связи с континентальными угленосными отложениями как следствие одного события – гумидизации климата. С толщей лингуловых глин связано формирование «мансфельдского» (пластового) типа медного оруденения. Содержание золота в отложениях доманикового типа достигает от 0,0002 до 0,052 г/т [10]. Золото находится в ультратонкой рассеянной форме, образуя повышенные концентрации в пиритах и растительном детрите. Осаждение золота происходило в условиях сероводородного заражения из-за обилия ОВ

и небольшого количества битума (0,01–0,49 %). Битуминозное вещество представлено миграционным шунгитом из нижележащих нефтеносных горизонтов [8]. Появлению шунгита способствовали надвиговые движения по этим отложениям, о которых свидетельствуют современные срезания обсадных колонн скважин на уровне развития лингуловых глин [2]. Во время надвиговых движений создаются высокие термобарические условия, способствующие продуцированию углеводородов (УВ) из керогена ОВ и перемобилизации рассеянного золота и выделению самородного золота. Нахождение золота в отложениях доманикового типа отразилось в присутствии золота и в составе добываемой нефти [5].

По результатам исследований Р. Н. Валеева, М. А. Камалетдинова, Т. Т. Казанцевой, Ю. В. Казанцева, И. Х. Кавеева, В. П. Степанова стало известно, что большое количество разломов имеют надвиговое происхождение. В результате горизонтальных движений плотных песчаных пластов в период формирования структур в аргиллитах происходит тектоническое скучивание и трещинообразование, впоследствии они могут являться резервуарами для УВ или путями их миграции. «Аномальные разрезы» тиманского горизонта франского яруса верхнего девона (Волго-Уральская область) и баженовской свиты верхней юры (Западная Сибирь) формировались в результате надвиговых движений [2] и сопровождались увеличением общей толщины относительно нормальных разрезов. Наличие золота в доманикоидных отложениях баженовской свиты Западной Сибири описано новосибирскими литологами [6], согласно которым среднее содержание золота в образцах свиты в глинисто-карбонатных породах составляет 0,035–0,04 г/т, в аргиллитах – 0,016–0,022 г/т. Повышенное содержание золота в глинисто-кремнистых породах относительно аргиллитов отвечает повышенному содержанию в них органического углерода, пирита наряду с более высокими показателями восстановительного характера среды формирования отложений и более медленным темпом седиментации.

Для Среднеобской группы месторождений автором установлено, что глубины срезания и смятия обсадных колонн при эксплуатационном бурении приурочены к отложениям, формировавшимся в условиях некомпенсированного осадконакопления (люлинворская свита, кузнецовская свита и баженовская свита) [1, 2]. В зоне развития «аномальных разрезов» баженовской свиты Нонг-Еганского нефтяного месторождения в породах георгиевской свиты в интервале 2940,0–2943,9 м было обнаружено золото высокой пробы (от 99,36 до 99,7%) [9].

Фактором концентрации золота в черных сланцах, по данным различных авторов [10], могут выступать катагенез и метаморфизм, эндогенная деятельность разного рода и метасоматоз. Т. Т. Казанцева считает, что «основным энергетическим источником формирования залежей руд явилось напряжение тангенциального сжатия» [7, стр. 131]. Дополнительно мобилизации золота в надвиговых зонах могло способствовать и присутствие ртути [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аухатов Я. Г. Влияние надвиговых движений на размещение ореолов ртутной минерализации (Западная Сибирь, юго-восток Восточно-Европейской платформы) // Материалы 51 Тектонического совещания. – М. : ГЕОС, 2020. – С. 35–38.
2. Аухатов Я. Г. Надвиговые движения и нефтеносность доманиковых отложений // Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы 51 Тектонического совещания. – М. : ГЕОС, 2020. – С. 41–44.
3. Аухатов Я. Г. Особенности накопления органического вещества в условиях некомпенсированного прогибания и полезные ископаемые. / В кн.: Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 7, кн. 2. – М. : Наука, 1981. – С. 16–20.
4. Аухатов Я. Г. Формации некомпенсированных областей опускания и связанные с ними полезные ископаемые / Тез. докладов научной сессии ИГ БНЦ УрО АН СССР к 100-летию со дня рождения Г. Н. Фредерикса. – Уфа, 1989. – С. 53.
5. Гольдберг И. С. Нафтаметаллогенические провинции мира и генезис рудных концентраций в тяжелых нефтях и битумах // Геология нефти и газа. – 1990. – № 3. – С. 2–6.
6. Замирайлова А. Г., Занин Ю. Н., Эдер В. Г. Золото и платина в породах черносланцевой баженовской свиты Западно-Сибирского морского бассейна // Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах: Материалы Всероссийской научной кон-

ференции с международным участием, посвящ. 120-летию со дня рожд. Феликса Николаевича Шахова. – Новосибирск, 2014. – С. 257–263.
7. Казанцева Т. Т. Аллохтонные структуры и формирование земной коры Урала. – М. : Наука, 1987. – 158 с.
8. Колокольцев В. Г., Ларичев А. И., Мордвинцев М. В. Золото-полиметаллическая минерализация в позднеюрских отложениях Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона: Материалы Всероссийского совещания. – Сыктывкар : Геопринт, 2006. – С. 182–183.
9. Чайкин В. Г., Месхи А. М., Глебышев С. Г., Закирова Ф. М. Рудогенерирующие системы платформенного чехла Татарстана // Георесурсы. – 2001. – № 2 (6). – С. 41–46.
10. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимия черных сланцев. – Л. : Наука, 1988. – 272 с.

Афанасьев В. П. (avp-diamond@mail.ru)
ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

«ЭФФЕКТ БРАЗИЛЬСКОГО ОРЕХА»: ПРИЛОЖЕНИЕ К ПОИСКАМ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ В УСЛОВИЯХ ПЕСЧАНЫХ ПУСТЫНЬ

Экспериментально показана возможность подъема индикаторных минералов кимберлитов сквозь подвижную толщу песка как в пустынях Калахари, Сахара. Механизм подъема соответствует «эффекту бразильского ореха», демонстрирующего возможность гранулометрической дифференциации частиц в подвижной среде. Предлагается объяснение этого механизма и использование его для поиска кимберлитовых тел под толщей песка аналогично трубке Орапа в пустыне Калахари.

Ключевые слова: «эффект бразильского ореха», динамичная песчаная среда, поиск кимберлитов, закон Архимеда.

На территории Африки огромные площади заняты песчаными пустынями Калахари и Сахара. Их пески перекрывают кимберлитовые тела, что видно по находкам индикаторных минералов и алмазов на их территориях. Под песками Калахари найдено промышленное кимберлитовое тело – трубка Орапа. Между тем методика поисков в условиях песчаных пустынь не разработана. Традиционно предполагается роль ветра в перемещении индикаторных минералов, т. е. латеральное перемещение минералов. Однако имеется прецедент – индикаторные минералы трубки Орапа распределены над ней в 50-метровой толще захороняющих осадков, о чем указано в материалах Кейптаунской кимберлитовой конференции в 2008 г. [2]. Авторы предлагают, но без детального обоснования, два механизма перемещения: 1 – биотурбации (деятельность термитов?); 2 – ландшафтный фактор. Ни то, ни другое объяснение нас не устроило, т. к. из них трудно было представить распределение индикаторных минералов в толще песка. Возникло другое предположение – давно известный «эффект бразильского ореха». Суть его в том, что в коробке, наполненной орехами разного размера, при встряхивании коробки наиболее крупные бразильские орехи оказываются наверху, тогда как арахис, фундук и другие мелкие располагаются ниже. Простейшее объяснение – мелкие орехи попадают в промежутки между крупными и постепенно уходят вниз, в результате чего осуществляется гранулометрическая дифференциация. Но орехи имеют близкую плотность, а как будут вести себя крупные и тяжелые частицы, как индикаторные минералы кимберлитов? Для выяснения этого вопроса и в целом для интерпретации указанной ситуации с кимберлитовой трубкой нами проведен эксперимент, описанный ниже.

Для эксперимента были подготовлены крупные частицы разного размера и разной плотности: зерна пикроильменита, граната, вольфрамита, пластинка меди, сантиметровая кварцевая галька и стальной сантиметровый шарик. Частицы были уложены на дно стеклянного контейнера и засыпаны кварцевым песком с размером частиц 200 мкм. Контейнер установлен на ви-

бростенде, с помощью которого обеспечивалась подвижность песчаной среды. Ход эксперимента зафиксирован на видео, сформирован фильм, который может быть предоставлен желающим.

Включение вибростенда с частотой вертикальных колебаний 50 Гц привело песок в конвективное движение: песок поднимался вдоль одной стенки и опускался вдоль противоположной, т. е. осуществлялось круговое движение. Вначале было видно только движение песка. Но вот из восходящей струи на поверхность вынеслась одна частица испытуемого материала, вторая, они скатились вниз и ушли на дно в нисходящей струе. Затем частицы стали появляться на поверхности систематически, скатывались вниз по склону и задерживались у стенки контейнера, тогда как струи песка уходили под ними вниз. Увеличение частоты колебаний до 100 Гц ускорило движение песка и вместе с ним движение испытуемых частиц. Так же как в первом случае, они поднимались на поверхность, скатывались по склону и крутились у стенки, не погружаясь вслед за песком, лишь при столкновениях частиц они уносились вниз, чтобы через несколько секунд снова появиться на поверхности. Равновеликие и самые крупные стальной шарик и кварцевая галька оказались наиболее устойчивыми на поверхности, причем более устойчив на динамичной поверхности песка стальной шарик; кварцевая галька ударялась об него и уходила вниз, тогда как шарик оставался на поверхности песка.

Эксперимент показал, что в динамичной песчаной среде крупные тяжелые частицы могут выноситься на поверхность и оставаться на ней. Причем более крупные и тяжелые частицы более устойчивы на поверхности, чем мелкие. Тем самым показана возможность выноса индикаторных минералов кимберлитов на поверхность динамичной песчаной среды. Но эксперимент имеет и более широкое значение – в целом поведение различных крупных частиц в динамичной сыпучей среде. Пески пустынь, будучи сыпучей средой, подвижны. Пески Калахари и Сахары образовались за счет переотложения морских песчаников раннемелового возраста, и при переотложении происходило движение песка. Движение Луны вызывает приливы и отливы не только в океане, но и в сыпучем песке в незаметных для глаза масштабах. Поэтому песок в пустынях подвижен, а малая амплитуда, вектор и частота движений компенсируются фактором времени.

Естественно возникает вопрос о физической картине и математической модели данного явления. Погружение в эту проблему показало, что на тему «эффекта бразильского ореха» существует огромное число исследований, как экспериментальных, аналогичных нашему, и иных, так и попыток разработки теории этого явления. Но ни теории этого явления, ни его физической картины до сих пор нет. В работе [1] констатируется: «…в настоящее время общая теория сепарации отсутствует и, более того, не прекращаются дискуссии в отношении физической сущности отдельных эффектов разделения частиц».

Мы также попытались найти физическую картину «эффекта бразильского ореха» в приложении к поискам кимберлитов под толщей песков. На наш взгляд, подвижный песок можно сопоставить с жидкостью, вязкость которой определяется частотой и амплитудой колебаний. Картина конвекции песка, наблюдаемая в эксперименте, подтверждает возможность такой аналогии. В таком случае к интерпретации поведения крупных тяжелых частиц можно попытаться приложить закон Архимеда: если крупная тяжелая частица устойчива на поверхности подвижного песка, то на нее действует выталкивающая сила. Но тогда необходимо ввести понятие «динамическая плотность» подвижного песка, которая выше, чем у покоящегося песка и соответствует кинетической энергии такого песка. Если добавить к «динамической плотности» «динамическую вязкость», связанную с частотой колебаний, то их сочетание может обеспечить выталкивающую силу, способную вынести на поверхность крупные тяжелые частицы. Тяжелая крупная частица, положенная на такой материал, создает под собой подиум из уплотненного сыпучего материала с повышенной плотностью за счет сближения частиц и силы трения между частицами среды. Подиум обеспечивает выталкивающую силу, не позволяющую утонуть частице в песке, что мы и наблюдаем в реальности. Под равновеликими, но с разной плотностью частицами больший подиум будет под тяжелой частицей, соответственно будет различаться и выталкивающая сила. Сила тяжести частицы будет компенсироваться выталкивающей силой подиума. То же и при повышении динамики среды.

Таким образом, натурные наблюдения и результаты эксперимента показывают, что индикаторные минералы кимберлитов могут выноситься на поверхность песка пустынь и находиться вблизи погребенных кимберлитовых тел, т. е. нет необходимости рассматривать их прогноз с позиции дальности и направления эоловой транспортировки индикаторных минералов.

Результаты эксперимента показали соответствие поведения индикаторных минералов кимберлитов в условиях песчаных пустынь «эффекту бразильского ореха» и дали основание для предположения о возможности его интерпретации с точки зрения дуализма «сыпучая среда – жидкая среда» и рассмотрения гранулярной дифференциации через закон Архимеда.

Исследования выполнены по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400157-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгунин В. Н., Куди А. Н., Туев М. А. Механизмы и кинетика гравитационной сепарации гранулированных материалов // Успехи физических наук. – 2020. – Т. 190, № 6. – С. 585–604. DOI: https://doi.org/10.3367/UFNr.2020.01.038729.
2. Bumhartner M.C., Neuhoff L. The vertical distribution of indicator minerals within Kalahari cover overlying a kimberlite pipe / Short Abstr. of VII Intern. Kimberlite Conf., University of Cape Town, South Africa. – 1998. – P. 55–57. DOI: 10.29173/ikc2630.

Ащепков И. В. [1], Зинченко В. Н. [2], Иванов А. С. [3], Мануэль Б. П. [2], Феликс Ж. Т. [4], Мануэль Т. В. [4]

[1] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; [2] Горнодобывающее общество Катока, Ангола; [3] Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург; [4] Горнодобывающее общество Луэле, Ангола

МАНТИЙНЫЙ РАЗРЕЗ В 3000 КМ ЧЕРЕЗ КОНГО КРАТОН, ОСНОВАННЫЙ НА ТЕРМОБАРОМЕТРИИ МИНЕРАЛОВ СПУТНИКОВ АЛМАЗОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ

Получены глобальные трансекты верхней мантии через Конго кратон с использованием термобарометрии минералов спутников алмаза, которые обнаруживают контрастную слоистость. Профиль SW-NE от поля Кунене до Баналья состоит из шести частей в Анголе и еще трех в Демократической Республике Конго. Вблизи тр. Катока от тр. Луэле до тр. Камачия обнаружен наиболее разогретый и обогащенный эклогит – пироксенитовым материалом слабо окисленный участок мантии. Северная часть кратона обогащена эклогитами и имеет более простое строение судя по профилю NWW-SEE Бас-Конго – Кунделунгу

Ключевые слова: Конго кратон, мантийная литосфера, разрез, трансект, пиропы, пироксены, термобарометрия, температура, давление.

Мантийный разрез протяженностью 3000 км к юго-западу и северо-востоку через весь кратон Конго (рис. 1), включая Анголу [1, 8] и Демократическую Республику Конго (ДРК), был построен на основе анализов минералов спутников алмаза (МСА) из кимберлитов (и россыпей) с использованием мономинеральной термобарометрии [3] и программного обеспечения Surpher 8. Использованы данные Горнодобывающего общества Катока, Санкт-Петербургского горного университета, Горнодобывающего общества Луэле и опубликованные данные [2, 4–7].

Разрез пересекает коридор Лукапа от поля Кунене до Лушинга в Анголе и идет из Мбужи-Май и к полю Баналия в ДРК (рис. 1). Также был построен разрез Северо-Запад–ЮВЕ от Бас Конго до Кунделунгу (рис. 2). Весь профиль SW-NE состоит как минимум из шести частей в Анголе и еще трех в ДРК соответственно группировке кимберлитовых полей. Существуют районы с более высокими концентрациями трубок, соответствующими границам литосферных террейнов, где мантийные колонны более гомогенизированы. Разрезы мантии демонстрируют довольно контрастную слоистость. Более резкие и тонкие слои выражены на диаграммах P-FO_2 и Fe# и менее выражены на P-T°C и P-CaO, Fe# для гранатов.

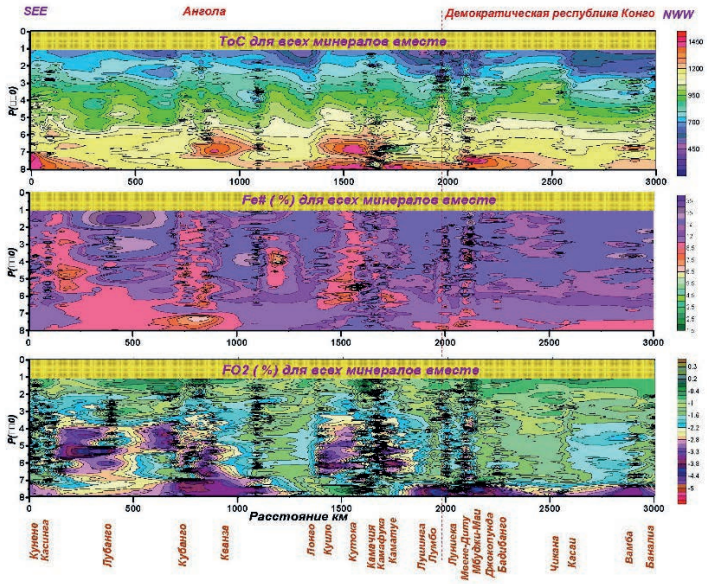


Рис. 1. Мантийный разрез через кратон Конго-Касаи кратон SSW NNE (Кунене–Баналиа). Изолинии: А – Температура; Б – Fe# минералы вместе; В – Δlog(QMF)

Разрез в Анголе включает в себя несколько регионов с более плотной популяцией кимберлитов, включая Кунене, Кубанго, Лубанго и длинный отрезок от Лонго до Каматуэ, включая наиболее алмазоносный кластер Катока. Последняя высокоалмазоносная часть разреза отличается от других частей существенным нагревом нижней части мантии с относительно высоким количеством пироксенитового и эклогитового материала, что, вероятно, и определяет высокое содержание алмаза. В нескольких мантийных кластерах наблюдается нагрев и увеличение Fe#, сопровождающееся низкой летучестью кислорода, что соответствует высокому содержанию алмазов. В Анголе это месторождения Луэле, Катока, Камафука, Камачия и в Конго ДР – месторождения Мбужи-Май и Кунделунгу. Относительная гомогенизация мантии под тр. Катока и близких областях означает более высокую проницаемость мантию с концентрацией про-

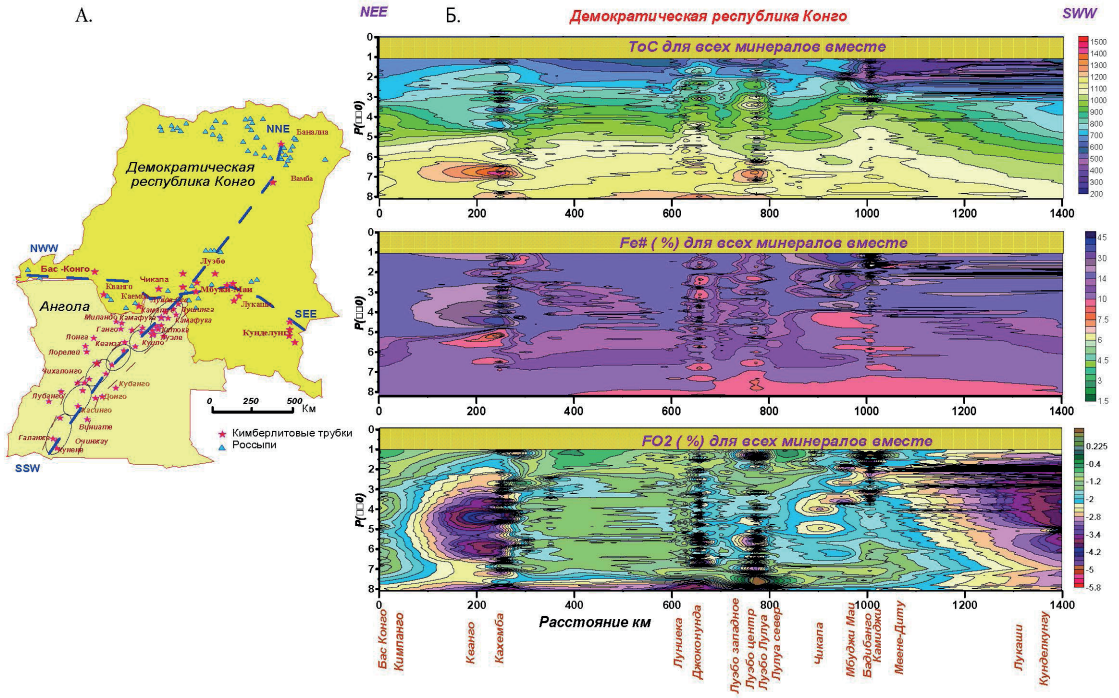


Рис. 2. А. Конго кратон. Расположение кимберлитовых трубок и россыпей и положение мантийных разрезов; Б. Мантийный разрез через кратон Конго-Касаи NEE-SWW (Нижнее Конго-Кунделунгу). Изолинии: А – Температура; Б – Fe# минералы вместе; В – Δlog(QMF)

токимберлитовых магматических камер не только у основания литосферной мантии, но и в промежуточных и средних пироксенитовых уровнях. Минералогия предполагает наличие там и слабоокисленных эклогитов, дунитов и богатых Mg-ильменит и хромит-флогопит-содержащих метасоматитов. Вероятно, в таких условиях многие алмазы росли в протокимберлитовом процессе в больших магматических камерах у основания литосферы, где могли образоваться крупные зерна типа CLIPPIR в виде мегакристаллов. Самые верхние относительно тонкие слои верхних горизонтов мантии, образованных в раннем архее, наклонены к участку Катока-Камачия [2] в северо-восточной части Конго, где концентрация эклогитов выше, вероятно, из-за аккреции при субдукции.

Грант РНФ 24-27-00411.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ashchepkov I. V., Zinchenko V. N., Ivanov A. S. Mantle Transects in Africa According to Data of Mantle Xenocrysts and Diamond Inclusions // Acta Geologica Sinica-English Edition. – 2021. – V. 95(S1). – P. 15–17
2. Ashchepkov I. V., Rotman A. Y., Somov S. V. Afanasiev V., Downes H., Logvinova A., Nossyko S., Shimupi J., Palessky S., Khmelnikova O. S., Vladykinet N. Composition and thermal structure of the lithospheric mantle beneath kimberlite pipes from the Catoca cluster, Angola // Tectonophysics. – 2012. – V. 530. – P. 128–151
3. Ashchepkov I.V., Ntaflos T., Logvinova A. M., Spetsius Z. V., Downes H., Vladykin N. V. Monomineral universal clinopyroxene and garnet barometers for peridotitic, eclogitic and basaltic systems // Geoscience Frontiers. – 2017. – V. 8. – P. 775–795.
4. Batumike J. M., Griffin W. L., O'Reilly S. Y. Lithospheric mantle structure and the diamond potential of kimberlites in southern D.R. Congo // Lithos. – 2009. – V. 112 (S1). – P. 166–176.
5. Nikitina L., Korolev N., Zinchenko V. [et al.] Eclogites from the upper mantel beneath the Kasai Craton(Western Africa): Petrography, whole-rock geochemistry and U-Pb zircon age // Precambrian Research. – 2014. – V. 249. – P. 13–22.
6. Pivin M., Féménias O., Demaiffe D. Metasomatic mantle origin for Mbuji-Mayi and Kundelungu garnet and clinopyroxene megacrysts (Democratic Republic of Congo) // Lithos. – 2009. – V. 112 (S2). – P. 951–960.
7. Ustinov V. N., Feijo Bartolomeu A. M., Zagainy A. K. [et al.] Kimberlites distribution in Angola and prospective areas for new discoveries // Mineralogy and Petrology. – 2018. – V. 112 (S2). – P. 383–396.
8. Zinchenko V., Ashchepkov I., Ivanov A. Modelling of the mantle structure beneath the NE part of the Lucapa kimberlite corridor. Angola // Journal of science. Lyon. – 2021. – V. 19. – P. 7–14.

Ащепков И. В. [1], Смелов А. П. [2], Граханов С. А. [3, 4], Иванов А. С. [5], Олейников О. Б. [2], Биллер А. Я. [2], Медведев Н. С. [6], Логвинова А. М. [1]

[1] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, [2] ИГАБМ СО РАН, г. Якутск;
[3] Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург;
[4] ПАО «АЛМАР-Арктические алмазы», Оленек;
[5] Санкт-Петербургский Горный Университет, г. Санкт-Петербург;
[6] ИНХ СО РАН, г. Новосибирск

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОХИМИИ И ТЕРМОБАРОМЕТРИИ МАНТИЙНОГО ИСТОЧНИКА ФРЕАТОМАГМАТИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ БУЛКУР

Изучены состав, термобарометрия мантийных минералов фреатомагматического верхнетриасового туфового месторождения алмазов Булкурской антиклинали. По сравнению с изученными ранее мантийными разрезами данного района новый отличается повышенным содержанием мегакристов пиропов и флогопитов. Пиропы обнаруживают более значительное

обогащение высокозарядными элементами и особенно Zr-Hf. Все изученные карбонаты магматические и содержат весовые концентрации РЗЭ и высокозарядных элементов, особенно Nb. Мантия на более поздней фазе извержения промыта оранжеит-карбонатит-айлликитовыми расплавами.

Ключевые слова: фреатомагматическое извержение, Булкур, туфы, термобарометрия, разрез мантии, геохимия РЗЭ минералов, пиропы, флогопиты, термобарометрия месторождение алмазов.

Фреатомагматическое карнийское (верхнетриасовое) кимберлитовое туфовое месторождение алмазов Булкурской антиклинали в правобережье устья р. Лены имеет высокое содержание алмазов в России (до 13 карат/т), сопоставимое с уникальными коренными месторождениями Якутии, трубками Нюрбинская, Ботуобинская, Интернациональная.

Изучена новая проба туфов из Оленекской протоки в устье р. Лена: > 1500 пиропов, > 80 хромитов, > 70 флогопитов, 11 Cr-диопсидов и многочисленных карбонатов

Набор включает анализы – микрозондовые (560), электронного микроскопа (980) и ИСМС (LA ICP) (140). Вариации пиропов 0 < Cr_2O_3 < 13 % аналогичны [5], но TiO_2 выше, до 2 %. Хромиты существенно обогащены Cr-Al – разновидностями по сравнению с выборкой [1, 4], где Ti-Fe разновидности преобладают. Слюды из туфов Булкура (3,5–5 % FeO и Cr_2O_3 до 3 %) образуют реакционный тренд (перидотит – K-расплав), аналогичный опубликованному для оранжеитов кратона Кимберли [2]. Все ильмениты (MgO < 4 %) малоглубинные, Cr-диопсиды делятся на богатые Cr-Al и Fe-обогащенные типы.

Сравнение термобарометрических реконструкций [1, 5] обнаруживают существенные различия при общем сходстве мантийных разрезов. Диаграмма *P-T* обнаруживает разбиение на 8 слоев по пиропам с делением на верхний и нижний этажи существенно эклогит-пироксенитовым горизонтом. По сравнению с опубликованными *PTX* диаграммами (Ashchepkov et al., 2017)

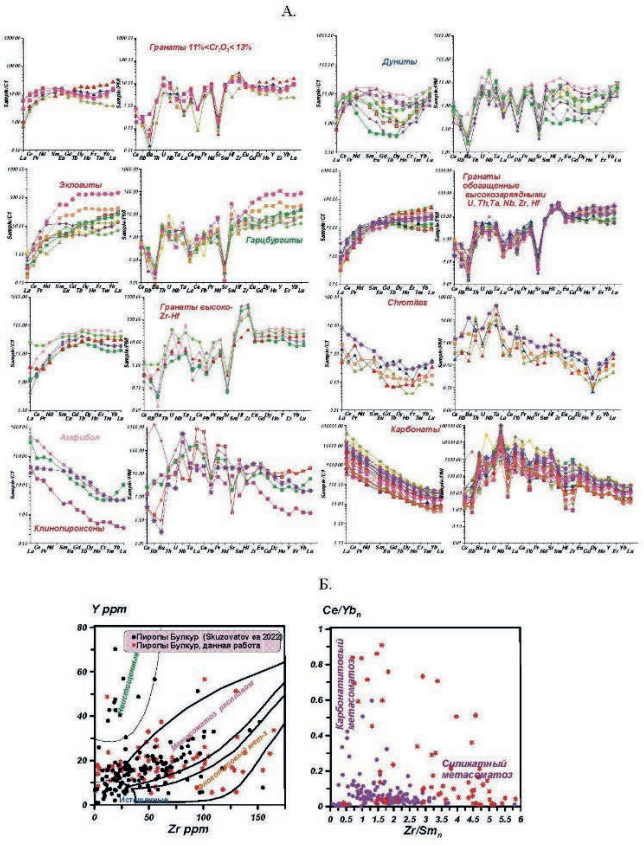


Рис. 2. А – REE, нормировано по (Evensen et al., 1979), TRE спайдердиаграммы, нормировано по (McDonogh, Sun, 1995) для ксенокристов из Булкурских туфов; Б – Zr-Y and Zr/Smn Ce/Ybn – диаграмма для пиропов из Булкурских туфов.

[1, 5] хорошо выражен тренд мегакристаллических пиропов, который образует прямую линию *P* (6,5–2GPa)-Fe# (0,11–0,15) (рис. 1). Эклогитовый (частично реакционный с Cr-перидотитами) тренд P-Fe# менее выражен, чем в предыдущих работах. А в среднем слое (4–5 ГПа) обнаруживается обогащение хромитов TiO_2 в интервале от 6,5–3 ГПа.

Геохимия почти всех пиропов, несмотря на различия в РЗЭ от U- до S-образных (дунитовых) и гарцбургитовых (вогнутый спектр HMREE) и округлых лерцолитовых разновидностей обнаруживают высокие уровни U-Th-Nb-Ta-Zr-Hf. Существуют экстремальные типы Zr-HF гранатов и те, у которых повышен Zr-Hf. Даже высоко-Cr (12 %) пиропы обнаруживают высокие HFSE (рис. 2.). А также Cpx и Amph с пиками Nb и Chr с пиками – Ta. Все изученные карбонаты в туфах являются магматическими, демонстрируя высокие уровни РЗЭ, которые плавно увеличиваются от Yb_n до La_n ~ 5000*C1 (хондрит). По сравнению с ранее опубликованными геохимическими анализами пиропов [Skuzovatov et al., 2022] новая выборка существенно обогащена Zr, Hf, Nb, Ta и REE. Мантийная колонна под Булкуром вступила в реакцию с богатым HFSE расплавом K-типа оранжеитов (айлликитов). Новая фаза является более поздней по сравнению с изученной ранее [Граханов и др., 2024; Skuzovatov et al., 2022].

Грант РНФ 24-27-00411.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ashchepkov I. V., Vladykin N. V., Ivanov A., Babushkina S., Vavilov M., Medvedev N. Problems of mantle structure and compositions of various terranes of Siberian Craton // Alkaline Rocks, Kimberlites and Carbonatites: Geochemistry and Genesis. – 2021. – P. 15–48.
2. Downes P. J., Wartho J., Griffin B. Magmatic evolution and ascent history of the Aries micaceous kimberlite, Central Kimberley Basin, Western Australia: Evidence from zoned phlogopite phenocrysts, and UV laser $^{40}Ar/^{39}Ar$ analysis of phlogopite-biotite // Journal of Petrology. – 2006. – 47(9). – P. 1751–1783.
3. Skuzovatov S., Shatsky V. S., Ragozin A. L., Smelov A. P.. The evolution of refertilized lithospheric mantle beneath the northeastern Siberian craton: Links between mantle metasomatism, thermal state and diamond potential // Geoscience Frontiers. – 2022. – 13(6). – P. 101455.
4. Биллер А. Я., Угапьева С. С., Олейников О. Б. Хромшпинелиды алмазоносных туффитов Булкурской антиклинали (северо-восток Сибирской платформы) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2017. – 4 (88). – С. 44–49.
5. Граханов С. А., Голобурдина М. Н., Иванов А. С., Ащепков И. В. Минералого-петрографическая характеристика алмазоносных образований Булкурской антиклинали, Республика Саха (Якутия). Региональная геология и металлогения. – 2024. – 98. – С. 41–63.

Бабенышев В. М. (BabenishevVM@nacrn.hmao.ru),
Маринская Н. В. (MarinskayaNV@nacrn.hmao.ru)
АУ ХМАО – Югры «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпильмана», г. Ханты-Мансийск

ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ТЫКОТЛОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ЛЕМВИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Определено положение Тыкотловского золото-полиметаллического рудопроявления в региональных структурах Приполярного Урала. Приведены данные о геологическом строении рудного объекта, морфологии рудных зон, содержании основных и попутных компонентов в зонах оруденения и рудных телах. Приведены прогнозные ресурсы свинцово-цинковых и золоторудных тел. Предложено проводить последующее изучение объекта с учетом склонения рудных тел исходя из куполовидного строения палеовулкана.

Ключевые слова: приполярный Урал, Лемвинский автохтон, сланцы ордовика, палеовулкан риолитов, Тыкотловское золото-полиметаллическое рудопроявление, цинк, свинец, медь, золото, серебро, кадмий, сурьма, галлий, селен.

Лемвинский синклинорий, сложенный палеозойскими глубоководными сланцевыми образованиями, изоклинально-чешуйчатого строения представляет собой покров (аллохтон), надвинутый к западу на менее деформированные шельфовые отложения ордовика–карбона Елецкой структурно-фациальной зоны [4]. Лемвинские образования представлены глубоководной известняково-кремнисто-глинистой (сланцевой) формацией (мощностью до 1500 м), образовавшейся на краю континентального блока, смежного к востоку с областью развития коры океанического типа – Тагильской зоной.

Изучение Тыкотловского рудного поля проводилось на Тыкотловской площади, расположенной в пределах Восточно-Лемвинского пакета пластин Лемвинского аллохтона [1]. Закартированы фронтальные линии трех надвигов, ограничивающих с запада тектонические пластины. Сместители надвигов имеют извилистые в плане границы северо-восточного простирания. Выделяются четыре пластины: крайняя западная, западная, центральная и восточная (Рис. 1). Все они сложены образованиями ордовика (от нижнего отдела – восточной пластины, до верхнего отдела – крайней западной). Тыкотловское золото-полиметаллическое рудопроявление

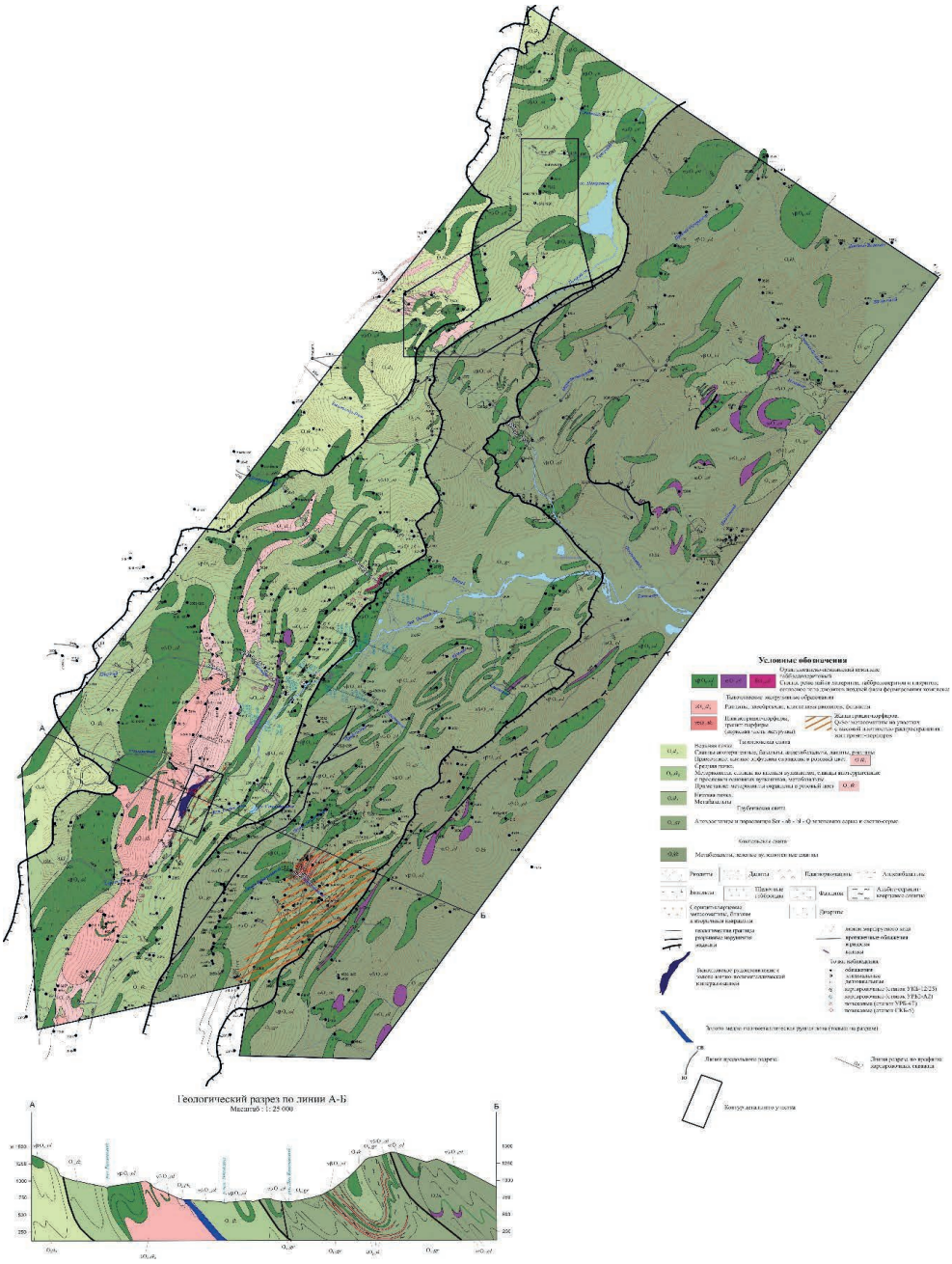


Рис. 1. Геологическая карта Тыкотловской площади

(выявлено в 1972 г.: Мезенцев, 1974 Росгеолфонд), приуроченное большей частью к покрову эффузивных метасоматически измененных риолитов палеовулкана, локализовано в западной тектонической пластине, осложненной линейными изоклинальными складками, субсогласными простиранию сместителя надвига. Метатерригенно-вулканогенная толща этой пластины выделена в тыкотловскую свиту ($O_{2-3}tk$), которая начинается с базальтов (первые метры), выше залегают риолиты палеовулкана (с биогермами кораллов *Sogdianophyllum sp.* и мшанок), перекрытые алевросланцами; верхняя пачка тыкотловской свиты (северо-западнее Тыкотловского рудопроявления) сложена внизу зелеными сланцами, выше – переслаивание базальтов, андезибазальтов, дацитов и риолитов. Кровля свиты проводится по последнему прослою кислых эффузивов.

Рудоносные образования Тыкотловского рудопроявления представлены тремя слоями (с относительно крутыми контактами в северном и южном направлениях): нижним – экструзивными риолитами, средним – эффузивными риолитами (покров), верхним – риолитами повышенного электросопротивления. Соответственно и рудные тела в этих направлениях не выклиниваются, а круто (до 70°) погружаются на глубину, что значительно расширяет перспективы золото-полиметаллического объекта (Рис. 2).

Нижний слой (тело) палеовулкана (экструзивный купол) представлен преимущественно риолитами фельзитовыми, участками брекчированными. В нижней толще выделяются две стратиформные зоны золото-полиметаллического оруденения (снизу вверх): ***нижняя цинксодержащая*** (**№ 1**) преимущественно мономинеральная, часто с серебром, иногда с кадмием, реже с висмутом. Зона состоит из нескольких субпараллельных подзон мощностью от 0,9 до 8,2 м. Содержание цинка здесь составляет от 0,05 до 0, 41 % (среднее – около 0,1 %). С глубиной эта зона становится существенно халькопирит-пиритовой (скв. 01, ниже 248,2 м); ***нижняя золотосодержащая*** зона (**№ 2**) состоит из нескольких субпараллельных подзон мощностью от 1,8 до 13,7 м. Содержание золота здесь составляет от 0,05 до 0, 59 г/т (среднее – около 0,1 г/т). В верхних пересечениях (к западу от основного рудного тела) эта зона постепенно переходит в свинцово-цинковую с золотом, серебром, реже с сурьмой, в скв. 018 выявлено рудное тело мощностью 1 м с содержанием цинка 3,15 %.

Выше (внизу эффузивного покрова): ***нижняя свинцово-цинковая золотосодержащая*** зона (**№ 3**) вскрыта скважинами 01 и 03. Истинная мощность зоны составляет 20 м, постепенно уменьшаясь (от скв. 01) вверх по разрезу. Здесь зона уменьшается и становится существенно золотосодержащей. Содержание цинка составляет от 0,05 до 1,0 % (среднее – около 0,2 %). В середине зоны выделяются два полиметаллических рудных прослоя мощностью до 1 м, с содержанием цинка и свинца в сумме до 4,0 % (скв. 01). Здесь же выше рудных тел по скв. 01 отмечается более минерализованная подзона мощностью до 6,0 м со средним содержанием цинка и свинца в сумме 1,21 % и золота 0,1 г/т. Данные рудные прослои с высокоминерализованной подзоной коррелируются с рудным телом, вскрытым в 200 м северо-восточнее (профиль II) скважиной 05 на глубине 153,5 м.

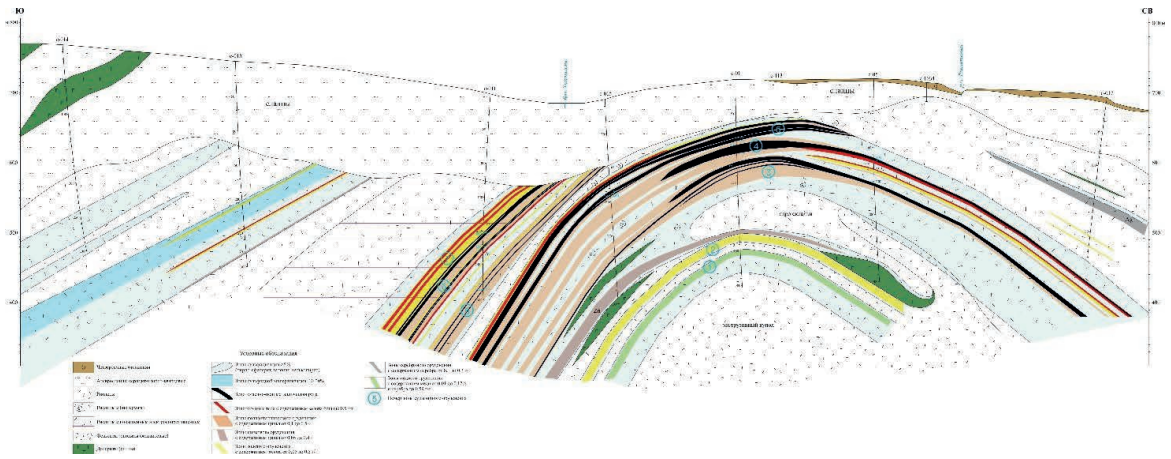


Рис. 2. Восточный продольный разрез Тыкотловского рудопроявления

Средняя свинцово-цинковая золотосодержащая зона (**№4**) состоит из нескольких субпараллельных подзон, с глубиной уменьшающихся в мощности и соединяющихся в единую зону вверх по разрезу. Истинная мощность зоны между скважинами 01 и 03 составляет 22 м. Среди рассматриваемой зоны выделяются более минерализованные подзоны мощностью до 3,8 м и с содержанием цинка и свинца в сумме до 1,3 %, меди – до 0,15 % и золота – до 0,66 г/т. Содержание цинка в целом по зоне составляет от 0,05 до 0, 82 % (среднее – около 0,2 %).

Рудное тело (***средняя золото-полиметаллическая рудная*** зона (**№5**)) вскрыта скважинами 01, 02, 019 и 117. Мощность рудного тела 5,5 м (11,6 м в замке антиклинальной складки), в скв. 01 разделяется на три ветви. Среднее содержание по телу: меди – 0,3 % (максимальное 1,19 % на 1 метр мощности зоны), цинка – 1,7 %, (максимальное 2,85 % на 1 метр мощности), свинца – 1,5 % (максимальное 4,21 % на 1 метр мощности), золота 0,7 г/т, серебра 20,0 г/т (максимальное 80,2 г/т на 1 м мощности). Руда редкометалльная (висмутсодержащая), среднее содержание висмута – 11,2 г/т, содержание кадмия – до 400 г/т, сурьмы – до 150 г/т (среднее – 25 г/т). Падение рудного тела юго-восточное, склонение восточное. Протяженность золото-полиметаллической рудной зоны по простиранию – 400 м, по падению, в сечении профиля III (центрального) – 210 м [1].

Верхняя свинцово-цинковая зона (**№6**) в риолитах имеет мощность 70 м. Вскрыта на южном погружении палеовулкана. Примерно в середине зоны выявлено золото-полиметалличесское рудное тело мощностью 1 м с содержанием цинка 1,37 %, свинца – 1,0 %, золота – 0,45 г/т.

Верхняя золото-серебряная зона (**№7**) с золоторудным телом в «высокоомных» риолитах (близких по структуре к вторичным кварцитам) выявлена также на южном погружении палеовулкана (скв. 010, 011, 012). Она представляет собой стратиформную зону золото-серебряного оруденения, вскрытой мощностью от 20 до 30 м, со средним содержанием золота – 0,1 г/т и серебра – 1,2 г/т. В верхней части этой зоны выявлено золоторудное тело мощностью 2,3 м со средним содержанием золота – 3,47 г/т, серебра – 16,7 г/т и попутных компонентов (сурьмы, селена, ртути). По электроразведке аналогичные образования выделяются также на северном погружении вулканической структуры [1].

Главными рудными минералами на Тыкотловском рудопроявлении являются пирит, сфалерит и галенит, широко распространенными – халькопирит и золото. Тыкотловское колчеданно-полиметаллическое рудопроявление близко к филизчайскому геолого-промышленному типу колчеданных месторождений, при этом рудопроявление можно отнести к базальт-риолитовой субформации алевролит-глинисто-сланцевой рудной формации. Имеются также основания, по которым этот рудный объект [2] может быть отнесен к типу бесси. Эксплуатируемыми объектами [3], аналогичными Тыкотловскому рудопроявлению, являются золото-полиметаллические месторождения Майкаинской рудоносной зоны Ерементаусского мегантиклинория Северного Казахстана. Золото-полиметаллические руды Тыкотловского рудопроявления содержат более десяти извлекаемых попутных компонентов, в том числе серебро, кадмий, сурьму, галлий, селен. Среднее содержание в полиметаллических рудных телах: цинка – 1,28 %, свинца – 0,85 %, меди – 0,11 %, золота – 0,74 г/т, серебра – 14,55 г/т, кадмия – 37,91 г/т, сурьмы – 8,2 г/т, галлия – 39,0 г/т. Среднее содержание в золоторудных телах: золота – 1,45 г/т, серебра – 7,88 г/т, сурьмы – 11,7 г/т, селена – 3,4 г/т.

Прогнозные ресурсы категории $\mathbf{P_1}$ по участку Тыкотловского рудопроявления: цинка (Zn) – 46,39 тыс. т, свинца (Pb) – 30,81 тыс. т, меди (Cu) – 3,99 тыс. т, золота (Au) – 5,45 т, серебра (Ag) – 67,77 т, сурьмы (Sb) – 22,27 т; $\mathbf{P_2}$: цинка (Zn) – 445,32 тыс. т, свинца (Pb) – 269,75 тыс. т, меди (Cu) – 41,10 тыс. т, золота (Au) – 24,25 т, серебра (Ag) – 613,37 т, кадмия (Cd) – 1395,54 т, сурьмы (Sb) – 334,79 т, галлия (Ga) – 1437,20 т [1].

Одной из главных задач по последующему изучению Тыкотловского рудопроявления является прослеживание рудного тела по его склонению как в восточном, так и в южном направлениях, а, возможно, и в северо-восточном направлении, учитывая куполовидное строение палеовулкана, а также выявление новых рудных тел на его флангах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Бабенышев В. М. Результаты прогнозно-поисковых работ на золото-полиметаллическое оруденение Тыкотловской площади в пределах Лемвинской минерагенической зоны // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том 2. – Ханты-Мансийск, 2012. – С. 247–258.
2. Барышев А. Н., Волчков А. Г. Геолого-промышленные типы месторождений цветных металлов Урала и перспективы их выявления на территории ХМАО // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том 1. – Ханты-Мансийск, 2008. – С. 363–371.
3. Геологическая карта СССР. Лист М-43-IV. Объяснительная записка / сост. Борукаев Р. А., Малышев Е. Г., Мухамеджаев С. М., Недовизин А. А. – М. : Гос. НТИ лит по геол. и охр. недр, 1962.
4. Хайн В. Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. – М. : Недра, 1977.

Бакшеев Н. А. (baksheew@mail.ru)
АО «РОСГЕОЛОГИЯ», АО «СНИИГГиМС», г. Новосибирск

ВЫДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ПО РУДНЫМ И ПЕТРОГЕННЫМ ЭЛЕМЕНТАМ В КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ ТЫРГАНСКОЙ ПЛОЩАДИ САЛАИРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

С созданием новых методик, таких как РФА, ИСП, когда анализируются рудные и петрогенные элементы при большом количестве проб, появляется возможность выявления новых признаков с целью оптимизации разрабатываемых методов поисков и повышения степени достоверности определения прогнозных ресурсов в прогнозно-металлогенических построениях.

Ключевые слова: кора выветривания, золото, рудные и петрогенные элементы, геохимические аномалии, кластеризация, признаки оруденения, коэффициенты геохимической специализации, оценка, прогнозные ресурсы.

Согласно методическим рекомендациям [7], из информации, содержащейся на геохимических картах, в прогнозно-металлогенических построениях наибольший интерес представляют комплексные положительные аномалии, характеризующиеся определенным составом химических элементов, отражающие по набору элементов накопления минералого-геохимические типы руд, а по содержанию в ореоле выделяемого потенциально рудного тела – количество не только главных элементов, перспективных для извлечения, но и элементов-спутников. Кроме того, работами предшественников установлено, что рудные объекты, нередко по соотношению содержаний элементов-индикаторов, характеризуются зональным строением аномалий (в том числе ярусным) как в ореоле рудного тела, так в пределах месторождения или рудного поля. Традиционно выделение элементов-индикаторов выполняется по результатам полуколичественного спектрального анализа, в основном по рудным элементам [2].

В настоящее время при определении содержаний как рудных, так и петрогенных элементов методами ИСП, РФА появилась возможность разработки и выделения дополнительных геохимических признаков наличия оруденения [7], характерных не только для типовых объектов, но и для крупнотоннажных минерализованных зон в коренных породах и в продуктах коры выветривания (КВ). Так, по значениям предлагаемого коэффициента геохимической специализации (Кгс) [6], а также коэффициентов интенсивности выветривания (Кив), нормированной щелочности (НКМ) и некоторых других [3, 8] можно определять не только состав рудных тел и рудовмещающих пород, но и с определенной достоверностью − стадии их формирования и тип оруденения. Результатом интерпретации геохимических данных в приведенном ниже примере, кроме текста с таблицами и рисунками, являются поисковые прогнозно-геохимические карты

Тырганской площади и участков детализации, сопровождаемые кадастром [1] прогнозных «геохимических» ресурсов категории P_2 каждой выделенной аномалии с геохимическими признаками, по которым устанавливается их вероятная перспективность.

Выделение Кгс выполнено по девяти группам, полученным в результате кластерного анализа неиерархическим способом по 23 химическим элементам 1177 проб эталонной выборки из КВ Ускандинского участка: Au, Ag Al, As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Pb, Sb, Ti, V, Zn, Zr, W. Определение золота выполнено атомно-абсорбционным способом, а остальные элементы анализировались методом ИСП-АЭС в лаборатории АО «СНИИГГиМС».

В дальнейшем по данным интерпретации для каждой из девяти групп были вычислены эталонные показатели геохимической специализации (ассоциации) как отношение суммы значений элементов накопления к элементам дефицита, предварительно нормированных на фон. Кроме того, дополнительно для определения состава продуктов КВ были использованы значения петрохимических показателей [3, 8]: НКМ = $(Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$, где низкие значения свидетельствуют о преобладании слюд, а высокие – о преобладании полевых шпатов; ПМ = (CaO + + Na_2O) / K_2O, характеризующего низкими значениями слюдистые породы, а высокими – карбонатные; K/Na для разделения по щелочности: при ≥ 2,8 − калиевой специализации, ≤ 0,4 – натровой, а при 2,8 ≥ *n* ≥ 0,4 – Na-калиевой.

Для разграничения пород по степени выветривания использован коэффициент Кив = $[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]$ × 100, по которому исходя из среднего в полученных группах породы со значениями коэффициента < 73 % отнесены к слабо выветренным (к коренным и суглинкам); 74–80 % отнесены к выветренным дресвяно-щебнисто-глинистым (гидрослюдистого типа); > 80 % отнесены к существенно глинистым продуктам КВ с высокой степенью выветривания. Для определения состава первичного субстрата продуктов КВ были использованы два коэффициента: титановый модуль TiO_2 / Al_2O_3 и титан-циркониевый Ti / Zr [3, 8], где повышенные значения Ti при пониженных Al_2O_3 и Zr больше характерны для выветренных пород среднего состава и менее – для пород кислого, а повышенные значения Al_2O_3 и Zr и пониженные Ti характерны для выветренных пород кислого состава.

Полученные новые признаки, с учетом содержаний выбранных элементов, позволили обосновать определение минералого-геохимического типа выделенных ассоциаций:

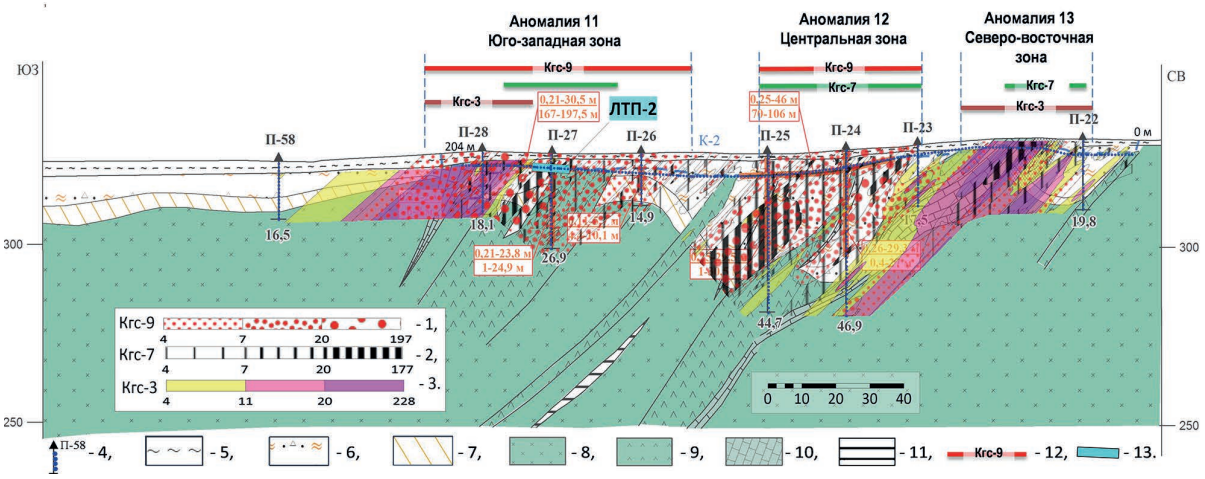


Рисунок. Изоконцентраты значений коэффициентов Кгс-3, 7 и 8 в разрезе ПР-2 по канаве 2 и поисковым скважинам из первичных ореолов рассеяния на Ускандинском участке:
1–3 – шкала значений показателей геохимических ассоциаций, в Кк: 1 – Au-Ag-барит-полиметаллической, Кгс-9, 2 – Cu-Mo порфировой (?) с Au, Кгс-7, 3 – Cu-Zn-колчеданной, Кгс-3; 4 – поисковые скважины, их номера с участками отбора проб; 5 – суглинки; 6 – глинистая КВ; 7 – гидрослюдистая КВ; 8–11 – породы кембрия: 8 – риолит-дациты и их туфы, 9 – дациты, 10 – известняки, 11 – черные сланцы; 12 – интервалы с аномальными значениями показателей; 13 – место отбора технологической пробы ЛТП-2

Кгс-9 = (**Au + Pb + Sb + Ba + Ag** + Hg + As) / (Se + Ti + Sc + Cr + V + Al + Y) соответствует **золото-серебро-барит-полиметаллическому типу с ртутью**, КВ гидрослюдистая, Na-K типа;

Кгс-8 = (**Au + Ba** + Ag + Cr + W) / (Cu + Fe + Al + As + Zn) характерен для **золото-баритового (жильного) типа**, КВ гидрослюдистая, К-типа;

Кгс-7 = (**Mo + Cu + Au + Ag** + Ni + Se + Te) / (La + Mg + Mn + Ca + Co + Ba + Na) фиксирует участки с проявленным **Cu-Mo-порфировым (?) типом** оруденения, КВ гидрослюдистая, К-типа;

Кгс-6 = (**Au + Ba + Pb** + K + Al + Zr) / (Ca + W + La + Ni + Zn + Mn) соответствует **золото-баритовому типу с галенитом** в метасоматитах, КВ гидрослюдистая, К-типа;

Кгс-5 = (**Cu + Zn + Cd + Au + Pb + Mn + Fe** + W) / (K + Na + Cr + La + Sr + Ti + Zr + Mg) относится к **Cu-Zn-колчеданному типу** в метасоматитах, приуроченных к контакту эффузивных и карбонатных пород, окисленных до бурых железняков, КВ глинистая, К-типа;

Кгс-4 = (**Cu + Zn** + **W** + Au + **Al** + P + Sc) / (Mo + Ca + Te + Bi + Ni + Zr + K) характерен для **(Zn)-Cu-колчеданного типа** в метасоматитах по измененным дацитам, КВ глинистая, K-Na типа;

Кгс-3 = (**Zn + Mn + W + Ca** + P + Mg + La) / (Al + As + Cr + K + Na + Mo + Ti) характерен для **(Cu)-Zn-колчеданного типа** с W, в метасоматитах по карбонатным породам, K-Na типа;

Кгс-2 = (K + Zr + Na + Al + Y) / (W + Pb + Cu + Cd + V) и Кгс-1 = (Cr + Na + Ti + V + Mg + Bi) / (Mo + Cu + Ba + Se + Sb + Ag) характеризуют продукты глинисто-песчано-дресвянистой КВ, образованные за счет разрушения пород, соответственно кислого или среднего составов.

Отмечается совмещение геохимических ассоциаций, с образованием разных типов руд, от двух-, трёх- до многокомпонентных, в линейных зонах СЗ простирания, характерных для Салаирского рудного района [4, 5]: Zn (Cu) → Cu-Zn → Cu-Zn-Pb → Cu-Zn-Pb-Mo-As-Sb-Au → → Au-Ba-Pb → Au-Ag-Ba-Pb-Cu-Zn-Mo-Se → Au-Ag-Ba-Pb-Sb-As-Hg-Te. Так, например, на Ускандинском колчеданно-полиметаллическом проявлении выделяется три зоны СЗ простирания: Юго-Западная, Центральная и Северо-Восточная (см. рисунок), каждая из которых характеризуется своими аномальными значениями показателей **Au-рудных** (Кгс-6, 8 и 9) и **золотосодержащих** – Cu-Mo-порфировой (Кгс-7), Cu-Zn-колчеданной (Кгс-4 и 5) – ассоциаций.

Из них в *Юго-западной перспективной зоне,* с шириной на поверхности до 70−80 метров, отмечается совмещение Au-рудных с Cu-Zn ассоциациями (Кгс 3-5), содержащих Au до 2,0 г/т, Cu до 5,5 %, Zn до 6,7 %. Причем в СВ части зоны материал отобранной пробы ЛТП-2 со средним содержанием 0,55 г/т, рекомендуемой для отработки кучным выщелачиванием, характеризуется максимально аномальными значениями показателей Au-рудных и Au-содержащих ассоциаций Кгс 4-9 и минимальными (Cu)-Zn-колчеданного типа (Кгс-3). В изученной пробе самородное золото с преобладанием трещинно-прожилкового типа в основном средней пробности, пылевидное и тонкое, в виде свободных частиц открытых и закрытых сростков с другими минералами.

Перспективная Центральная зона, шириной на поверхности до 60 метров, представленная продуктами КВ с аномальными значениями геохимических Au-рудных показателей Кгс-7, 8 и 9 и максимальными содержаниями Au до 0,9 г/т, Cu до 2,8 %, Zn до 0,6 %, технологическим опробованием не исследована. Для зоны в приповерхностной части характерны высокие значения показателей Au-баритовой ассоциации (Кгс-8), при увеличении на глубину высоко аномальных значений Au-содержащей Cu-Mo-порфировой (?) (Кгс-7) и Au-Ag-барит-полиметаллической (Кгс-9).

Перспективность на золото третьей, *Северо-восточной зоны,* шириной 35–40 метров невысокая. Здесь в основном проявлена Cu-Zn-колчеданная ассоциация (Кгс 3-5) с высоко аномальными значениями и со слабо аномальными значениями Au-рудных ассоциаций при максимальных содержаниях в отдельных пробах Cu до 6,1 %, Zn до 3,0 %.

Фактически золотоносность КВ Ускандинского участка, как и всей Тырганской площади, связана с метасоматитами, сопровождаемыми рудно-геохимическими ассоциациями: **Au-Ag-барит-полиметаллической** (Кгс-9), **Au-баритовой** (Кгс-8 и Кгс-6), **золотосодержащими Cu-Mo** (Кгс-7) и **Cu-Zn-колчеданной** (Кгс 4-5). Выделенные геохимические ассоциации по значе-

ниям показателей, с учетом традиционно выделяемых параметров по элементам-индикаторам в аномалиях (средних значений, ранжированных по коэффициенту концентрации, коэффициентов корреляции Au, коэффициента вариации, значений петрохимических модулей, количества «геохимических» ресурсов), были использованы в качестве поисковых признаков при оценке золотоносности КВ Тырганской площади.

Резюме. С привлечением полученных признаков, учитывающих, кроме рудных, и петрогенные элементы, и сведенных в таблицу, из 50 аномалий, выделенных в КВ Тырганской площади по 7827 пробам, с подсчитанным прогнозным ресурсным потенциалом золота в соответствии с инструкцией [2] 26 аномалий отнесены к потенциально-перспективным, 18 – к аномалиям с неясной перспективой и 6 – к неперспективным.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 10/22 от 29.04.2022 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабенко А. А., Аввакумов А. Е. и др. Отчет о результатах работ по объекту: «Поисковые работы по оценке экзогенной золотоносности Тырганской перспективной площади (Кемеровская область)». Государственный контракт № 10/22 от 29.04 2022 (Росгеолфонд, Кемеровский филиал ФБУ «ТФГИ по СФО» Кемеровская область, N-45-XIV, 2024).
2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. − М. : Недра, 1983.
3. Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие / Е. В. Скляров и др.; под редакцией Е. В. Склярова. – М : Интермет Инжиринг, 2001. – 288 с.
4. Инякин А. С. Геолого-структурная позиция и обстановка локализации колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каменушенского рудного поля, Салаирский кряж // Руды и металлы. – 2018. – № 2. – С. 66–76.
5. Лапухов А. С. Зональность колчеданно-полиметаллических месторождений. – Новосибирск : Наука, 1975.
6. Патент № RU2767159C1, Российская Федерация, СПК G01V 9/00 (2021.08). Способ поиска золоторудных и золотосодержащих месторождений по рудно-геохимическим ассоциациям: № 2020132685: заявка 02.10.2020: опубл. 16.03.2022, Бюл. № 8 / Бакшеев Н. А., Стамберский А. А. – 15 с.
7. Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых / Под ред. Кривцова А. И. – М. : ЦНИГРИ, 2010.
8. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. – СПб. : Наука, 2000. – 479 с.

Банадысева М. Д. [1, 2] (mariyabanadyseva@gmail.com), Андреенок А. В. [1], Жемжуров Н. В. [1]
[1] Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург;
[2] ООО «СЗГГК “Геокомплекс”», г. Санкт-Петербург

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПОИСКЕ КОРЕННОГО ИСТОЧНИКА РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА СУРЬЯ КАЗАНСКАЯ

В работе представлены результаты комплексных геофизических работ, выполненных специалистами компании ООО «СЗГГК “Геокомплекс”» в летний полевой сезон 2024 г. в пределах участка недр Замочный Пермского края. Основной целью работ был поиск объектов, отвечающих по своим петрофизическим свойствам золотоносным березитизированным породам.

Ключевые слова: поиски геофизическими методами, электроразведка, магниторазведка, гамма-спектрометрия, золото-кварцевая формация, золото-сульфидно-кварцевая формация, золото-сульфидная формация.

Комплекс методов геологоразведки на поисковой стадии ГРР направлен на прогноз, выявление и предварительную оценку ресурсов месторождений полезных ископаемых. Набор методов определяется исходя из поисковых критериев, характеризующих требуемый тип месторождений, физических свойств руд полезного ископаемого и вмещающих пород.

Критериями являются отличительные черты геологического образования, отражающие его рудоносность. Критерии рудоносности устанавливаются на основе анализа закономерностей размещения месторождений и рудоконтролирующих факторов. Критерии могут быть прямыми – поисковые признаки, и косвенными – поисковые предпосылки [4].

Поисковые признаки – комплекс факторов минералогического, геофизического, геохимического характера, указывающий на наличие проявлений полезного ископаемого в пределах конкретных площадей или геологических обстановок.

Поисковые предпосылки – комплекс факторов, определяющих условия нахождения полезного ископаемого в недрах, позволяют оценить вероятность обнаружения месторождения на исследуемых участках недр.

В данной работе рассматриваются следующие поисковые предпосылки для месторождений золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций: тектонические, вещественные и их отражение в геофизических полях.

Тектонический фактор подразумевает не только наличие крупных разрывных нарушений, но и в целом нарушение сплошности, целостности горных пород. За счет образования систем трещин горные породы становятся высокопроницаемыми, что является благоприятным фактором формирования гидротермального месторождения [2]. Для сульфидных кварцево-жильных месторождений золота характерны концентрации оруденения в слабомагнитных зонах, где происходят околорудные гидротермальные изменения [4].

Применение метода гамма-спектрометрии при поисках месторождений золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций позволяет выявить зоны повышенной концентрации ^{40}K. Такие аномалии связаны с процессом березитизации и аналогичным метасоматозом, когда происходит привнос калия [3, 5], который концентрируется в основном в калиевом полевом шпате. Также наличие березитизции является поисковым вещественным признаком для данной формации [1].

Околожильные метасоматически измененные породы с прожилково-вкрапленными сульфидными рудами характеризуются относительно пониженными сопротивлениями. Понижение сопротивления в таких породах обусловлено прожилково-вкрапленными сульфидными рудами. Изучение поляризуемости пород и руд в штольнях и скважинах подобных месторождений показало, что песчано-сланцевые отложения имеют устойчивые значения поляризуемости 1–2 %. На этом фоне уверенно выделяются аномалии nk = 8–12 %, соответствующие зонам сульфидной минерализации [3].

Источником россыпей золота месторождения Сурья Казанская являются объекты гидротермального и метаморфогенно-гидротермального генетических типов, относящиеся к золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой и золото-сульфидной рудным формациям. В долине реки Сурья Казанская установлены рудоконтролирующие разломы: Замочно-Белокаменский и Мойвинско-Кутимский. Зоны разломов характеризуются метасоматозом и золотым оруденением (Росгеолфонд. Геологический отчет № 4577, 1998. Л. 44–50). На участке установлена область пересечения разнонаправленных разломов, что является благоприятным фактором для развития гидротермальных процессов и, как следствие, рудной минерализации.

Силами ООО «СЗГГК "Геокомплекс"» на участке были проведены комплексные геофизические работы, включающие магниторазведку, электроразведку, гамма-спектрометрию.

По результатам интерпретации данных магниторазведки поле можно охарактеризовать как относительно спокойное. Наибольший интерес в данном случае представляют области положительных значений (2–5 нТл), где, вероятно, может локализоваться рудное тело.

При анализе данных гамма-спектрометрии выделяются области пониженных концентраций ^{40}K (до 1,2 %) и повышенных концентраций ^{40}K (0,9–2,8 %). Зона повышенных значений концентрации ^{40}K также имеет северо-западное простирание. В этой зоне можно различить участки с высокими концентрациями ^{40}K в северо-западной и юго-восточной частях (более 2 %).

По результатам электроразведки было выделено несколько блоков с различными значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) северо-западного направления. При совместном анализе распределения УЭС и геологических данных отмечается, что разломы, известные по геологическим данным, выделяются резкими границами между высокоомными и низкоомными блоками. Также внутри высокоомных зон выделяются области пониженных сопротивлений, что, вероятно, связано с развитием трещиноватости или обводнения. В распределении поляризуемости также выделяется тренд на северо-западное простирание. В западной части выделяется широкая зона, значения поляризуемости в которой более 3 %.

Результатом комплексных геофизических работ стала структурно-интерпретационная схема (рисунок). На геологическую основу были вынесены аномалии, выявленные в ходе интерпретации. Предпосылками к обнаружению источника россыпи Сурья Казанская являются: пониженные значения магнитного поля, повышенные концентрации ^{40}K, повышенные значения поляризуемости, пониженные значения УЭС.

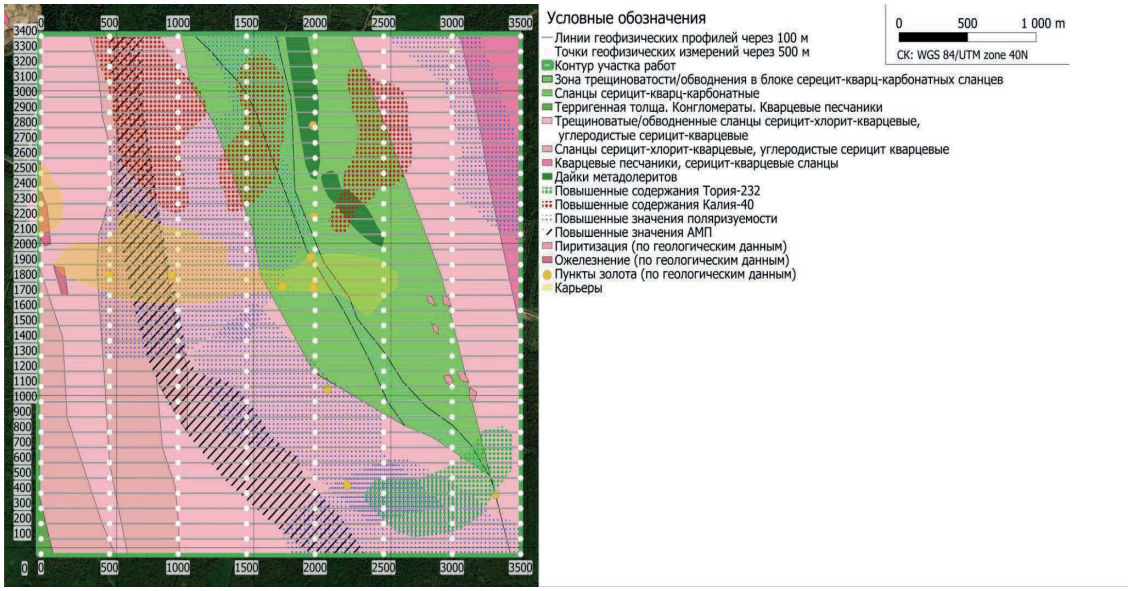


Рисунок. Итоговая структурно-интерпретационная схема с положением пунктов минерализации золота

При сопоставлении полученных результатов с расположением известных пунктов минерализации золота, отмечается, что они тяготеют к зонам, где наблюдаются повышенные концентрации ^{40}K, высокие значения поляризуемости и повышенные значения магнитного поля. Таким образом, выбранный комплекс геофизических методов можно считать оптимальным при проведении поисковых работ на этом и аналогичных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин В. В., Ручкин Г. В., Шатагин Н. Н., Лыгина Т. И., Мельников М. Е. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов / Под ред. В. В. Авдонина. – М. : Академический проект, 2007. – 540 с.
2. Ерофеев Л. Я., Ерофеева Г. В. Магнитное поле и природа аномалий на сульфидных кварцево-жильных месторождениях золота (на примере Дарасуна, В. Забайкалье) // Известия ТПУ. – 2015. – № 326 (6). – С. 16–22.
3. Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации / 2 изд., перераб. и доп. – Л. : Недра, 1980. – 391 с.
4. Кучеренко И. В., Гаврилов Р. Ю., Мартыненко В. Г., Верхозин А. В. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 2. Петрология околорудного метасоматизма // Известия ТПУ. – 2012. – № 320 (1). – С. 28–37.

5. Марков К. А., Михайлов Б. М., Предтеченский Н. Н., Рыцк Ю. Е. и др. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д. В. Рундквиста. – Л. : Недра, 1986. – 751 с.
6. Степанов В. А., Мельников А. В. Месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации Приамурской провинции // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 68. – С. 108–116 с.

Барова Е. В. (barova@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КАНДИДАТСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)

В основе тезисов лежит исследование вещественного состав руд в пределах Кандидатского рудного поля. На всем рудном поле установлено колчеданно-полиметаллическое оруденение преимущественно пирротин-галенит-халькопирит-пирит-сфалеритового типа минерализации. В частности, выявленные рудопроявления не всегда относятся к колчеданному семейству. Текстурно-структурные особенности и строение минералов указывают на условия процесса рудообразования.

Ключевые слова: Змеиногорский рудный район, вещественный состав руд, колчеданно-полиметаллическая руда, свинец, цинк.

Проблематика обнаружения новых месторождений свинцово-цинкового сырья, чьих запасов хватает только до 2035 г. [5], ставит перед геологами следующие задачи: уточнение геолого-поисковых моделей месторождений, изучение закономерностей локализации руды, исследования благоприятных условий с дальнейшим формированием обстановок, накапливающих полезные компоненты, и др. Затруднения установления размещения колчеданно-полиметаллического оруденения на Рудном Алтае, одной из перспективных металлогенических провинций, вызваны его комплексностью: непростая геологическая история, множественные циклы магматизма, тектонические деформации, различные термобарогеохимические условия, разнообразные вторичные изменения.

Рудноалтайские месторождения относятся к колчеданно-полиметаллической группе в вулканогенно-осадочных формациях [1], сопоставимой с типом массивных сульфидных руд вулканогенной ассоциации (VMS) по международной классификации. Об их генезисе начали говорить давно, и анализ литературных данных показал, что наиболее ранняя приближенная к современным взглядам является эффузивная гипотеза Левоника Б. С. [4]. Сейчас установлено, что формирование алтайских колчеданно-полиметаллических руд происходило в морских условиях и связано с гидротермальными постройками «черных курильщиков» [3].

Некоторые вопросы происхождения рудного вещества затронуты в книге «Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая» [2], где предполагается двухэтапный процесс рудообразования: первичный гидротермально-осадочный и метаморфогенный. Источником энергии для гидротермально-метасоматических систем является магматический очаг, из которого также образовывались накапливающие рудные тела депрессионные структуры. Вынос металлических элементов из вулканогенных пород и нагрев морской воды приводили к образованию рудоносного флюида, который при дальнейшем контакте с океанической водой осаждал рудные компоненты в терригенных породах, образуя при этом под рудными телами метасоматиты. В дальнейшем руда преобразовывалась благодаря внешнему воздействию – контактовому метаморфизму, где минералы перекристаллизовывались, меняли текстуры, накладывались на первичные руды.

На Кандидатском рудном поле развиты рудоносные формации: от нижней субформации базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации D_{1-2}e–ef РКТ$_1$ до средней субформации контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной

$D_2gv_2^2$–D_3f^1 $БР_2$. Также часть территории прорывает Каменевский субвулканический комплекс базальт-дацит-риолитовый (основные πD_{2-3} и кислые σD_{2-3}), а Змеиногорский габбро-плагиогранит-лейкократовый ($\eta\xi D_3z$) перекрывает.

По результатам ионной сорбции, проведенной в лабораториях ФГБУ «ЦНИГРИ», большинство значимых геохимических аномалий выявлены над девонскими отложениями, которые условно разделяли рудное поле на три участка с учетом выходов осадочных пород: Головино-Ганьковский, Привет, Беспаловский. По результатам статистического анализа аномалий наблюдаются устойчивые корреляции между медью, свинцом, цинком, серебром и кадмием, что характерно для колчеданно-полиметаллических месторождений. Поисковые скважины вскрыли рудную минерализацию с небольшими различиями.

Рудопроявление Головино-Ганьковское представлено алевролитами кремнистыми и глинистыми, туфопесчаниками, лавами среднего состава и туфами кислого состава мельничной свиты, относящимися к нижней субформации $РКТ_1$. Рудная минерализация образует разные ассоциации минералов с их неравномерным распределением. Основными рудными минералами десь являются пирит, халькопирит, сфалерит, пирротин. С помощью сканирующего электронного микроскопа также установлены теллуриды свинца и серебра. Наблюдается возрастание сфалеритового материала с северо-запада на юго-восток. Текстуры руд слоистые, гнездово- и прожилково-вкрапленные; структуры ассоциаций – колломорфная, катаклазированная, гранобластовая, разъедания (коррозионная) и некоторые замещения (петельчатая, сетчатая, графическая). В общей сложности развит пирротин-сфалерит-пирит-халькопиритовый тип минерализации.

Руднороявление Привет сложено алевролитами кремнистыми и меньше глинистыми, туфоалевролитами, туфами риолитового и смешанного состава, лавами или лавобрекчиями риодацитов и риолитов мельничной и сосновской свит, представителями нижней–средней субформаций $РКТ_{1-2}$. Сульфиды распространены в гидротермальных (хлорит, кварц) гнездах и прожилках. Минералы, имеющие широкое распространение, – сфалерит, халькопирит, галенит, пирротин и пирит. В отличие от предыдущего рудопроявления здесь пирит преимущественно находится в подчиненном количестве, что предполагает более низкий коэффициент колчеданности. При этом, как выше было описано, выделяется преобладание кремнистых алевролитов над глинистыми. Указанные два наблюдения, возможно, взаимосвязаны. В данном случае, теоретически причиной зависимости может быть коррозия пирита гидротермальными минералами, в частности кварцем. Однако она не доказывает обратную пропорциональность количества упомянутых минералов, так как на Привете обнаружены образцы руд с корродированием пирита не кварцем, а халькопиритом. Текстуры руд – гнездово- и вкрапленно-прожилковая. Структуры минералов, слагающих ассоциации, – зернистая, катаклазированная, разъедания (коррозионная) и замещения (петельчатая). Тип минерализации описывается как (пирит)-пирротин-галенит-халькопирит-сфалеритовый.

Рудопроявление Беспаловское состоит преимущественно из терригенной толщи. Здесь отмечается чередование алевролитов, песчаников и аргиллитов заводской свиты, которые относятся к верхней субформации нижней рудоносной формации $РКТ_3$. Рудная минерализация на данном участке достаточно разнообразна. Основными минералами руд являются сфалерит, халькопирит, пирит, галенит. Реже встречается пирротин, и в единичных случаях – марказит. Текстуры руд – гнездово- и прожилково-вкрапленная, сетчато-прожилковая и линзовидная. Структуры минеральных ассоциаций – цементная, интерстициальная, разъедания (коррозионная), давления и перекристаллизации. Отмечается зональное строение гидротермально-сульфидных прожилков с разными позициями рудных минералов, которые занимают как центральную часть, так и зальбанды. Присутствует фоссилизированная фауна, прослеженная в алевролитах кремнистых до глубины 140 метров. Наличие реликтов окаменелых организмов говорит о близости выхода гидротермальных источников на поверхность бассейна [3]. Вероятно, в непосредственной близости могут находиться и остатки трубок курильщиков.

В результате исследования колчеданно-полиметаллического оруденения на оптическом микроскопе с помощью структурного травления были выявлены некоторые особенности минерализации в виде текстур, структур и строения минералов, указывающих на условия рудо-

отложения. Таким образом, предполагается, что процесс оруденения проходил в ранее описанные два этапа. В первую очередь руды кристаллизовались из коллоидных растворов (слоистая текстура, колломорфная структура). После деформации вулканогенно-осадочной толщи минералы были катаклазированы. Воздействие метаморфизма привело к перекристаллизации руд (гранобластовая, затушеванная колломорфная структура). Тем не менее, некоторые структуры достаточно устойчивы, и первоначальные рудные минералы сохранились в виде реликтов, оставленных незавершенным процессом перекристаллизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горжевский Д. И., Курбанов Н. К., Филатов Е. И., Ручкин Г. В. Методические основы прогноза и поисков свинцово-цинковых месторождений. – М. : Недра, 1987. – 229 с.
2. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В. и др. Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 207 с.
3. Кузнецова С. В., Жегалло Е. А. Биоморфные образования в рудах колчеданно-полиметаллических месторождений северо-западного Алтая // Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 210–212.
4. Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая : труды совещания по генезису алтайских колчеданно-полиметаллических месторождений. – Алма-Ата : Наука, КазССР, 1977. – 304 с.
5. Распоряжение Правительства РФ от 11.07.2024 № 1838-р «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года» / СПС КонсультантПлюс. Опубликован 29.07.2024 на официальном интернет портале правовой информации http://www.pravo.gov.ru.

Барышев А. Н. (AlexBarGeol@mail.ru), Хачатрян Г. К. (khachatryan_g_k@mail.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ГЕОДИНИМИКА КАК ПУТЬ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ ПРИРОДЫ МИНЕРАГЕНИИ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРИТЕРЕВ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрены геодинамические основы конвекции и субдукции при формировании источника вещества медно-никелевых, алмазных месторождений, карбонатитов, роли транстенсии в доставке вещества из глубин, периодичность размещения рудоносных систем.

Ключевые слова: алмаз, карбонатиты, медно-никелевые, субдукция, транстенсия, адвекция.

Минерагения в аспекте условий развития древних платформ требует учитывать не только их тектонику, но и геодинамику: раннюю, активную при формировании фундамента, и последующую, пассивную при формировании чехла. Только это сочетание может привести к пониманию скрытых особенностей минерагении, образованию источников полезного ископаемого, условий перемещения его компонентов в пространстве и конечной локализации их на уровне чехла в месторождениях разного типа. В методологии исследования требуется сочетать индуктивный и дедуктивный подходы, то есть опираться как на прямые наблюдения, так и на общие геодинамические закономерности. Основы такого подхода и результаты изложены в монографии [2]. Общность принципов геодинамики, используемых при дедуктивном подходе, подтверждается исследованиями по сравнительной общепланетарной тектонике [1, 4]. Важность сравнительной тектоники и геодинамики состоит в дополнительном обосновании большой роли малых по величине длительно действующих сил, вызванных ротационным режимом планет (пассивной геодинамики при платформенном режиме), которые формируют регматическую сеть, а она способствует транстенсионной адвекции, разномасштабной пространственной периодичности систем. Это же показано в ряде работ по геологии алмазоносных

структур, начиная от металлогенических поясов до кимберлитовых трубок с их периодическим размещением вдоль зон транстенсии [2, 7]. Там же рассмотрена геодинамика алмазообразования, природа минерагении карбонатитов, берущая начало при накоплении осадков шельфовых фаций бассейна, далее их субдукции, последующей транстенсионной адвекции, приводящей к образованию трубообразных тел УЩК-карбонатитового комплекса с минерагенией редких металлов. Эти закономерности согласуются с разработанной нами моделью субдукции, принципиально отличной от модели тектоники плит. Зоны субдукции отражают краевые эффекты ячеистой конвекции в виде сжатых синклиналей, полого погружающихся к центру ячеи. Центр ячеи соответствует восходящей (эдукционной) ветви конвекции [2]. Субдукция шельфовых фаций достигает лишь небольших глубин, где литостатическое давление мало для образования алмаза. По этой причине алмазы практически всегда отсутствуют в трубках карбонатитов, образованных из пород субдуцированных шельфовых фаций. Единичные находки на севере Сибирской платформы могут быть тогда, когда юрские карбонатитовые трубки, пересекая триасовые россыпи алмаза, захватили их. Протолит алмазоносных кимберлитов и лампроитов содержал органическое вещество в диспергированной форме, которое послужило источником алмазов в толщах. Он был погружен на глубины с литостатическим давлением большим, чем протолит карбонатита. Основным фактором доставки протолита из глубин к поверхности и образованием в конце процесса трубчатых тел кимберлитов или карбонатитов служит транстенсионная адвекция [2]. Транстенсия как бы «высасывает» вещество из глубин, даже при отсутствии плотностной инверсии. Для ее реализации достаточно малых усилий при длительном их действии за счет ползучести. В этом заключается секрет принципа Клиффорда, который в действительности отражает не возраст кристаллов алмаза в кимберлитах, принимаемых за магматические образования, а большую длительность транспорта алмаза в практически твердой среде, сохраняющей алмаз от его разрушения. По этой же причине кимберлиты за редким исключением не внедряются в разломы, создавая трубки, при том, что на той же территории в разломы легко внедряются магмы основных пород, образуя многочисленные дайки. При прогнозных исследованиях разломы нужно учитывать лишь для выделения областей транстенсии (в противовес транспрессии), а не как место возможного размещения трубок. Вдоль линейных зон транстенсии кимберлитовые трубки закономерно повторяются. Это показано в работе [2] на примере Накынско-Мирнинской и Далдыно-Алакитской территорий, где трубки чередуются через расстояния 2,5–3,5 км или кратно средней из этих величин.

Важным выводом, следующим из новой модели субдукции как краевого эффекта ячеистой конвекции при развитии фундамента древних платформ, является то, что именно субдукция – главный фактор образования современного базальтового слоя земной коры. Лучше вскрывается сущность геологического строения слоя и минерагенических процессов при его формировании и позже, при собственно платформенном режиме на севере Сибири. Кроме новых взглядов на геологию, генезис алмазов и карбонатитов были пересмотрены основные вопросы генезиса норильских медно-никелевых месторождений как результат пермь-триасового выплавления при трапповом магматизме из раннепротерозойского базальтового слоя земной коры, вмещавшего вулканогенно-осадочные пласты медно-никелевых колчеданных руд, связанных с гипербазит-базитовым магматизмом [3].

Рассмотренные закономерности связи минерагении с геодинамикой могут стать основой для новых представлений о происхождении двух дискутируемых феноменов: редких, но крупных массивных блоков сплошного металлического никелистого железа в верхних частях габброидных трапповых интрузивов, с одной стороны; рудоносных рифов (слоев протяженностью более 20 км при мощности менее 2 м) с хромитами, магнетитом, платиноидами в расслоенных ультрабазит-базитовых массивах (Бушвельд и прочие), с другой.

Никелистое железо в габброидах принято рассматривать как закономерный компонент магм в виде оксидов, подверженных гипогенному преобразованию восстановительными флюидами. Кроме представлений о слипании мелких выделений железа, не рассматривалась другая проблема: как и откуда большая масса металла появилась в одном месте магмы при отсутствии такого в окружении? Блоки массивного никелистого железа, как и массивные сульфиды норильских месторождений, вероятнее всего, представляют фрагменты разрушенных древних

вулканогенно-осадочных колчеданных тел, которые были окислены и восстановлены до или после заключения в трапповые интрузивы. Их изучение должно рассматриваться совместно с генезисом медно-никелевых месторождений, учитываться при прогнозе последних.

Исследование второго феномена должно учитывать не только интрузивную сущность и магматическую дифференциацию тел, но и сочетания вулканизма с осадконакоплением, формирующие протолит, который подвергся субдукции, метаморфизму, последующей транстенсионной адвекции. Адвекция приводила к декомпрессии, снижению вязкости вплоть до образования магмы. Верх системы осложнялся фракталами. Теоретическим фундаментом для подобной модели служат формула Рэлея, описывающая конвекцию, уравнения подобия Гзовского для пластического течения, архимедовы силы в динамике транстенсии, уравнения подобия для фаз неустоявшейся конвекции, что суммировано в [2]. Согласно уравнениям подобия для одинаковых фаз конвекции, уменьшение размера системы на один порядок соответствует снижению вязкости в подобной системе примерно на три десятичных порядка, а время достижения аналогичной фазы конвекции уменьшается на два порядка.

Заключавшие в себе твердо-пластичные и расплавные массы Бушвельд и Садбери, имеют сходную конвективную геодинамическую сущность, но разные фазы развития. Массив Бушвельд соответствует размерной системе III порядка, сохраняя объем более ранней фазы адвекции, чем Садбери, который по размерам соответствует системе IV порядка, то есть фракталу более продвинутой фазы адвекции. Вместе с тем, в обоих массивах сохраняются структурные особенности протолита со стратификацией, наследованной от древнейшего досубдукционного вулканогенно-осадочного накопления толщ. По этой причине и в Бушвельде, и в Садбери выражена стратоидная позиция магматических месторождений, в которых регенерированы более древние медно-никелевые с платиноидами стратифицированные рудные образования. Иначе говоря, рудоносные рифы в расслоенных массивах образуются не при магматической дифференциации, а отражают последовательное напластование толщ в протолите.

Мантийно-коровая основа массива Путорана и его окружения в Сибири по масштабам и природе представляет собой, по-видимому, сходную с Бушвельдом систему, но сам массив отражает самую верхнюю позицию, отвечая более продвинутой фазе адвекции, к фракталам которой относятся трапповые интрузивы, вмещающие норильские месторождения [5]. Более мелкие фракталы, вызванные волновыми осложнениями слоев, образуются в месторождениях как при снижении вязкости (в предшествии плавления), так и при неполном затвердевании (частные раздувы и пережимы в пластообразных рудных телах норильских месторождений). То есть пространственная периодичность имеет разные размерные параметры.

Итак, прогнозируя месторождения алмазные, медно-никелевые, редкометалльные в карбонатитах месторождения, необходимо принимать во внимание рассмотренное выше происхождение их протолита, а также геодинамические условия доставки полезного ископаемого вверх уже в компактном виде. Для совершенствования критериев прогноза надо особо выделять те связи полезного ископаемого в ассоциациях, которые детерминированы генетическими, в том числе геодинамическими факторами. Формационные системы, основанные на наблюдаемых ближайших пространственных вещественных ассоциациях, широко использованы в [6]. Природе источника не уделено должного внимания. Совершенствование критериев прогноза должно учитывать всю историю развития минерагении, используя системный анализ тектоники и геодинамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышев А. Н. Адвективная сущность кольцевых кратерных структур на Луне и Земле, проблемы их астроблемной интерпретации // Отечественная геология. – 2022. – № 5. – С. 48–58.
2. Барышев А. Н. Геодинамика, тектоника, минерагения: системный анализ. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 438 с.
3. Барышев А. Н. Минерагения норильских Cu-Ni месторождений как пермь-триасовое выплавление магм из раннепротерозойского базальтового слоя земной коры, вмещающего вул-

каногенные колчеданные руды, и геоструктурные преобразования среды // Сборник тезисов докладов научно-практической конференции. – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 26–30.
4. Барышев А. Н. Тектонофизические и вулканические факторы развития космического тела Веста // Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2025. Материалы LVI Тектонического совещания. – М. : ГЕОС, 2025. – С. 50–54.
5. Барышев А. Н., Хачатрян Г. К. Геодинамические особенности развития тектоники и минерагении древних платформ // Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2025 // Материалы LVI Тектонического совещания. – М. : ГЕОС, 2025. – С. 46–50.
6. Металлогенический кодекс России. – М. : Геокарт-Геос, 2012. – 126 с.
7. Хачатрян Г. К., Барышев А. Н. Азот и водород в алмазах: следствия минерагении. – М. : ЦНИГРИ, 2022. – 188 с.

Бергаль-Кувикас О. В. [1, 2, 3] (kuvikas@mail.ru), Владимирцева О. В. [1, 2] (olga_9_4@mail.ru), Субботин Н. А. [4] (Nikolay.Subbotin@vegadevelopment.com), Орлов С. Ю. [5] (nogik@mail.ru)

[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] ИВС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
[3] ФГБОУ ВО КамГУ им. Витуса Беринга г. Петропавловск-Камчатский;
[4] ООО «Вега Развитие», г. Москва; [5] ООО «Геоархив», г. Королев

МЕДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРИБРЕЖНОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ

Представлена новая информация о медной минерализации прибрежного вулканического комплекса, входящего в состав Восточно-Камчатско-Курильского вулкано-плутонического пояса. При исследованиях отобранного каменного материала в значительной части образцов были выявлены повышенные содержания меди. Источники поступления меди в породы ПВК являются дискуссионными.

Ключевые слова: Камчатка, медь, рудно-магматические системы.

Принято считать, что в Камчатской потенциальной медно-порфировой провинции необходимые условия локализации медно-порфировых систем могут реализоваться скорее в пределах Центральной и Северной Камчатки, чем в ее юго-восточной части [2]. Перспективы вулкано-плутонических поясов (ВПП) Камчатки на обнаружение медно-порфирового оруденения основаны на наличии в их строении потенциально продуктивных вулкано-плутонических ассоциаций (ВПА) и присутствии рудопроявлений медно-порфирового типа [5]. Подобные месторождения широко распространены в других звеньях Тихоокеанского вулканического пояса, в том числе в смежных с Камчаткой Алеутско-Аляскинских островодужных структурах [4, 6]. Нами, исходя из геологических аналогий, предполагается развитие медно-порфировых объектов, в том числе и на юго-востоке Камчатки (рисунок), где распространен миоценовый Прибрежный вулканический комплекс (ПВК).

ПВК входит в состав Восточно-Камчатско-Курильского ВПП (P_3–N_2) и обнажается в береговых обрывах Юго-Восточной Камчатки. На севере ПВК имеет тектонические ограничения, совпадающие с границами Малко-Петропавловской зоны поперечных дислокаций (МПЗ), а на западе ограничен Паратунским грабеном [1]. Магматические комплексы ПВК обнажаются в прибрежной полосе Берегового хребта от Авачинской губы до бухты Вестник. Ширина зоны распространения ПВК около 20 км, длина около 120 км. Вулканические образования ПВК состоят из андезитов, базальтов, андезибазальтов, их туфов, туфов кислого состава, туфопесчаников, туффитов. Интрузивные и субвулканические образования представлены преимущественно телами диорит-порфиритов, андезитов и дацитов. Субвулканические тела представляют собой эродированные питающие системы вулканических аппаратов.

Исследуемый район относится к фронтальной части современной Курило-Камчатской островной дуги. Для фронта дуг в целом характерно относительное воздымание, поэтому нами допускается возможность нахождения внутренних частей рудно-магматических систем на уме-

ренных глубинах относительно эрозионного среза восточного побережья Южной Камчатки. По нашему мнению, потенциальные миоценовые РМС Юго-Восточной Камчатки в течение плиоцена и четвертичного времени могли приблизиться к уровню современного среза.

Меденосность на Восточной Камчатке известна ранее и представлена отдельными геохимическими аномалиями и пунктами минерализации меди, в том числе с развитием сульфидной минерализации и метасоматических изменений [5], установленными преимущественно при проведении геологосъемочных работ.

При геохимическом исследовании [3] образцов интрузивных, субвулканических и вулканических комплексов ПВК, а также вмещающих их осадочных пород, отобранных вдоль восточного побережья южной части Камчатки, от Авачинской губы до бухты Мутная (см. рисунок), в 49 пробах (из 141 пробы) были выявлены повышенные относительно кларковых (более 100 ppm) содержания меди. В результате исследования вещественных особенностей отобран-

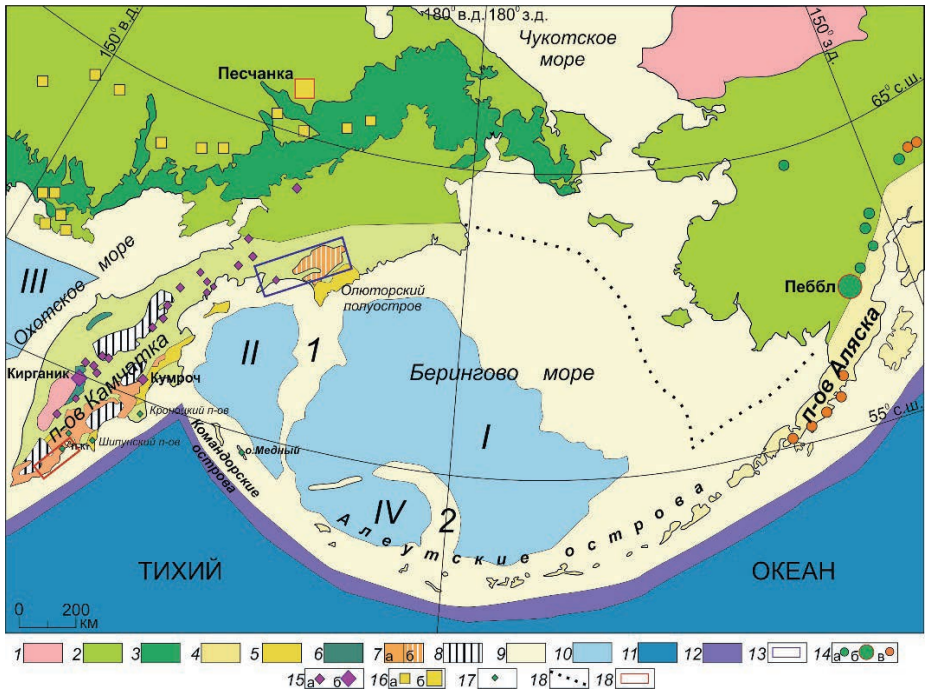


Рисунок. Схема локализации медно-порфирового оруденения на Камчатке, Чукотке и Аляске (по [3], с изменениями и дополнениями):

1 – выходы массивов древней континентальной коры; 2 – области мезозойской складчатости Верхояно-Колымской складчатой области и Северной Америки; 3 – меловой Охотско-Чукотский вулкано-плутонический пояс (ОЧВП); 4 – области современной кайнозойской складчатости с участками более древней коры и комплексами островных дуг; 5–8 – вулкано-плутонические пояса Камчатки: 5 – предполагаемый базальтоидный комплекс Ачайваям-Валагинской островной дуги (K_2–P_1), 6 – Ирунейско-Кирганикский пояс (K_2–P_1), 7 – Восточно-Камчатско-Курильский пояс (P_3–N_2) (а), Олюторский пояс (P_3–N_2) (б), 8 – Камчатско-Курильский современный пояс (N_2–Q); 9 – области шельфа и подводных поднятий; 10 – кайнозойские глубоководные впадины с океанической и субокеанической корой; 11 – океаническая кора Тихого Океана (Тихоокеанская плита); 12 – Алеутский и Курило-Камчатский глубоководные желоба; 13 – Северо-Олюторско-Камчатская перспективная площадь, по [4]; 14 – медно-порфировые объекты Аляски. Кайнозойские: мелкие месторождения и проявления (а), супер-крупное меловое месторождение Пеббл (б); другие меловые (в); 15 – медно-порфировые объекты Камчатско-Курильской области: проявления (а), перспективный объект Кирганик (б); 16 – медно-порфировые объекты Чукотки: проявления (а), месторождение Песчанка (б); 17 – медные проявления дискуссионной природы Восточной Камчатки и острова Медный; 18 – предполагаемая граница областей мезозойской и кайнозойской складчатости на шельфе; 19 – район исследований. Цифрами обозначены: бассейны с корой океанического и субокеанического типа: I – Алеутская котловина, II – Командорская котловина, III – впадина Тинро, IV – котловина Бауэрса; подводные поднятия: 1 – хребет Ширшова, 2 – хребет Бауэрса. Сокращения: П-Кт – Петропавловск-Камчатский

ных штуфных проб установлено, что медная минерализация представлена самородной медью и карбонатами меди (малахит).

Среднее значение концентрации меди в породах с установленным содержанием выше 100 ppm (принимаемым за кларковое) составило 223 ppm. В остальных 92 проанализированных пробах среднее содержание меди составило от менее чем 10 ppm до 100 ppm, в среднем составив 45 ppm. Показаны значительное распространение гипергенной медной минерализации по всей площади распространения ПВК и контрастность выявленных аномалий.

В целом ПВК имеет необходимые предпосылки для локализации медно-порфировых рудных систем: благоприятная геолого-структурная обстановка, состав и возраст пород, широкое распространение андезито-базальтовых комплексов со штоками гранодиоритов, гранитов, аляскитов. Выявленные содержания меди в штуфных образцах можно рассматривать как низко-средние геохимические аномалии по первичным ореолам рассеяния. Полученные результаты могут быть основанием для постановки тематических поисковых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бергаль-Кувикас О. В., Рогозин А. Н. Актуальность исследования Прибрежного вулканического комплекса в контексте истории изучения Южной Камчатки // Геодинамика и тектонофизика. – 2023. – Т. 14, № 0724. – С. 1–15. – DOI : https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-5-0724.
2. Бескин С. М., Алексеева А. К. Медно-порфировое оруденение России: перспективные регионы и площади. – М. : Научный мир, 2016. – 78 с.
3. Владимирцева О. В., Бергаль-Кувикас О. В., Субботин Н. А., Орлов С. Ю. Новые данные о медной минерализации прибрежного вулканического комплекса Южной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. – 2024. – № 4 (64). – С. 102–113. – DOI : https://doi.org/10.31431/1816-5524-2024-4-64-102-113.
4. Кременецкий А. А., Попов В. С. Гигантское Cu-Au-Mo месторождение Пеббл на юго-западе Аляски: особенности строения и формирования; перспективы Северо-Востока и Дальнего Востока России // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 9. – С. 57–69.
5. Мигачев И. Ф., Минина О. В., Звездов В. С. Корякско-Камчатский регион – потенциальная медно-порфировая провинция // Отечественная геология. – 2020. – № 4–5. – С. 3–23. – DOI : https://doi.org/10.47765/0869-7175-2020-10020.
6. Kreiner D. C., Jones J. V. III, Kelley K. D. [et al.] Tectonic and magmatic controls on the metallogenesis of porphyry deposits in Alaska // Porphyry Deposits of the Northwestern Cordillera of North America: A 25-Year Update. – 2021. – P. 1–42.

Берковский Е. М. [1] (evgeny.berkovskiy@yandex.ru), Лейбгам П. Н. [1], Бондаренко Н. В. [1], Головко Н. А. [2]

[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва; [2] ООО «Золотой Актив», г. Москва

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЧЕНКЕЛЕНЬИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ)

Определены условия образования золоторудной минерализации Ченкеленьинского рудного поля. Арсенопирит сформирован при участии гетерогенных углекислотно-азотно-метан-водных флюидов при температуре 270–290 °С и давлении 1,0 кбар. Более поздние шеелит, самородный висмут и самородное золото сформированы при участии гетерогенных азот-метан-водных флюидов при температуре 250–305 °С и давлении 0,7–0,8 кбар.

Ключевые слова: Ченкеленьинское, золоторудная минерализация, РТХ-параметры флюидов.

Ченкеленьинское рудное поле расположено в Верхояно-Колымской складчатой системе в пределах Адычанского рудного района. Площадь рудного поля приурочена к крупной брахиантиклинальной структуре, вытянутой в северо-западном направлении и ограниченной с севера и юга выходами гранитоидных интрузий мелового возраста. Рудное поле сложено угле-

родистыми метаалевропесчаниками среднего и верхнего триаса, метаморфизованными в зеленосланцевой фации. Кроме того, породы были подвержены динамотермальному и контактовому метаморфизму нижних ступеней амфиболитовой фации [5].

В аншлифах методами электронной и оптической микроскопии ранее были установлены состав и последовательность формирования рудной минерализации [5]. Первый этап – контактово-метаморфический, второй – гидротермально-метасоматический, включающий две стадии. В раннюю стадию сформировались арсенопирит с включениями леллингита, пирротин I в срастании с халькопиритом I. На завершающей стадии – пирротин II, халькопирит II, затем пирит, образующий псевдоморфозы по пирротину, галенит, сфалерит, самородные золото и висмут.

Таблица. Результаты исследований индивидуальных флюидных включений

Номер образца	Тип ФВ (группа)	Температуры фазовых переходов					Расчетные параметры			
		Газовые ФВ			ГЖВ		C, мас. % NaCl-экв.	CO_2-N_2-CH_4, мол. %	V, $см^3$/моль	P, кбар
		$T_{гом.}$ (CH_4+N_2)	$T_{пл.}$ CO_2	$T_{гом.}$ C	$T_{пл.}$ льда	$T_{гом.}$ ГЖВ				
Центральный участок рудного поля										
P-601-55	NH	– 113,0 г	-	-	– 2,7	255–265	4,5	0-55-45	90	0,7
P-605-90	NH	– 116,0 г	-	-	+ 13,5*	260–290	-	0-60-40	90	0,7
2071-2	NH	– 117,0 г	-	-	– 2,7	280–290	4,5	0-60-40	90	0,7
C-22-1-89.6	NH	– 114,0 к	-	-	– 2,2	250–290	3,8	0-75-25	90	0,7
C-22-1-100.2	NH	– 121,0 г	-	-	– 3,4	300–310	5,5	0-73-27	80	0,8
C-22-1-141.5	NH	– 121,0 к	-	-	– 2,7	280–305	4,5	0-60-40	85	0,8
C-22-1-134.7	NH (1)	– 87,6 ж	-	-	– 2,2	275–300	3,8	0-12-88	80	0,8
	NH (2)	– 89,9 ж	-	-				0-14-86	80	0,8
	HNC	– 85,0 ж	– 93,0	-	– 5,5	270–280	8,5	10-35-55	70	1,0
Северо-западный участок рудного поля										
2048-5	NH	– 106,0 г	-	-	– 4,5	260–290	7,2	0-45-55	90	0,7
2001-5	NH	– 101,0 к	-	-	– 3,2	255-275	5,3	0-43-57	80	0,8
	HNC	– 101,0 ж	– 91,0	-	– 5,5	270–290	8,5	5-25-70	70	1,0
2060-3	CHN (1)	– 113,7 г	– 61,0	– 24,3 к	– 4,8	290–340	7,5	48-22-30	71	1.1–1.0
	CHN (2)	– 103,0 г	– 61,3	– 41,0 г				48-20-32	69	
	CHN (3)	– 104,2 г	– 61,0	– 21,7 г				47-24-28	70	

Примечания. Типы газовых флюидных включений (ФВ): CHN – первичные азот-метан-углекислотные, HNC – первичные углекислотно-азот-метановые, NH – первичные азот-метановые. Измеренные температуры фазовых переходов, °C: $T_{гом.}$ (CH_4 + N_2) – гомогенизации азот-метановой смеси в жидкую (ж), газовую (г) или критическую (к) фазу; $T_{пл.}$ CO_2 – плавления углекислоты, $T_{гом.}$ C – гомогенизации флюида CO_2 + N_2 + CH_4 в газовую фазу (г), (к) – в критическую фазу. V – мольный объем включения, $T_{пл}$ льда – температура плавления льда (* – разложения газогидрата). C – концентрация солей в водном растворе (в мас. % NaCl-экв), определена по температуре плавления льда [8]. $T_{гом.}$ ГЖВ – температуры гомогенизации (путем растворения газов в воде) газово-жидких включений, ассоциирующих с газовыми. P, кбар – давление при минералообразовании. В каждой строке представлены усредненные данные анализа 5–10 индивидуальных вакуолей, принадлежащих к одной группе сингенетичных включений.

В ходе термобарогеохимических исследований в прозрачно-полированных пластинах из кварца были обнаружены флюидные включения трех типов, представленные ассоциациями сингенетичных газовых и газово-жидких включений, захваченных из гетерогенной (кипящей) среды. Поэтому температура гомогенизации водных газово-жидких включений близко соответствует температуре их захвата [6]. Исследования флюидных включений проводились методами микротермометрии и КР-спектроскопии. Определение составов газовых включений проводилось по методике [2]. Давление оценивалось по плотности газовых включений и температуре их захвата [7].

Первичные включения типа «CHN» (таблица; рисунок) в кварце первой генерации соответствуют дорудному контактово-метаморфическому этапу. Газовые включения данного типа имеют азот-метан-углекислотный состав. Включения водных растворов типа «CHN» имеют соленость 7,5 мас. % NaCl-экв. и гомогенизируются при 290–340 °С. Разложение газогидратов не наблюдается, однако по данным КР-спектроскопии в жидкой и газовой фазах включений отмечаются растворенная углекислота и метан. Давление при минералообразовании составляло 1,0–1,1 кбар, что соответствует глубинам ~ 4 км от палеоповерхности.

Тип «HNC» представлен первичными включениями в кварце второй генерации, который сопровождается арсенопиритовой минерализацией (ранняя стадия гидротермально-метасоматического этапа). Газовые включения имеют углекислотно-азотно-метановый состав (см. таблицу). В водных газово-жидких включениях данного типа часто присутствуют частицы углеродистого вещества – антраксолита (см. рисунок), что подтверждается КР-спектроскопией. Соленость составляет 8,5 мас. % NaCl-экв., температура захвата 270–290 °С. Давление при минералообразовании – 1,0 кбар, что соответствует глубинам ~ 4 км от палеоповерхности.

Первичные включения типа «NH» обнаружены в кварце третьей генерации, ассоциирующем с шеелитом (образец С-22-1-100.2), а кроме того, широко распространены в более раннем кварце в виде вторичных включений. Предположительно могут быть связаны с золотой и висмутовой минерализацией (поздняя стадия гидротермально-метасоматического этапа). В составе газовых включений находятся метан и азот в различных соотношениях (см. таблицу, рисунок). Включения водных растворов имеют соленость 3,8–7,2 мас. % NaCl-экв. и температуры захвата 250–305 °С. В единичном случае наблюдалось разложение газогидрата при температуре + 13,5 °С, что указывает на присутствие метана. Это подтверждается КР-спектроскопией, при помощи которой определены растворенный метан и азот. Давление при минералообразовании составило 0,7–0,8 кбар, что соответствует палеоглубинам ~ 3 км от палеоповерхности.

Заключение. По термобарогеохимическим характеристикам Ченкеленьинское рудное поле близко соответствует Право-Туостахской рудной зоне, расположенной в северо-западном окончании Главного батолитового пояса Яно-Колымского орогена. Золотоносная арсенопиритовая минерализация в этом объекте также сопровождается включениями в кварце типа «HNC» [1].

Включения восстановленных флюидов, содержащих CH_4 в газовой фазе в качестве доминирующего компонента, а также N_2 и CO_2 не характерны для золото-кварцевого оруденения Яно-Колымского пояса [4]. Гетерогенные рудообразующие флюиды такого состава, глубины минералообразования 3–4 км и умеренные температуры ~ 300 °С оптимальны для формирования значительного по масштабам золото-сульфидного оруденения [3].

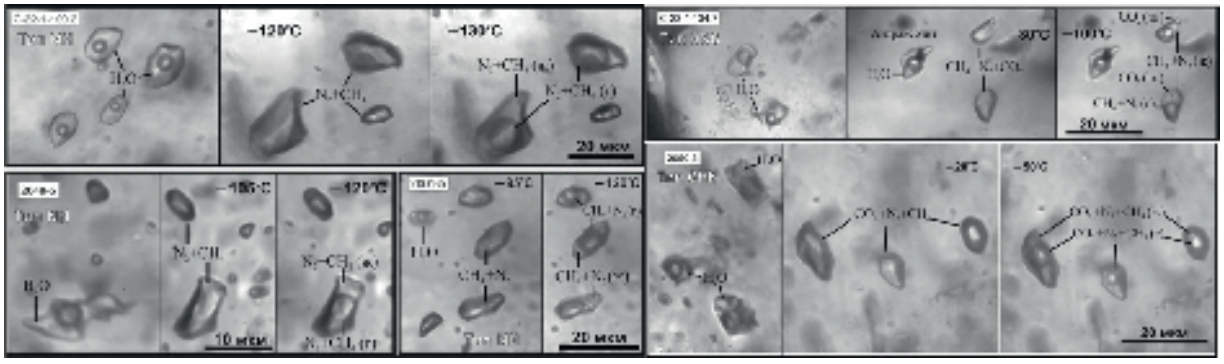


Рис. 1. Флюидные включения в кварце Ченкеленьинского рудного поля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Берковский Е. М., Бондаренко Н. В., Окулов А. В., Герасимова В. Н. Физико-химические условия формирования золото-сульфидной минерализации Право-Туостахской рудной зоны (Якутия) / Материалы годичного собрания РМО. – Апатиты : ФИЦ КНЦ РАН, 2024. – С. 116–117.
2. Берковский Е. М., Кряжев С. Г. Определение состава и плотности флюида в системе CO_2-CH_4-N_2 методами криометрии и КР-спектроскопии / Тезисы докладов XIX Всерос. конференции по термобарогеохимии. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2022. – С. 13–14.
3. Кряжев С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах : автореф. дисс. на соискание учен. степени доктора геол.-минер. наук. Специальность: 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения. – М. : ЦНИГРИ, 2017. – 52 с.
4. Кряжев С. Г., Фридовский В. Ю. Флюидный режим формирования орогенных золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 118–130.
5. Лейбгам П. Н., Беговатов С. С., Бондаренко Н. В. Минералогическая характеристика вмещающих пород и руд Ченкеленьинского рудного поля (Республика Саха (Якутия)) / Тезисы докладов XII Российской молодежной научно-практической Школы. – М. : ИГЕМ РАН, 2023. – С. 119–121.
6. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. Т. 1. – М. : Мир, 1987. – 560 с.
7. Bakker R. J. Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusions data and for modeling bulk fluid properties // Chemical Geology. – 2003. – Vol. 194. – P. 3–23.
8. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H2O-NaCl fluid inclusions / Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications. – Blacksburg : Virginia Tech, 1994. – P. 117–130.

Божко Н. А. (bohko@yandex.ru)
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

К ВОПРОСУ О НАПРАВЛЕННОСТИ В ЭВОЛЮЦИИ АЛМАЗОНОСНОГО МАГМАТИЗМА

Рассматриваются возможные факторы направленности в эволюции алмазоносного магматизма.

Ключевые слова: увеличение магматизма. кимберлиты, охлаждение мантии, суперконтинентальная термоизоляция.

Глобальная эволюция алмазоносного магматизма в истории Земли характеризуется цикличностью и направленностью [1]. Пульсационная цикличность обусловлена различной предрасположенностью фаз суперконтинентального цикла проявлениям такого магматизма и происходит на фоне отчетливо выраженного общего скачкообразного увеличения алмазоносного магматизма во времени от редких проявлений в докембрии до расцвета в мезокайнозое. Около 95 % датированных кимберлитов оказываются моложе 750 млн лет. Это же относится и к развитию во времени промышленных коренных месторождений алмазов. Первое значительное из них – Премьер в Южной Африке с возрастом около 1200 млн лет. Число промышленных месторождений алмазов резко возрастает в течение всего фанерозоя начиная с кембрия, особенно после 250 млн лет до эоцена 75–45 млн лет.

В качестве объяснений указанной тенденции следует исключить эрозию и денудацию древних кимберлитов и лампроитов или их захоронение под молодыми породами и предположения о якобы отсутствии мощной литосферы или о меньшей активности мантийных плюмов и в прошлом.

Более убедительным представляется подход, связывающий увеличение алмазоносного магматизма во времени с развитием тектоники литосферных плит, происходящее на фоне падения

теплового потока Земли. Установлено, что температура мантии понизилась с архея на 150–250 °С [3]. Охлаждение мантии создавало благоприятные геодинамические и петрологические условия для проявления кимберлитового магматизма и прежде всего вызвало наступление холодной субдукции привело к проникновению слеба в нужные более глубокие горизонты мантии, что обусловило ее глубинное, богатое летучими веществами плавление. Этот процесс обстоятельно разобран в работе С. Таппе с соавторами [4].

Н. Л. Добрецов [2] отмечает появление начиная с 750 млн лет высокобарических вплоть до алмазосодержащих пород, содержащих коэсит, что означает, что на той же глубине породы становились все более холодными (*Т* снизилась от 1000 до 400–600 °С).

Другим фактором, способствовавшим данной тенденции, могло быть также прогрессирующее во времени увеличение площади континентальной коры и в связи с термоизоляцией мантии, создаваемой суперконтинентом.

Явление континентальной термоизоляции, впервые обозначенной Д. Андерсоном и подтвержденное другими исследованиями, состоит в том, что континентальная литосфера значительно больше препятствует потере тепла из недр Земли по сравнению с океанической и оказывает влияние на нижележащую мантию, повышая ее температуру и вызывая термальные апвеллинги. Образование суперконтинента значительной площади вызывает появление термального «одеяла», что приводит к нагреву мантии, провоцируя образование плюмов, которые начинают образовываться под суперконтинентом через 50–100 млн лет после его формирования. Очевидно, что общее увеличение площади суперконтинентальной территории вызывает и увеличение теплового экрана, провоцирующего образование плюмов, а следовательно, и их общего количества плюмов. Определенную роль играет также фактор общего увеличения во времени площади суперконтинентов, особенно после 1000 млн лет. Представляется важным то обстоятельство, что данное явление совпало со временем образования и распада суперконтинента Родиния, когда обособились Гондваны и Лавразия – мегаконтиненты несоизмеримо более значительного размера по сравнению с континентами предыдущих циклов.

В затронутой теме заслуживает внимания и требует объяснения также следующее обстоятельство. Очевидно, что за период в 50 млн лет назад от сегодняшнего дня произошло извержение гораздо меньшего количества кимберлитов по сравнению с поразительным мезозойско-кайнозойским их «цветением» в период между 200 и 50 млн лет. Можно предположить, что отсутствие существенных проявлений в это время может быть связано с исчерпанием резерва продуктивных плюмов, накопленных в предыдущие фазы суперконтинентального цикла, учитывая, что, по имеющимся данным, алмазоносный магматизм обычно не распространяется на всю продолжительность фазы сборки, затухая за несколько десятков млн лет до ее окончания и формирования новых суперконтинентов. В стадию существования слитного суперконтинента происходит создание условий для образования плюмов, в основном за счет формирования теплового экрана, которые начинают реализовываться в фазу деструкции, достигая кульминации в фазы распада и первой половины фазы сборки, постепенно иссякая к концу СЦ. Другое объяснение может заключаться в значительном изменении условий алмазоносного магматизма. Некоторые геологи полагают, что эра крупных алмазов закончилась, и Земля больше не формирует драгоценные камни. Как бы то ни было, означенная проблема остается актуальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божко Н. А. Направленность и цикличность в эволюции алмазоносного магматизма // Сборник тезисов докладов «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2019. – С. 8–9.
2. Добрецов Н. Л. Глобальная геодинамическая эволюция земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 6. – С. 761–784.
3. Herzberg C., Condie K., and Korenaga J., Thermal history of the Earth and its petrological expression // Earth and Planetary Science Letters. – 2010. – V. 292. – P. 79–88.
4. Tappe Sebastian, Smart Katie, Torsvik Trond, Massuyeaua Malcolm, deWit Mike. Geodynamics of kimberlites on a cooling Earth: Clues to plate tectonic evolution and deep volatile cycles // Earth and Planetary Science Letters. – 2018. – V. 484. – P. 1–14.

Боллиев Ш. Т. (turmalin006@gmail.com),
Тухтаев А. О. (abdullatoxtayev65@gmail.com),
Рахимов Н. И. (bekleon7777@gmail.com)
ГУ «ИМР», г. Ташкент

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУДНЫХ ТЕЛ ТАУШАНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРЫ КУЛЬДЖУКТАУ)

Таушанское золоторудное месторождение сформировалось в центральной водораздельной части поднятия Кульджуктау под воздействием экзогенных процессов. Золото обнаруживается в коре выветривания, однако его содержание относительно невысокое. Вторичное оруденение преимущественно локализуется в кварцевых жилах. Рудные тела по форме залегания характеризуются штокверковым типом минерализации.

Ключевые слова: Кульджуктау, Таушан, колломорфная, микрозернистая, гипидиоморфнозернистая, изометрично-зернистая, аллотриоморфнозернистая, пластинчатая, чешуйчатая, дендритовая, брекчиевидная структура руд.

Месторождение Таушан с примыкающим к нему с севера рудопроявлением Перевальное расположено в центральной приводораздельной части поднятия Кульджуктау в 2,5 км восточнее Актостинского интрузива [1].

В геологическом строении участка Таушан принимают участие метаморфизованные терригенные, осадочные образования и прорывающие их магматические тела. Также отмечаются вулканогенные образования преимущественно основного состава. Выделены основные типы широко распространенных пород, даны их минералого-петрографические характеристики. Наибольший интерес представляют породы основного состава и кварцевые жилы, несущие в себе рудную минерализацию. В основном отобранные горные породы имеют окисленный характер, но тем не менее по результатам масс-спектрометрического анализа удалось уловить значимые результаты по содержанию редких, редкоземельных и благородных элементов [2].

Минерализованные зоны представлены зонами дробления и окварцевания. На поверхности они содержат гётит-гидрогетит, развивающийся по трещинам в породах и отдельно в виде гнезд и вкрапленностей. В кварце из зоны окисления встречаются реликты пирита: в трещиноватой кварцевой породе изредка встречаются вкрапленные микрозерна пирита и арсенопирита размером не более 0,01 мм, форма зерен неправильная полигональная. В зонах дробления руды представляют собой брекчию с выделениями лейкоксена и гидроокислов железа. Микрозерна пирита образуют небольшие скопления, размером в первые мм. Их форма полигональная. Структура руд колломорфная, микрозернистая, гипидиоморфнозернистая; текстура – вкрапленная с редкими прожилками гидроокислов железа [2].

Выделения гидрогематита микрозернистые, пористые, часто неоднородные. Гидрогематит в шлифе слагают прожилки по трещинам пород, сложенные сплошными пористыми, петельчатыми массами. Внутренние рефлексы достаточно слабые для гидроокислов железа, но отчетливые для гидрогематита – красного цвета.

В нижних горизонтах рудные минералы представлены в основном пиритом, арсенопиритом, реже халькопиритом. Содержание сульфидов в породе достигает 2–3 %, ассоциирует в основном с кварцем, карбонатами, полевым шпатом (в прожилках). Гнёзда пирита тяготеют к прожилкам и гнёздам кварца, иногда сопровождаются келифитовыми каёмками халцедона-кварца. Их поперечник достигает 1 мм.

Золоторудная минерализация на месторождении представлена самородным золотом с незначительной примесью серебра, встречается электрум и медистое золото. Самородное золото находится в свободной форме, в основном в кварц-серицитовых агрегатах, реже хлорите и кальците, а также в продуктах окисления – сульфидо-гидрооксидах железа, сульфатах (ярозит) и арсенатах железа (минералы из группы скородита-арсеносидерита и др.). Часть золота связана с сульфидами (пиритом и арсенопиритом), количество которых в оруденелых породах не-большое (не более 1–3 %). Причем золото находится в сульфидах как в свободной форме (видимое), так и в связанной (невидимое).

Структурные и текстурные особенности руд на месторождениях характеризуются многообразием их проявлений. Выделяются следующие структуры: изометрично-зернистая, аллотриоморфнозернистая, пластинчатая, чешуйчатая, дендритовая, брекчиевидная [2].

Характерные особенности отложения золоторудной минерализации с преимущественным вхождением самородного золота в породах в виде свободной формы, мелкие размеры и формы выделений золота, текстурно-структурные особенности руд являются благоприятными для проведения процесса кучного выщелачивания на месторождениях.

В результате статистических исследований установлено, что на золоторудном месторождении Таушан с геохимической точки зрения вторичное оруденение связано с элементами Ba, W, Mo, Re, Zr, Ag, Au, Cd, As, Se, Te, Sb, Bi и U. Сильная корреляция золота с такими элементами, как As (мышьяк), Bi (висмут), Te (теллур), привела к формированию минеральных ассоциаций золото-редкометалльно-кварцевого, золото-кварц-висмутового и редкого золото-кварц-теллурового типов. На основе выявленных данных в качестве основных геохимических индикаторов на месторождении Таушан можно выделить следующие элементы: As, Bi, Te, Sb, Zn, Se, Mo, W.

Таким образом, Таушанское золотое месторождение образовалось в результате вулканогенно-гидротермальных процессов, что подтверждается его проявлениями в нескольких ассоциациях [4]. В районе Таушанского месторождения первичное и вторичное оруденение характеризуются различными особенностями размещения. Приповерхностные части месторождения подверглись сильным процессам окисления, что свидетельствует о резко континентальном климате данного региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амиров Э. М., Мойлиев М. Ш., Юсупов А. Б., Садиров Р. М. Минералогическо-петрографическая характеристика рудовмещающих пород Таушанского месторождения (горы Кулджуктау). – 2022. – С. 43–47.
2. Информационный отчет «Минералого-петрографическое, аналитическое изучение руд и околорудных пород месторождения Таушан и рудопроявления Перевальное» 2018–2020 гг. Руководитель темы М. С. Карабаев. – 2021.
3. Окончательный отчет «Минералого-петрографические исследования на Таушанской перспективной площади в горах Кульджуктау» за 2017–2020 гг.
4. Смирнов С. З., Кулик Н. А., Литасов Ю. Д., Вишневский А. В., Страховенко В. Д. Основные понятия минералогии и процессы минералообразования: Учеб. пособие. – Новосибирск : РИЦ НГУ, 2015. – 167 с.

Борисов В. В. (vabo@search-centric.ru), Мадьяров Э. И. (elma@search-centric.ru)
ООО «Серч Сентрик», г. Москва

РЕАЛИЗАЦИЯ RAG В MEMOZA. ВОЗМОЖНОСТИ, ПРАКТИКА, ГОРИЗОНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Подход retrieval-augmented generation (RAG) играет ключевую роль в эксплуатации больших языковых моделей (БЯМ), обеспечивая доступ к актуальной и достоверной информации. RAG использует доверенные источники данных, комбинируя механизмы поиска (retrieval) и генерации (generation). Это снижает риск галлюцинаций модели, повышает точность ответов и позволяет интегрировать знания из динамически обновляемых баз данных. Интеграция с БЯМ на основе RAG с ПО Memoza дает возможность сочетать точный корпоративный поиск по архивам неструктурированных документов о недропользовании с генерацией контекстно обогащённых ответов. Это позволяет не только давать чёткие, обоснованные ответы на сложные вопросы, но и извлекать релевантные структурированные данные из корпоративных архивов документов и обогащать документы структурированными аннотациями.

Ключевые слова: RAG, БЯМ, LLM, поиск по ключевым словам, векторный поиск, генерация, prompt, структурированные данные, неструктурированные данные, паспортизация, NER, Memoza.

Компании, занятые в разведке и добыче полезных ископаемых, в ходе своей деятельности накапливают существенные объемы неструктурированных данных в файлах. Файлы хранятся во множестве различных прикладных систем, в разных форматах, представляют собой отчеты и документацию как в текстовых форматах, так и в виде сканированных образов. Сотрудники, в чьи обязанности входит анализ таких данных, тратят до половины своего рабочего времени на поиск нужных файлов и установление их актуальности и достоверности. Изучение файлов также затруднено, так как документы нужно часто читать целиком для поиска нужной информации.

Memoza – это платформа, позволяющая в первую очередь обеспечить быстрый поиск и доступ к большой номенклатуре структурированных и неструктурированных данных в разных источниках через единое окно. Содержимое, извлекаемое из текстовых и графических документов посредством оптического распознавания текста (OCR), хранится в виде полнотекстовых и векторных индексов на кластере Elasticsearch. С развитием БЯМ стала реализуемой задача взаимодействия с этими данными не только через полнотекстовый и векторный поиск, но и через интерфейс типа вопрос-ответ в режиме диалога.

С этой целью мы реализовали модуль Memoza LLM на принципах RAG. Принцип реализации и работы модуля приведен на рисунке.

Пользователь выбирает или формулирует запрос (prompt) на естественном языке и ограничивает объем информации, по которой будет произведен поиск, одним документом или произвольной группой документов по источнику или пути расположения на диске. Запросы можно совершенствовать и сохранять в библиотеке, с тем чтобы воспользоваться ими снова. Запрос используется модулем поиска и извлечения контекста, чтобы подобрать актуальные документы и фрагменты документов путем полнотекстового и векторного поиска и передать их в модуль генерации. Этот модуль, в зависимости от используемой модели и размера контекстного окна, либо передает фрагменты в модель, снабжая их дополнительными расширенными инструкциями и историей чата при необходимости, либо делит фрагменты на части по размеру контекстного окна модели, получает ответ от БЯМ по каждой из частей и снова передает накопленную информацию в БЯМ, чтобы получить окончательный ответ по совокупности всех частей. Ответ модели с соответствующим форматированием, предусмотренным исходным запросом, возвращается пользователю.

Языковая модель может располагаться как на облачном ресурсе, так и локально в контуре безопасности компании. Используются модели, свободно распространяемые с лицензией Apache 2.0. Дообучение моделей не проводится.

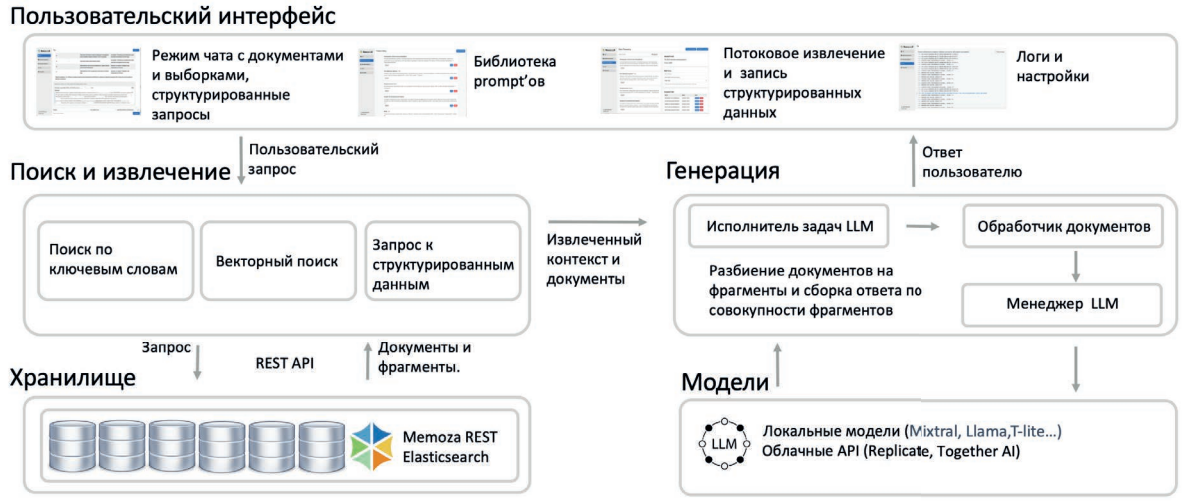


Рисунок. Реализация RAG в Memoza

Запросы пользователя могут быть очень разнообразными. Вот несколько примеров:

• *В предложенном тексте о геолого-геофизической изученности, представь информацию о проведении работ в виде таблицы со следующими полями: 1. Номер работы по порядку, начиная с 1. 2. Сроки проведения работ 3. Наименование организации, выполнившей работы. 4. Виды работ. 5. Масштаб. 6. Основные результаты проведенных работ. Каждую работу выдели в отдельную строку таблицы. Результаты представь на русском языке в виде HTML.*

• *Основываясь на предложенном тексте сделай краткий (очень краткий, один-два параграфа) вывод об осложнениях бурения, связанных с геологическими особенностями (например, зоны избыточного давления). Давай выводы и факты, основываясь только на предложенном тексте, а не на общих знаниях.*

• *На основе предоставленного документа сравни геологические особенности, описанные для этого месторождения, с более широкой региональной геологией Западной Сибири.*

• *Выведи в хронологическом порядке все обязательства, возникающие у недропользователя в рамках данного лицензионного договора. Результат представь в виде таблицы с колонками: Порядковый номер, Обязательство, Объект недропользования в отношении которого действует обязательство, Срок исполнения.*

• *Именованная сущность – это название объекта определённого типа, например, площадь, скважина, страна, месторождение, поднятие, лицензионный участок. Сущности других именованных типов выделять не надо. В предложенном тексте извлеки все именованные сущности и представь виде HTML-таблицы с полями: 1. Тип именованной сущности (например, скважина, страна, месторождение и так далее). 2. Название именованной сущности. Кроме указанной таблицы не выводи никакого текста.*

Из последнего запроса становится видно, что Memoza LLM можно использовать для автоматической паспортизации неструктурированных документов. С этой целью реализован модуль массовой обработки, который позволяет выполнять такие запросы в автоматическом режиме для произвольной выборки документов и сохранить результаты исполнения как в csv-файл, так и непосредственно в полнотекстовый индекс Memoza в виде аннотаций к каждому из документов. Аннотации, в свою очередь, используются внутренними механизмами Memoza для дальнейшего обогащения документа – например, его географической привязки.

Функциональность RAG в Memoza позволяет работать и со структурированными данными, когда пользователь на естественном языке формулирует, какие данные следует запросить из индексов Memoza и каким образом их обработать. Например, с помощью таких промптов можно прямо в чате Memoza LLM построить графики:

• *Запроси структурированные данные, только полей «prod:oil_start_debit», «prod:initial_watercut», «prod:net_pay». Построй bubble chart по параметрам полученных документов, радиус круга должен определяться через «prod:net_pay».*

• *Запроси структурированные данные, только поля «prod:oil_start_debit», «prod:initial_watercut». Построй графики плотности распределения по параметрам полученных документов, не более 10 интервалов значений.*

Перспективы использования и развития инструмента довольно широки. Эволюция БЯМ, в том числе и свободно распространяемых, идет семимильными шагами, и качество и скорость работы Memoza LLM возрастает с каждой новой моделью. Развитие мультимодальных моделей скоро позволит передавать модели не только текст, но и графические изображения и получать в ответ структурированные данные и даже новые изображения, сгенерированные моделью. Функциональность по работе со структурированными данными позволит следующим шагом перейти к использованию ИИ-агентов, которые могут выполнять многоступенчатые инструкции при обработке данных и выполнению различных действий. Наиболее востребованной автоматизацией такого рода является выгрузка данных из Memoza с последующей загрузкой в другие системы через API этих систем.

Memoza LLM в ее нынешнем исполнении доступна для регистрации и тестирования по адресу https://search-centric.com/monline. Вы можете опробовать модуль как на имеющихся в системе открытых документах, так и на собственных документах, которые можно загрузить в систему. В качестве БЯМ в демо-системе используется модель Llama-3-70b на ресурсе Replicate.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Retrieval-augmented generation. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Retrieval-augmented_generation
2. Борисов В. В., Вахрушев А. М., Юон Е. М., Сысоев В. С. Оптимизация доступа к публичным данным по недропользованию на территории Российской Федерации // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», ФГБУ «ЦНИГРИ», 12.04.2024.
3. Борисов В. В., Ратьков С. С., Юсуфов Б. С. Возможности по обеспечению контроля качества исторических цифровых геолого-геофизических данных // Материалы XII международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», ФГБУ «ЦНИГРИ», 15.04.2023.
4. Борисов В. В., Ратьков С. С., Юсуфов Б. С. Интеграция геолого-геофизических данных в единое геоинформационное пространство // Труды конференции «Актуальные проблемы поисковой геологии», ФГБУ «ВИМС», 22.11.2022.
5. 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», ФГБУ «ЦНИГРИ», 15.04.2022.

Васильев В. И. [1] (geovladi@ginst.ru), Дамдинов Б. Б. [2] (damdinov@tsnigri.ru), Васильева Е. В. [1] (geojenny@mail.ru)
[1] ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ; [2] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТАИНСКОГО ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН, РОССИЯ)

Комплексное компьютерное моделирование показало полигенный и полихронный генезис трех типов оруденения. Прожилково-вкрапленный тип был сформирован поднимающимся магматическим флюидом на реолого-геохимическом барьере при внедрении гранитоидного штока в условиях островной дуги около 850 млн лет назад. Кварц-пирротиновое оруденение явилось результатом деятельности надсубдукционных магматогенно-гидротермальных систем в период ~ 805–650 млн лет назад. Кварцево-жильный тип руд сформировался в палеозойское время в процессе деятельности долгоживущих эпитермальных систем на стадии орогенеза. Полученные парагенезисы соответствуют природным и коррелируются с геодинамическими обстановками.

Ключевые слова: комплексное компьютерное моделирование, золотое оруденение, Таинское месторождение.

Таинское золото-медно-порфировое месторождение расположено в юго-восточной части Восточного Саяна (52°07′39″ с. ш., 101°25′04″ в. д.) и интересно пространственным совмещением трех типов оруденения: прожилково-вкрапленного, кварц-пирротинового и кварцево-жильного [9, 5]. Все они локализованы в штоке гранитоидов завершающей магматической и раннещелочной постмагматической стадии, прорывающих гипербазитовые пластины офиолитового комплекса и отвечающих по составу гранитоидам островодужного типа [7]. Таинский гранитоидный шток и офиолиты входят в состав единой аллохтонной пластины, надвинутой на породные комплексы Тувино-Монгольского микроконтинента – архейские гранитогнейсы фундамента и неопротерозойские терригенно-карбонатные отложения чехла [11].

На основе расчетных данных, полученных с помощью программного комплекса «Селектор-С» [10], предложена модель полигенного полихронного генезиса месторождения в три этапа, каждому из которых соответствует свой тип оруденения. Численное моделирование проводилось по методике комплексного компьютерного моделирования геологических объектов

[3]. Физическая схема модели соответствовала принятой в [8] с учетом реологического барьера, по [13]. Двумерная вертикальная модельная область 16 × 41 км с 1-километровой квадратной сеткой включала андезитовую магматическую, гранитоидную, гипербазитовую и осадочную (терригенно-карбонатную) зоны. Фиксированными температурными точками являлись 800 °С для магматического очага и 20 °С – для поверхности.

Исходные составы зон и поверхностного флюида, а также петро- и теплофизические параметры принимались справочные. Состав магматического флюида рассчитывался из равновесия чистой воды со справочным андезитобазальтом при 800 °С и 4,5 кбар. На динамическом этапе моделирования рассматривались три последовательных сценария переноса флюида: подъем из магматического очага через пластично-хрупкий переход, конвективная ячейка «гипербазит (вниз) – гранитоид (вверх)», конвективная ячейка «осадки (вниз) – гранитоид (вверх)». Два последних сценария усложнялись привносом соответствующего глубинного флюида в нижнюю точку ячейки. Полученные в ходе моделирования минеральные парагенезисы практически полностью соответствуют природным.

На первом этапе гранитоидный шток, являющийся кислым дифференциатом глубинного базит-андезитового интрузива, в обстановке древней островной дуги внедрился в гипербазитовую пластину. Это произошло на второй стадии (860–800 млн лет назад) формирования покровно-складчатой структуры в пределах юго-восточной части Восточного Саяна (по палеогеодинамической реконструкции и периодизации И. В. Гордиенко [4]) при перестройке активной континентальной окраины Сибирского континента и обдукции Дунжугурской островной дуги на Гарганский микроконтинент.

Отделяющийся от глубинного очага магматический флюид, поднимаясь в пластичной среде по механизму, предложенному в [6, 2], преодолевает два физико-химических барьера. Первый барьер геохимический – это смена базитовой среды при ~ 800 °С и ~ 4,5 кбар на гранитоидную при ~ 490 °С и ~ 3,2 кбар. Второй – реологический при ~ 490 °С: переход из зоны пластических деформаций в хрупкую зону с падением давления на флюид от лито- до гидростатического (~ от 3,2 до 0,8 кбар). Декомпрессионный переход флюида из надкритического состояния в двухфазное осаждает рудные компоненты, формируя в штоке прожилково-вкрапленный тип оруденения. Формы осаждения компонентов при этом контролируются геохимическим барьером. Возраст рудовмещающих гранитоидов подтвержден изотопным датированием [11], показавшим для циркона и роговой обманки 853,0 ± 5,0 и 855,8 ± 5,1 млн лет соответственно.

Второй этап оруденения связан с активной гидротермальной деятельностью в Сархойской островодужной системе в период 805–650 млн лет [5] на третьей геодинамической стадии, когда закрываются краевые спрединговые бассейны и происходит заложение новых зон субдукции, пологопадающих под Гарганский микроконтинент [4]. Флюиды и расплавы, возникающие при дегидратации субдуцирующей океанической плиты, катализируют вулканическую деятельность, продуктом которой являются породы известково-щелочной сархойской свиты базальт-андезит-риолитового ряда с возрастом 782 ± 7 млн лет [5]. Плавление нижней коры приводит к образованию надсубдукционных периферических очагов гранитоидного состава, при внедрении которых образовались интрузивные тела сумсунурского комплекса с возрастом 785 ± 11 млн лет [4].

Эти очаги генерируют магматогенно-гидротермальную систему (МГС), в которой происходит переотложение части первичных рудных компонентов с привносом компонентов вторичного надсубдукционного флюида. Гипергенные растворы в нисходящей ветви конвективной ячеи МГС взаимодействуют с гипербазитами древнего офиолитового комплекса в интервале температур ~ 60–300 °С и давлений ~ 0,2–0,7 кбар, затем смешиваются с горячим надсубдукционным флюидом (> 450 °С) и в восходящей ветви гранитоидного штока (~ 450–50 °С, ~ 0,8–0,1 кбар) формируют гидротермальные кварц-мусковит-пирротиновые жилы. Максимальное их развитие соответствует условиям ~ 270 °С и ~ 0,6 кбар. Возраст древней МГС подтверждается изотопным датированием измененных гранитоидов Таинского штока, показавшим значения 670 ± 20 млн лет [5]. В это же время в задуговом бассейне формируется терригенно-карбонатная толща, которая также может захватываться рудообразующей МГС.

Третий этап характеризуется долгоживущей эпитермальной МГС, действовавшей после окончания коллизии Сархойской островной дуги с Тувино-Монгольским микроконтинентом

(647,3 ± 3,1 млн лет назад, по [5]). Рудообразующая деятельность МГС в палеозойское время трудно поддается периодизации, так как, по-видимому, имело место неоднократное переотложение и концентрация рудных компонентов, что отражается, во-первых, в вариациях пробности золота от высокопробного (855–996‰) до электрума и кюстелита, во-вторых, в ассоциациях самородного золота и серебра с теллуридами висмута, свинца, серебра и аргентитом. Тем не менее значения изотопного возраста, по [5], позволяют выделить тектоно-термальные события на рубежах ~ 435, 339–333 и 280–223 млн лет.

Эпитермальные гипергенные потоки в обобщенной нисходящей ветви МГС на этом этапе охватывали преимущественно терригенно-карбонатную толщу (включая углеродисто-карбонатно-терригенные отложения иркутной свиты и осадочно-вулканогенные черные сланцы ильчирской толщи) и возможно на поздней стадии осадочные отложения сагансайрской свиты [1, 9]. В восходящей ветви гранитоидного штока при температурах ~ 380–160 °С и давлениях ~ 0,8–0,3 кбар формировался кварцево-жильный тип оруденения.

Работа выполнена в рамках темы госзадания (рег. № АААА-А21-121011390003-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутов Ю. П., Минина О. Р., Неберикутина Л. Н., Трегуб Т. Ф., Катюха Ю. П. Сагансайрская свита – эталон позднепалеозойско-мезозойской молассы бурятского Восточного Саяна // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2001. – №12. – С. 87–101.
2. Васильев В. И., Васильева Е. В., Жатнуев Н. С., Санжиев Г. Д. Параметры образования и эволюции мантийно-корового мигранта // Геоинформатика. – 2019. – № 2. – С. 34–42.
3. Васильев В. И., Чудненко К. В., Жатнуев Н. С., Васильева Е. В. Комплексное компьютерное моделирование геологических объектов на примере разреза зоны субдукции // Геоинформатика. – 2009. – № 3. – С. 15–30.
4. Гордиенко И. В., Рощектаев П. А., Гороховский Д. В. Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. – 2016. – Т. 58, № 5. – С. 405–429.
5. Дамдинов Б. Б., Жмодик С. М., Хубанов В. Б., Миронов А. Г., Травин А. В., Дамдинова Л. Б. Возраст и обстановки формирования неопротерозойских золотоносных гранитоидов Восточного Саяна // Геотектоника. – 2020. – № 3. – С. 82–93.
6. Жатнуев Н.С. Трещинные флюидные системы в зоне пластических деформаций // Доклады РАН. – 2005. – Т. 404, № 3. – С.380–384.
7. Жмодик С. М., Миронов А. Г., Жмодик А. С. Золото-концентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). – Н. : ГЕО, 2008. – 304 с.
8. Карпов И. К., Чудненко К. В., Кравцова Р. Г., Бычинский В. А. Имитационное моделирование физико-химических процессов растворения, переноса и отложения золота в эпитермальных золотосеребряных месторождениях Северо-Востока России // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 3. – С. 393–408.
9. Миронов А. Г., Жмодик С. М., Очиров Ю. Ч., Боровиков А. А., Попов В. Д. Таинское золоторудное месторождение (Восточный Саян, Россия) – редкий тип золото-порфировой формации // Геология рудных месторождений. – 2001. – Т. 43, № 5. – С. 395–413.
10. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Н. : ГЕО, 2010. – 287 с.
11. Damdinov B. B., Huang X.-W., Goryachev N. A., Zhmodik S. M., Mironov A. G., Damdinova L. B., Khubanov V. B., Reutsky V. N., Yudin D. S., Travin A. V., Posokhov V. F. Intrusion-hosted gold deposits of the southeastern East Sayan (northern Central Asian Orogenic Belt, Russia) // Ore Geology Reviews. – 2021. – V. 139, Part. B. – 104541. – DOI: 10.1016/j.oregeorev.2021.104541.
12. Kuzmichev A. B., Larionov A. N. The Sarkhoi Group in East Sayan: Neoproterozoic (~ 770–800 Ma) volcanic belt of the Andean type // Russian Geology and Geophysics. – 2011. – 52(7). – 685–700. – DOI: 10.1016/j.rgg.2011.06.001.
13. Zhatnuev N. S., Rychagov S. N., Vasil'ev V. I., Vasil'eva E. V. The Influence of Rheologic Crustal Properties of the Crust on the Location of Ore-Forming Hydrothermal Magmatic Systems // J. Volcanology and Seismology. – 2012. – 6(3). – 184–196. – DOI: 10.1134/S0742046312030062.

Васильев В. И. (geovladi@ginst.ru), Васильева Е. В. (geojenny@mail.ru)
ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ ЛИТОСФЕРЫ И ПЕРВИЧНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

Рассмотрена возможность отложения рудных компонентов из вещества мантийно-коровых мигрантов на реологических барьерах смены пластичных деформаций хрупкими и повышения прочности среды различной природы. Механизмы формирования отложений проиллюстрированы примерами образования золотого прожилково-вкрапленного оруденения и стратифицированных магматических месторождений.

Ключевые слова: пластично-хрупкий переход, прочностные барьеры, мантийно-коровые мигранты, первичное оруденение.

Введение. Реологию среды и первичное оруденение обычно связывают только через магматические формации, принадлежащие определенным тектоническим структурам земной коры в разных геодинамических обстановках. Исследования генетической корреляции безразломной реологии среды и рудогенеза еще редки, хотя нельзя не отметить, например, работы В.И. Казанского, подтверждающие связь локализации руд со сменой реологических условий [8], а также формализованный подход А.И. Горшкова для изучения условий локализации оруденения и идентификации рудоносных структур на основе корреляции с высокосейсмичными узлами [3]. Оба автора отмечают роль пониженной прочности земной коры в создании условий для проникновения в нее глубинного рудоносного жидкого и газообразного вещества, но не объясняют способы его транспортировки и механизмы рудоотложения. Между тем с позиций теории мантийно-коровых мигрантов (МКМ) [4, 5, 1] реологические барьеры имеют важное значение как непосредственные рудоконцентраторы. Здесь под термином «реологические барьеры» мы имеем в виду два их типа. Первый тип – это барьеры, обусловленные пластично-хрупким переходом (ПХП) между нижележащей областью пластических деформаций и вышележащей зоной хрупких деформаций в земной коре [15]. Второй тип – это прочностные барьеры (ПБ), обусловленные сменой типа пород, фазовыми переходами минералов или температурным размягчением/отвердением [7]. Под первичным оруденением мы понимаем отложение рудных компонентов непосредственно из МКМ в результате изменения *PT*-условий и дифференциации их вещества.

Мантийно-коровые мигранты. МКМ представляют собой закрытые субвертикальные полости, заполненные некоторой относительно низкоплотной группой подвижных фаз (ГПФ), движущиеся вверх в пластичной среде в поле силы тяжести за счет флюидо- или магморазрыва вмещающей среды [4]. ГПФ может состоять из фаз надкритического флюида, водного раствора, газа, расплава или магмы в любых комбинациях в зависимости от *PT*-условий, способных совместно мигрировать относительно вмещающей среды. МКМ, содержащий в основном водород и CH_4, зарождается на границе «ядро – нижняя мантия» в результате дегазации жидкого внешнего ядра [11]. При субадиабатическом подъеме систем МКМ в мантии флюид окисляется до воды и CO_2 и «сдвигает» солидус мантии в сторону низких температур, следовательно, при пересечении адиабатой «мокрого» солидуса мантии последняя будет плавиться. Ассимилируя расплав или магму, мигрант из чисто флюидного становится флюидно-магматическим. Это согласуется с гипотезой И. А. Зотова об участии трансмагматических флюидов в образовании в мантии первичных магматических очагов с концентрацией в них выщелоченных из мантийного вещества рудных элементов [6] и схожими воззрениями других исследователей. В состав вещества МКМ будут включаться химически и механически захваченные компоненты мантии и литосферы, в том числе некогерентные рудные элементы и тугоплавкие рудные компоненты, транспортируемые мигрантом в земную кору. Накопление флюида может происходить и в другой обстановке, например, под мантийным клином при дегидратации субдуцирующей плиты; состав флюида при этом будет соответствовать химизму океанической коры и осадков.

Пластично-хрупкие переходы. ПХП («detachment» [12], «отделитель» [7]) является зоной реологического перехода от хрупкой верхней блоковой коры к пластичной нижней коре на глубинах

~ 10–15 км для гранитоидов, ~ 25–30 км для габброидов и ~ 40 км для гипербазитов [7]. В пределах хрупкой коры подвижные фазы находятся в открытых трещинах под относительно низким гидростатическим давлением, а ниже – в изолированных полостях и порах в условиях высокого литостатического давления. В каждом отдельном МКМ в момент достижения им открытой трещины происходит мгновенная декомпрессия с падением давления от литостатического до гидростатического или даже атмосферного. Очевидно, что различная глубина распространения хрупких трещин определяет ПХП не как линейную границу, а как некоторый слой мощностью до первых километров. Такой слой чаще всего характеризуется и сменой петрологического состава среды [7]. Декомпрессия на ПХП является основным фактором рудоотложения непосредственно из МКМ и формирует оруденение штокверкового типа в границах некоторой вертикально вытянутой формы, наследующей сочленение «МКМ – разлом». Примером может служить формирование прожилково-вкрапленного оруденения в штоке гранитоидов Таинского Au-Cu-порфирового месторождения (Восточный Саян). Надсубдукционный флюид, поднимаясь в пластичной среде, согласно теории МКМ, на коровом участке преодолевает два физико-химических барьера. Первый барьер чисто геохимический – это смена базитовой среды на гранитоидную. Второй барьер реологический при ~ 490 °С – это переход из зоны пластических деформаций в хрупкую зону с падением давления на флюид от лито- до гидростатического (от ~ 3,2 до ~ 0,8 кбар). Декомпрессионный переход флюида из надкритического состояния в двухфазное (водный раствор + газ) осаждает рудные компоненты, при этом формы осаждения контролируются геохимическим барьером [2]. Данный тип оруденения представлен зонами кварцевых прожилков и сульфидной вкрапленности в плагиогранитах. Главные рудные минералы – пирротин, сфалерит, халькопирит, пирит, ассоциирующие с аргентитом и самородными металлами от серебра до высокопробного (до 999 ‰) золота [14]. На первичное оруденение наложены поздние гидротермальные процессы в хрупкой коре с образованием теллуридов из первично-магматического Te, изначально изоморфно-примесного в сульфидах.

Прочностные барьеры. Подъем систем МКМ может прерываться субгоризонтальными литосферными ПБ, конфигурация которых зависит от глубины и геодинамической обстановки [7, 13]. На ПБ подъем МКМ останавливается на время, необходимое для подпитки его очередными порциями мигрантов. Вещество, поставляемое ими под ПБ, формирует латеральную линзовидную камеру до тех пор, пока вертикальный размер камеры не превысит критическую высоту, после чего происходит новый прорыв с образованием и подъемом МКМ до следующего ПБ, и так далее, до достижения ПХП. Вследствие широкого латерального распространения критическая мощность камеры достигается только через длительное время, за которое в камерах успевает произойти концентрация рудных компонентов в результате кристаллизационно-гравитационной дифференциации вещества, осложненной плавлением или растворением вмещающей среды и возможной конвекцией. Для приведения аргументированных примеров такого типа рудогенеза необходимы тщательные исследования конкретных месторождений. Тем не менее можно предположить такой механизм образования месторождений в расслоенных базит-гипербазитовых массивах Байкало-Муйского пояса, например, Чайского Cu-Ni месторождения. Аргументами в пользу нашей гипотезы являются: сосредоточенность Cu-Ni оруденения только в гипербазитах, отсутствие оруденения за их пределами и в эндоконтактовых зонах, цикличная стратификация оруденения по глубине, синкристаллизационные тектонические деформации, мантийный источник серы и несколько фаз внедрения, которые можно интерпретировать как прорывы сквозь ПБ на разных глубинах с закономерно изменяющимся составом [9]. Также возможен пересмотр с изложенных позиций генезиса Cu-Ni месторождений Сибирских траппов и массива Садбери [10]. Импактные деформации, которые считают аргументом в пользу метеоритного происхождения Садбери, могли быть вызваны выделением огромного количества сейсмической энергии при образовании МКМ и «схлопывании» камеры под ПБ. Разумеется, это только осторожные предположения, требующие серьезного анализа и комплексного моделирования в будущем.

Работа выполнена в рамках темы госзадания (рег. № АААА-А21-121011390003-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Васильев В. И., Васильева Е. В., Жатнуев Н. С. [и др.] Параметры образования и эволюции мантийно-корового мигранта // Геоинформатика. – 2019. – № 2. – С. 34–42.
2. Васильев В. И., Дамдинов Б. Б., Васильева Е. В. Таинское месторождение (Восточный Саян): новая комплексная модель трех типов золотого оруденения // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. – М. : ИГЕМ РАН, 2024. – С. 42–45.
3. Горшков А. И. Определение возможных мест сильных землетрясений и оруденения в горно-складчатых и платформенных областях на основе формализованного морфоструктурного районирования. – Автореф. докт. дисс. – М. : МИТП РАН, 2010. – 48 с.
4. Жатнуев Н. С. Динамика глубинных магм // ДАН. – 2010. – Т. 430, № 6. – С. 787–791.
5. Жатнуев Н. С., Рычагов С. Н., Васильев В. И. [и др.] Влияние реологических свойств земной коры на локализацию рудообразующих гидротермально-магматических систем // Вулканология и сейсмология. – 2012. – № 3. – С. 59–72. – DOI: 10.1134/S0742046312030062.
6. Зотов И. А. Трансмагматические флюиды в магматизме и рудообразовании. – М. : Наука, 1989. – 214 с.
7. Иванов С. Н. Вероятная природа главных сейсмических границ в земной коре континентов // Геотектоника. – 1994. – № 3. – С. 3–11.
8. Казанский В. И. Эволюция рудоносных структур докембрия. – М. : Недра, 1988. – 286 с.
9. Конников Э. Г., Цыганков А. А., Орсоев Д. А. Чайское медно-никелевое месторождение // Месторождения Забайкалья. – М. : Геоинформмарк, 1995. – Т. 1, Кн. 1. – С. 78–84.
10. Лайтфут П. С., Зотов И. А. Геология и геохимия магматического комплекса Садбери (Онтарио, Канада) и генезис сульфидно-никелевой минерализации, связанной с импактным расплавом // Геология рудных месторождений. – 2005. – Т. 47, № 5. – С. 387–420.
11. Летников Ф. А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений. – 2001. – Т. 43, № 4. – С. 291–307.
12. Burchfiel B. C., Quidong D., Molnar P. [et al.] Intracrustal detachment within zones of continental deformation // Geology. – 1989. – V. 17, No. 8. – 748–752. – DOI: 10.1130/0091-7613(1989)017<0448:idwzoc>2.3.co;2.
13. Corti G., Bonini M., Conticelli S. [et al.] Analogue modeling of continental extension: a review focused on the relations between the patterns of deformation and the presence of magma // Earth Science Reviews. – 2003. – V. 63, No. 11. – P. 169–247. – DOI: 10.1016/S0012-8252(03)00035-7.
14. Damdinov B. B., Huang X.-W., Goryachev N. A. [et al.] Intrusion-hosted gold deposits of the southeastern East Sayan (northern Central Asian Orogenic Belt, Russia) // Ore Geology Reviews. – 2021. – V. 139. – Part. B. – 104541. – DOI: 10.1016/j.oregeorev.2021.104541.
15. Scholz C. H. The brittle-plastic transition and depth of seismic faulting // Geologische Rundschau. – 1988. – 77(2). – DOI: 10.1007/BF01848693.

Васильев Н. Ю. [1] (geostress@mail.ru), Мострюков А. О. [2] (most57@mail.ru),
Петров Викт. Анат. [2] (vap_borok@mail.ru)
[1] ФГБУ «МГРИ-РГГРУ», г. Москва; [2] ГО «Борок» ФГБУ ИФЗ РАН, п. Борок

МЕХАНИЗМЫ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭНДОГЕННЫХ РУД (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Au В. САЯНА, Cu-Ni ПЕЧЕНГИ, АЛМАЗОВ ЯКУТИИ, АСБЕСТА В. УРАЛА)

Тектонофизическими реконструкциями описаны численные параметры деформаций, выделены циклы этого процесса как инверсионная смена сдвиговых, сбросовых и взбросовых этапов. Особенности последних определяют локализацию руд при объемном разуплотнении горных пород, что важно для поисков.

Ключевые слова: тектонофизические реконструкции, численные параметры деформаций, циклы, инверсионная смена, локализация руд, объемное разуплотнение, поиски.

Из механики деформационных процессов известно, что условия деформирования твердого тела рассчитывают на основе численных кинематических (от греч. kinemas − движение) характеристик векторов перемещения каждой его точки в ходе деформации.

В геологии такими векторами являются тектонические борозды и штрихи «зеркал скольжений» − следы движений (t_n) блоков горных пород под действием единичных касательных напряжений (τ_n). Действие напряжений (τ_n) функционально связано с ориентацией и относительными величинами осей главных нормальных ($\sigma_1>\sigma_2>\sigma_3$) и максимальных касательных напряжений (τ_m). На основе этой связи информацию о единичных векторах (τ_n) используют для решения «обратных задач» об ориентации и величинах осей главных нормальных ($\sigma_1>\sigma_2>\sigma_3$) и максимальных касательных напряжений (τ_m). Данные о векторах (t_n) фиксируют компасом in situ в пределах анализируемого пространства. От плотности информации о векторах движения (t_n) в единице площади пространства зависят точность и надежность реконструкций тектонофизических параметров.

В докладе будут показаны результаты тектонофизических реконструкций численных значений параметров геолого-структурного развития указанных месторождений. Работа выполнена по методике *кинематического* анализа, разработанного О. И. Гущенко [5 и др.], на основе предложенной им кинематической модели развития тектонических деформаций. Методика реализована в системе последовательных процедур, направленных на решение «обратной задачи». Итогом реконструкций являются определения относительных величин осей, а также угловых и азимутальных значений ориентации *искомых* параметров главных нормальных напряжений (максимальных σ_1 > промежуточных σ_2 > минимальных σ_3) и максимальных касательных (τ_m) напряжений. Важным показателем условий развития деформаций являются также величина и знак коэффициента $\pm\mu_{\sigma,\varepsilon}$ Лодэ-Надаи, изменяющегося от +1 до -1, определяющего форму эллипсоидов напряжений и деформаций и являющегося наиболее объективной информацией о величине «сжатия» или «растяжения» анализируемой структуры. Автором методики был разработан графоаналитический способ решения задачи с использованием равноугольной стереографической сетки Вульфа. Однако масштаб реальных практических задач требовал большей скорости проведения расчетов, для чего авторами доклада были составлены алгоритмы компьютерного анализа массивов полевой информации.

Развитие деформаций определялось циклической сменой кинематических механизмов деформации в координатах (*x, y, z*) пространства деформационных структур [1]. Последовательность проявления механизмов контролируется инверсионным механизмом смены ориентации одной из осей (σ_1 или σ_3 на ось σ_2). Это устойчивое явление выражено в смене осей ориентации оси $\sigma_1\leftrightarrow\sigma_2$ при сохранении ориентации оси ($\sigma_3\rightarrow$const!) или в смене осей ориентации $\sigma_3\leftrightarrow\sigma_2$ при ($\sigma_1\rightarrow$const!). На основе данного явления сделан вывод о том, что последовательная смена

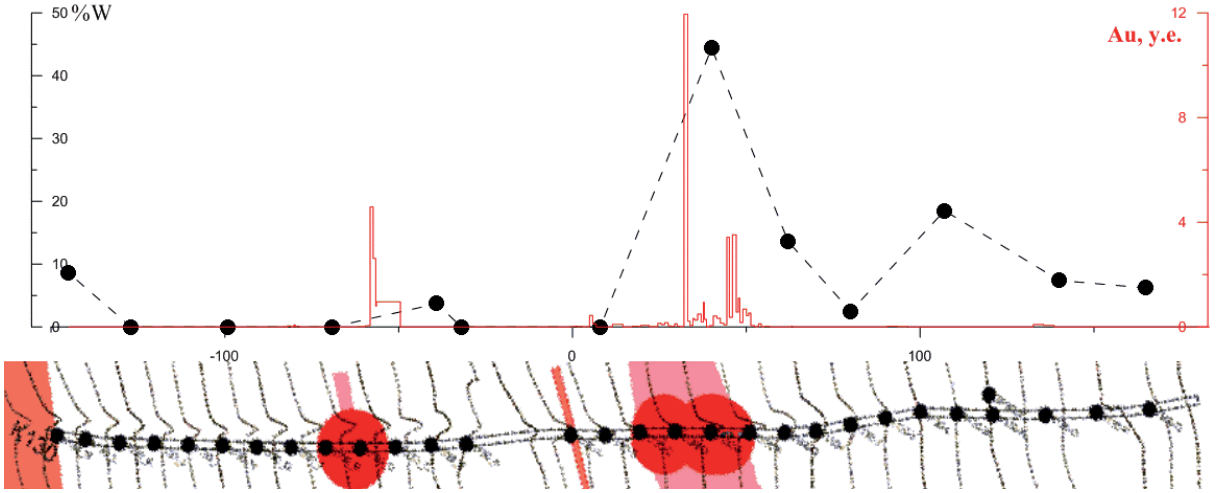


Рисунок 1. Содержание металла в пробах и параметр дилатансии вдоль канавы 130:
вверху – график содержания Au в пробах (в у. е.), чёрные точки – значения параметра дилатансии; внизу – схема расположения канавы, чёрные точки – места замеров борозд скольжения, оттенки красного – возможные рудные тела

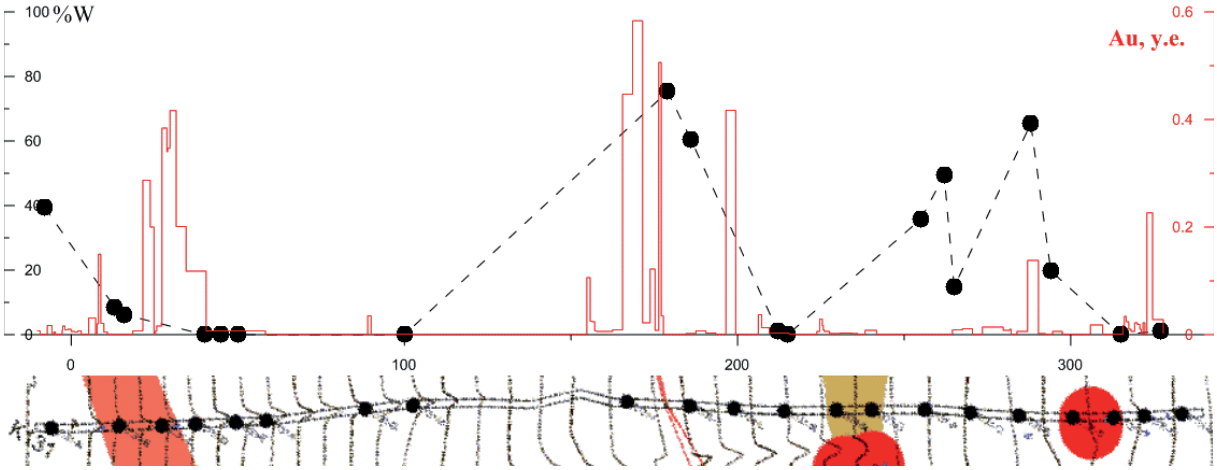


Рисунок 2. Содержание металла в пробах и параметр дилатансии вдоль канавы 131:
вверху – график содержания Au в пробах (в у. е.), чёрные точки – значения параметра дилатансии; внизу – схема расположения канавы, чёрные точки – места замеров борозд скольжения, оттенки красного и бежевого – возможные рудные тела

условий деформации каждого из объектов определялась сменой шести фаз (этапов). Всего было проявлено две фазы взбросового типа механизмов деформации, две фазы сдвигового типа механизма и две фазы сбросового типа механизмов деформации. Весь цикл описывается 3 × 2 = 6 фазами. Смена условий деформации сопровождалась направленным изменением относительных величин осей напряжений и деформаций и выражена в направленном изменении формы эллипсоидов.

Условия развития рудных фаз, контролировавшие пространственную локализацию продуктивных залежей и впервые описанные в [2], определяются следующими устойчивыми значениями численных параметров поля тектонических напряжений/деформаций. Оптимальными условиями для рудообразования являются процессы объемного разуплотнения (или дилатансии *W,* %) горных пород, контролируемые следующими значениями параметров взбросовых механизмов тектонических деформаций: 1) субвертикальной ориентацией оси растяжения ($\sigma_1 \geq 60°$); 2) отрицательными значениями коэффициента $-\mu_{\sigma,\varepsilon}$ Лодэ-Надаи ($\mu_\varepsilon < 0$); 3) положительными значениями вертикальной компоненты приращения тензора деформации ($dZ \geq 0{,}10$, т. е. больше 10 %) [3, 4]. Установлена прямая положительная корреляция численных содержаний полезных компонентов на примере Гурбейского месторождения (Восточный Саян) золота (рис. 1, 2) с объемным разуплотнением горных пород (коэффициент корреляции $R_{kor} = 0{,}74{-}0{,}79$).

Дилатансионно-взбросовый режим деформации следует полагать реальным фактором тектонической и механической активации внутренней деформационной поверхности, действовавшим наряду с термодинамическим фактором (вместе определяющими суперпозицию рудоносного объекта). Тектонофизические параметры этих условий следует использовать как численный геолого-структурный критерий поисков.

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО ТЕХСЕРВИС и госбюджетной темы ОИФЗ РАН «Геофизические поля средних широт: мониторинг и моделирование» (номер гос. регистрации АААА-А17-117040610184-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Н. Ю., Мострюков А. О. Закономерности развития циклов деформации в процессах тектогенеза // Материалы XXXIV Тектонического совещания «Тектоника неогея: общие и региональные аспекты». В 2 т. – М. : ГЕОС, 2001. – Т. 1.– С. 90–93.
2. Васильев Н. Ю., Мострюков А. О. Особенности рудолокализующих условий деформации геологической среды в характеристиках тектонических полей напряжений // Материалы XL Тектонического совещания «Фундаментальные проблемы геотектоники». – М. : ГЕОС, 2007. – Т. 1. – С. 126–130.
3. Васильев Н. Ю., Мострюков А. О., Петров В. А., Тверитинова Т. Ю., Тверитинов А. Ю. Деформационный механизм структурно-тектонического контроля эндогенного рудообразова-

ния // Материалы пятой тектонофизической конференции в ИФЗ РАН «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле». – М. : ИФЗ РАН, 2020. – С. 203–214.
4. Васильев Н. Ю., Мострюков А. О., Петров В. А., Тверитинова Т. Ю., Тверитинов А. Ю. Оценка вероятности рудолокализующей роли объемного разуплотнения горных пород в развитии Гурбейского месторождения золота (В. Саян) // Российская тектонофизика. К 100-летнему юбилею М. В. Гзовского. – Апатиты, 2020. – С. 261–284.
5. Гущенко О. И. Анализ ориентировок сколовых перемещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений // ДАН СССР, сер. «Геофиз.», 1973. – Т. 210, № 2. – С. 331–334.

Васюков В. Е. (vasyukov@tsnigri.ru),
Васюкова А. В. (vasyukova@tsnigri.ru),
Нигмаджанов Т. И. (tnigmadzahanov@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПОДГОТОВКА КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ОСНОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ)

В докладе кратко показана история металлогенических работ, проводимых в Хабаровском крае и применяемых ЦНИГРИ для выделения перспективных рудоносных площадей. Демонстрируются оцифрованные с геологических карт и объяснительных записок к ним фактические материалы, приводится пара примеров их обработки.

Ключевые слова: Хабаровский край, металлогения, золото, медь, перспективные площади.

Территория Хабаровского края геологически хорошо изучена: большая часть охвачена ГК-1 000 третьего поколения, полностью покрыта ГК-200 различных поколений, значительные площади изучены ГС-50 и поисковыми работами. За последние 50 лет много внимания уделялось составлению минерагенических и прогнозных карт, далеко не полный обзор которых приводится ниже.

В СССР промышленностью были востребованы редкие и радиоактивные металлы, что нашло отражение в появлении «Карты вольфрамоносности Хабаровского края и Амурской области» масштаба 1 : 1 500 000 (ДВИМС, 1975) и «Прогнозной на уран карты территории Амурской области, Приморского и Хабаровского краев» (Таежное ПГО, 1990).

К поиску золоторудных объектов всегда относились как к первостепенной задаче, что подтверждается постоянным участием золота практически во всех металлогенических построениях. Одним из примеров является «Схема размещения участков, прогнозируемых на золотое оруденение» масштаба 1 : 1 000 000 (Аэрогеология, 1981).

Начиная с 1970-х годов появляется интерес к новому медно-порфировому типу месторождений, об этом свидетельствует «Схема размещения зон медно-порфирового оруденения на территории СССР», включавшая и Дальневосточный регион (ЦНИГРИ, 1982).

Со второй половины 1980-х годов медно-порфировая минерализация становится постоянным участником прогнозных построений («Карта геохимических аномалий зоны БАМ в пределах Хабаровского края» (ПГО «Дальгеология», 1988)), а с 1990-х годов наряду с золоторудной минерализацией выходит на первый план («Прогнозная карта-схема золото-порфировой минерализации Сихотэ-Алиньской вулканической зоны», масштаб 1 : 1 000 000 (НТЦ «Дальгеоцентр», 1999), Минерагеническая и прогнозная карты Хабаровского края, масштаб 1 : 500 000 (ДВИМС, 2000), «Схема металлогенического районирования вулкано-плутонических поясов Востока России на структурно-формационной основе масштаба 1 : 2 500 000» (ЦНИГРИ, 2010)).

В ЦНИГРИ в 2016 г. сформирована небольшая группа сотрудников, включая авторов, чья деятельность нацелена на подготовку обоснований для постановки поисковых и прогнозно-минерагенических работ на золото и медь в Дальневосточном регионе. В своей работе мы

постоянно обращались к перечисленным выше картам и сопровождающей текстовой информации. Кроме того, к настоящему времени уже накоплен большой объем фактической информации о геологическом строении и признаках оруденения. Об этом пойдет речь в докладе.

Для того, чтобы стать основой для прогнозных построений, исходные геологические материалы должны, по мнению авторов доклада, соответствовать трем условиям: 1) распространяться на всю территорию интересов, 2) обладать однородностью как по содержанию, так и по масштабу представления информации, 3) включать необходимую для дальнейшей работы информацию. Этим требованиям в значительной мере удовлетворяют материалы геологической съемки масштаба 1 : 200 000.

В докладе демонстрируются картографические материалы, оцифрованные с имеющихся геологических карт и карт полезных ископаемых, а также из объяснительных записок к ним. Часть материалов актуализирована из других источников. Данные включают рудные месторождения, рудопроявления и пункты минерализации, россыпи, шлиховые и литохимические по потокам рассеяния ореолы, проявления метасоматитов, интрузивные и субвулканические тела. В табличной форме оцифрованы результаты силикатных анализов и построена серия карт, отражающих ряд параметров, осредненных по каждой двухсоттысячной трапеции.

Вахрушев А. М. (vahrushev@tsnigri.ru), Уварова Е. А. (uvarova@tsnigri.ru),
Дубов Н. В. (ndubov@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ЭТАПЫ «ЦИФРОВИЗАЦИИ» ФГБУ «ЦНИГРИ»

Активно интенсифицируется процесс внедрения информационных технологий в работу организаций. Возрастающие объемы информации определяют необходимость «цифровой трансформации», «цифровизации» деятельности предприятий. Показаны этапы данного процесса в ФГБУ «ЦНИГРИ» и современное состояние информационного и технического его обеспечения.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровизация, геологическая информация, программные решения, веб-приложения, геоданные, NextGIS Web, веб-карты, сетевой информационный ресурс, геоинформационная система, web-сайт, интернет-ресурсы, ЛВС, IP-телефония, сервер.

За период с 2000 г. существенно поменялись концепции, подходы, технологии и программные продукты, формирующие информационное пространство, а также способы доставки контента до адресатов. Если в ранние годы информационные материалы представляли собой по большей части бумажные документы (карты, отчеты, таблицы), сопровождаемые локальными узкоспециализированными базами и банками данных, то в современных реалиях это – объемные цифровые модели и распределенные базы данных в интеллектуальных системах. Технологический прогресс в сфере ИТ- и ГИС-технологий позволил накапливать и обрабатывать обширные массивы разнородной информации, а современные средства позволяют извлекать, структурировать, обогащать и анализировать данные, в том числе посредством ИИ. Постепенно основным представлением документов становится электронный формат, но отказ от бумажных носителей пока преждевременен.

Одним из важных направлений является обеспечение присутствия организации в информационном пространстве, в том числе в сети WWW. Для этого ФГБУ «ЦНИГРИ» проводит научные мероприятия, участвует в конференциях, совещаниях. Отдельно стоит задача создания и поддержания различных сайтов (основного и внутреннего, конференций, выпускаемых журналов). До 2003 г. сайт организации был размещен в сети Интернет на внешнем хостинге и представлял собой простую страницу с минимумом основной информации об институте. Начиная с 2004 г. происходило постепенное наполнение и обновление сайта по различным направлениям деятельности организации и отделов в рамках технологий, поддерживаемых хостингом. С 2012 г. процесс информатизации предприятия (директор – Михайлов Б. К.) был интенсифицирован,

запущены процессы создания необходимой ИТ-инфраструктуры, привлечены человеческие ресурсы, выделен самостоятельный отдел ИТ. Также совместно со специалистами ВНИИгеосистем были проведены работы по подготовке к созданию и развертыванию скоростной внутренней сети, подключению широкополосного доступа к сети Интернет. Это было продиктовано необходимостью обеспечения информационного обмена как внутри организации, так и взаимодействия с отраслевыми ИС, ресурсами, организациями (АСЛН, ресурсы подведомственных Роснедра предприятий). Ввод в эксплуатацию собственных производительных серверов и СХД обеспечили возможность хостинга сайта на внутренних ресурсах организации, создание сетевых файловых ресурсов общего доступа. Данный курс на развитие ИТ-инфраструктуры был продолжен и при следующих руководителях (Иванов А. И., Черных А. И.). Упор на активное развитие интернет-ресурсов и сайтов различной направленности организации определялся тем, что они формируют «лицо», «информационную карту» Института в сети. Перевод ресурсов на внутренние мощности позволил гибко и быстро менять CMS, пополнять контент, создавать отдельные подсайты для отдельных областей задач.

С 2013 по 2016 г. сайт организации функционировал на CMS Drupal. Также был создан внутренний сайт-портал для сотрудников, содержащий справочную информацию внутреннего учета. С 2016 по 2019 г. новые их версии были перенесены на CMS Joomla 2. С 2019 по 2020 г. – переход на CMS Joomla 3. Основное внимание при этом уделяется основному сайту. С 2021 по 2024 г. – CMS Joomla 4. С 2025 г. – запланирован переход на CMS Joomla 5. При каждом переходе помимо смены управляющего ПО выполнялся редизайн сайта в соответствии с актуальными трендами, смена концепций отображения контента, создание дополнительных информационных разделов. Начиная с 2019 г. созданы и функционируют отдельные сайты Рудной школы и Международной научно-практической конференции, проводимых ФГБУ «ЦНИГРИ», обновляемые и модернизируемые ежегодно. Отдельно созданы сайты выпускаемых ЦНИГРИ журналов – «Руды и металлы» (2020 г.) и «Отечественная геология» (2024 г.), содержащие в том числе архивы выпусков и соответствующие международным стандартам. Помимо этого, отделами ИТ и ГИС разрабатываются, внедряются и ведутся внутренние ресурсы, направленные на автоматизацию и информатизацию производственной деятельности как отделов, так и предприятия в целом. ИТ-отдел разработал и внедрил систему инвентаризации оборудования и расходных материалов к нему (с 2023 г.), в 2024 г. развернул WIKI-систему для ведения базы знаний, внедрил систему учета заявок для решения проблем пользователей (Help.IT). Также внедрено современное решение по организации доступа к внутренним ресурсам посредством специализированного ПО с двухфакторной авторизацией. В рамках выполнения поручения руководства (от 2016 г.) отделом ГИС внедрены WEB-сервисы для доступа к информации ЕБГИ ЦНИГРИ, в том числе в виде специализированных ресурсов – облачная «обертка» для доступа к файлам на основе ПО NextCloud (с 2017 г.), поисковые реестры (с 2022 г.), редактор реестров для онлайн-заполнения (с 2023 г.), серверная WEB-ГИС на базе NextGis WEB (с 2024 г.), сопутствующие серверные БД.

Реализация вышеописанного была бы весьма затруднительна без отсутствия необходимой технической базы – хорошо организованной внутренней сети, серверных мощностей, систем хранения, резервного копирования, скоростного доступа в интернет.

До 2013 г. локальная сеть предприятия не была структурированной и управляемой, организовывалась хаотично и на примитивном оборудовании. Доступ в интернет был реализован на основе технологии ADSL (СТРИМ), по асинхронному каналу, с невысокой скоростью. Специализированные СХД отсутствовали, обмен файлами осуществлялся на основе локальных общих папок. В 2013 году реализована СКС и ЛВС 1 Гбит, на управляемых коммутаторах и шлюзах, подключен интернет-канал на скорости 100 Мбит. Тогда же введены в строй три стоечных сервера для организации доменной структуры, хостинга и сопутствующих сервисов. Внедрена специализированная СХД на базе QNAP TS-669L (6 ТБ). В 2014 г. для расширения пространства хранения введен в эксплуатацию QNAP TS-851 (18 ТБ). В 2017 г. для реализации проекта ЕБГИ введен в эксплуатацию один сервер для баз данных и WEB-приложений поисковых реестров, развертывания NextCloud. Тогда же в связи с необходимостью хранения больших объемом отсканированных и собранных файловых материалов начата эксплуатация СХД QNAP TS-1263U-RP (48 ТБ). В 2021–2024 гг. введены в эксплуатацию еще четыре физических сервера, включая

специализированную высокопроизводительную СХД Fujitsu Eternus DX100 S5 с дополнительной стойкой расширения (итого 36 мест под HDD, 124 ТБ). С 2022 г. увеличена скорость доступа к сети Интернет до 200 Мбит/с, введен резервный радиоканал, с 2024 г. скорость увеличена до 1 Гбит/с. На текущий момент объем относящихся к структурированному хранилищу ЕБГИ материалов превышает 25 ТБ (на TS-1263U-RP), также они резервируются на Eternus DX100 S5. Существующих объемов на СХД достаточно на период два-три года.

В 2024 г. реализован проект IP-телефонии, включая ввод в работу двух серверов (основного и резервного). Отделом ИТ выполнена настройка более 300 телефонных аппаратов, реализованы сопутствующие информационные ресурсы (телефонный справочник, логирование, запись разговоров) на базе ПО Asterisk.

Большое внимание уделяется оснащению организации мультимедийным оборудованием для проведения конференций, выставочной деятельности, организации онлайн-трансляций и совещаний. В 2018 г. в большой актовый зал установлен экран 6 × 4 м, для показа презентационных материалов. В 2024 г. кардинально обновлен сам актовый зал с полным комплексом мультимедиа-систем (звук, камеры, микрофоны, трансляция и др.). Также размещены мультимедийные комплексы в других залах совещаний (восемь широкоформатных экранов и звуковое оснащение). Настроены и функционируют пять интерактивных информационных киосков (активно используются при проведении конференций). База компьютерной и оргтехники постоянно обновляется отделом ИТ и соответствует современным потребностям.

В отдельное направление выделены задачи, сопутствующие формированию и пополнению материалами ЕБГИ, такие как: сканирование ретроматериалов, оцифровка ретроданных, формирование рефератов, описаний к ним (для возможности поиска по метаданным). Следует отметить, что библиотечный фонд (более 37 000 отд. уч. ед.) и большая часть архива отчетных (более 13 000 инв. номеров), картографических и прочих материалов, хранимых в организации, представлена на бумажных носителях. Сдача в архив окончательных отчетов (помимо бумаги) на МНЗ (дисках) инициирована приказом руководства лишь в 2011 г. Для целей сканирования фондовых материалов в 2013 г. был приобретен книжный сканер российского производства Сканер Optima-V 25 (полуавтоматический). Для сканирования картографических материалов с 2015 г. используются достаточно старые протяжные широкоформатные сканеры – Contex CHAMELEON Tx 36 и Colortrac SmartLF SC 36 MFP. Книжный сканер Optima V к 2019 г. выработал ресурс (более 1,5 млн страниц) и требует серьезного обслуживания. Протяжные сканеры еще функционируют, но также за пределами предусмотренного ресурса. Замена их на современные модели весьма проблематична по причине высокой цены оборудования, лимитов на закупки, его специфичности и отсутствия целевого субсидирования. Для обеспечения оцифровки отчетных и книжных материалов были приобретены в 2020–2024 гг. несколько бюджетных решений из модельного ряда бренда CZUR: ET18 Pro, ET24 Pro, Shine Ultra, а также Viisan S21. Данные решения по причине простого в освоении и функционального комплектного ПО позволили организовать рабочее место для сканирования материалов в библиотеке.

Несмотря на определенные трудности по использованию и доступу к современным технологическим, программным и аппаратным решениям и соответствующим специалистам для их внедрения, процесс «цифровизации» предприятия не останавливается, руководство понимает необходимость использования актуальных решений (в т. ч. на основе ИИ) и предпринимает необходимые шаги для их внедрения.

Виноградов И. В. (i.vinogradov@mfkarpinsky.ru), Герасимова М. В., Черенков В. Г.
Московский филиал ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского», г. Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ И КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕГИОНАЛЬНОМ ПРОГНОЗЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

В работе представлена методика регионального прогнозирования кимберлитовых площадей, основанная на комплексном анализе геофизических данных с применением современных методов машинного обучения. Методика базируется на интеграции различных алгоритмов, включая глубокое обучение, и использует концепцию ансамблевого моделирования для повышения надежности прогноза. По результатам прогнозирования выделен ряд перспективных участков в пределах Якутской алмазоносной провинции.

Ключевые слова: машинное обучение, искусственный интеллект, Сибирская платформа, прогноз алмазоносности, кимберлиты.

За последние годы ресурс легко обнаруживаемых традиционными минералогическими, геофизическими и геохимическими методами проявлений кимберлитов, в том числе алмазоносных, существенно сократился. Кроме того, большинство площадей с выявленными, но недостаточно детально локализованными перспективами относится к категории закрытых, на которых традиционные методы не дают ожидаемого результата. В связи с этим возникла необходимость применения альтернативных методов выявления алмазоносных кимберлитов.

Нами была предпринята попытка применить методы машинного обучения для прогноза локализации кимберлитовых полей. Несмотря на то, что методы машинного обучения давно применяются при прогнозе полезных ископаемых [8], для прогнозирования кимберлитовых площадей в пределах Сибирской платформы подобный подход ранее не использовался.

Исходными данными для прогнозирования послужили унифицированные и сшитые между собой материалы ГФО-1000 (гравитационное и магнитное поле) на территорию листов P-49, P-50, R-49, R-50, R-51, Q-49, Q-50, Q-51. Дополнительными признаками послужили материалы глубинного строения [2] и плотности автоматически выделенных линеаментов в ПО ГИС-ПАРК [1] и их узловых структур. Признаковое пространство сначала расширялось путем создания различных трансформаций геофизических полей, затем сокращалось путем отбора информативных признаков с использованием метода «Gini index» и анализа корреляционных связей между геофизическими полями. Окончательно сформированное признаковое пространство обрабатывалось в соответствии с требованиями каждого алгоритма.

В качестве обучающей выборки использованы координаты известных кимберлитовых тел, вокруг которых задавался буфер, подобранный итерационно согласно масштабу исследования. Одной из ключевых особенностей является применение кластерного анализа известных кимберлитовых тел на основе их геофизических характеристик. Для этого использовался метод гауссовых смесей (GMM) [5], который позволяет выявить естественные группы кимберлитовых тел со схожими геофизическими признаками. Таким образом, были выделены две группы, имеющие различное отражение в магнитном поле. Балансировка обучающей выборки проводилась алгоритмом очистки на основе метода k-ближайших соседей (NeighbourhoodCleaningRule) [4].

Нами реализованы пять различных алгоритмов машинного обучения: сверточные нейронные сети со слоями внимания (CNN) [6], сверточный вариант графовой нейронной сети (GCN) [7], многослойный персептрон (MLP), случайный лес (Random Forest) и градиентный бустинг (в варианте XGBoost) [3]. Каждая модель обучалась через групповую кросс-валидацию (GroupKFold) независимо для каждой выделенной группы кимберлитовых тел, что позволило учесть специфические особенности различных типов объектов. Обобщенные результаты для разных моделей машинного обучения (CNN, GCN, MLP, Random Forest и XGBoost) затем объединялись с помощью мета-классификатора на основе логистической регрессии, что позволило учесть сильные стороны каждого алгоритма и повысить надежность итогового прогноза. Достоверность прогноза оценивалась как с помощью количественных метрик, так и путем геологической верификации результатов. Проводился анализ пространственной корреляции

выделенных перспективных участков с закономерностями размещения известных кимберлитовых тел и прогнозными кимберлитовыми площадями.

Лучшие результаты, согласно как экспертной оценке, так и метриками качества моделей, показывают ансамблевые методы (Random Forest, XGBoost) и графовые нейронные сети (GCN). Именно эти алгоритмы вносят максимальный вклад в мета-модель и обеспечивают детализацию прогноза, согласуясь при этом с известными критериями и закономерностями размещения кимберлитовых тел. Однако ансамблевые методы требуют осторожного подхода ввиду склонности к переобучению. Объединение результатов базовых моделей с помощью мета-классификатора на основе логистической регрессии позволило достичь исключительно высокой точности прогноза с показателем ROC-AUC 0,96. По результатам прогнозирования был выделен ряд участков в переделах Ыгыаттинского, Муно-Тюнгского и Приленского районов, заслуживающих дальнейшего изучения как подобными методами на более детальном уровне, так и с последующей заверкой результатов традиционными методами.

Основные ограничения методики связаны с зависимостью от качества, наличия исходных данных и необходимостью достаточной обучающей выборки. Апробация методики показывает перспективность применения для прогнозирования кимберлитовых площадей. Данный подход может быть адаптирован для решения аналогичных задач прогнозирования других типов полезных ископаемых при наличии исходных данных и эталонных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГИС ПАРК. Общие сведения о системе // Московский филиал Института Карпинского. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mfkarpinsky.ru/products/park.html (дата обращения: 25.01.2025).
2. Мильштейн Е. Д., Андросов Е. А., Кашубин С. Н., Кудрявцев И. В. Комплект карт глубинного строения территории Российской Федерации и ее континентального шельфа // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 100. – С. 36–58.
3. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – P. 785–794.
4. Laurikkala J. Improving Identification of Difficult Small Classes by Balancing Class Distribution // Proceedings of the 8th Conference on AI in Medicine in Europe: Artificial Intelligence Medicine. – 2001. – P. 63–66.
5. Reynolds D. A. Gaussian Mixture Models // Encyclopedia of Biometrics. – 2015. – P. 827–832.
6. Vaswani A. et al. Attention Is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – V. 30. – P. 5998–6008.
7. Zhou J. [et al.] Graph Neural Networks: A Review of Methods and Applications // AI Open. – 2020. – V. 1. – P. 57–81.
8. Zuo R., Carranza E. J. M., Wang J. Advances in machine learning for mineral prospectivity mapping // Natural Resources Research. – 2023. – V. 32. – P. 1143–1189.

Воробьев С. А. (vsa46@mail.ru)

МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ДОСТОВЕРНОСТЬ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА ПО ДАННЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ПО ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ

На примере золоторудного месторождения Наталкинское выполнено сравнение оценок прогнозных ресурсов золота согласно методическим указаниям «Инструкции по геохимическим поискам рудных месторождений» и по модели формирования потока рассеяния с учетом процесса накопления металла в русловом аллювии при его движении по руслу. Предложен метод оценки коэффициента пропорциональности между продуктивностями рудных элементов в речном аллювии и почве на береговых склонах.

Ключевые слова: поток рассеяния, вторичный ореол, Наталка, продуктивность, золото.

Основой оценки прогнозных ресурсов ожидаемого оруденения при геохимических поисках служат сведения о продуктивности выявленных геохимических аномалий. Методы оценивания их параметров и взаимосвязей между ними изложены в «Инструкции по геохимическим поискам рудных месторождений» [2]. Они сформулированы, исходя из моделей формирования аномальных геохимических полей в зоне гипергенеза в процессе эрозии рудных тел. Формирование потока рассеяния рассматривается как процесс смешивания рыхлого материала, снесенного с береговых склонов, с русловым аллювием. Предположение, что в донных отложениях присутствуют частицы всех пород, слагающих берега вышележащего русла, обусловило вывод, что содержание элементов в каждой точке русла характеризует средний состав вышележащего бассейна денудации. Исходя из этого, мерой количества рудного вещества в его контурах принята величина кажущейся продуктивности, равная произведению содержания элемента в точке опробования, за вычетом фона, на вышележащую площадь водосбора:

$$P'_x = (C'_x - C'_ф) \cdot S_x \qquad (1).$$

При этом полагается, что величина продуктивности потока растет к концу рудной зоны, далее остается постоянной или снижается вплоть до нуля. Последнее утверждение не соответствует закону сохранения вещества: количество металла в донных осадках не может уменьшаться с увеличением их объема. Утверждение, что содержание элементов в русловом аллювии характеризует средний состав пород вышележащего бассейна денудации ограниченно, верно. Состав донных отложений формируется не только путем смешивания с береговым делювием, но и при дроблении и истирании слагающих его частиц при их движении по руслу. По данным изучения состава русловых отложений, гальки округляются на расстоянии 2,4–3,2 км от источника поступления, теряя при этом более 5 % первоначальной массы [3].

Высвобождающиеся при соударениях тяжелые и устойчивые к механическим воздействиям зерна минералов накапливаются на дне, малоустойчивые распадаются на мелкие фрагменты и уносятся водой. Это меняет в аллювии содержание элементов, первоначально соответствующее составу эродируемых пород. Изменения состава аллювия от истока к устью нарушают равенство содержаний элементов среднему составу пород вышележащего бассейна денудации, положенное в основу оценки продуктивности потока рассеяния. Поэтому оценки кажущейся продуктивности потока рассеяния, вычисленные как произведение содержания элементов на всю вышележащую площадь водосбора, в большинстве случаев оказываются несостоятельными.

Из уравнения, описывающего баланс массы рудного вещества на элементарном участке русла реки, следует, что продуктивность потока рассеяния ($P'_{пот}$) и продуктивность ореолов ($P_{ор}$) на береговых склонах русла связаны линейной зависимостью [1]:

$$P'_{пот} = \alpha / (\alpha - \gamma - 1) \cdot P_{ор} \qquad (2),$$

где α – коэффициент аллювия, характеризует соотношение скоростей поступления рыхлого материала с береговых склонов и его движения по руслу; γ – кинетическая константа, характеризующая процесс накопления рудного материала в донных отложениях.

Продуктивность потока равна произведению объема донных отложений на среднее содержание в нем элемента за вычетом фона. Эта величина является истинной продуктивностью потока рассеяния, т. к. характеризует количество металла в донных осадках аномального участка русла. С учетом того, что объем донных отложений соответствует объему рыхлых образований, эродированных с поверхности бассейна денудации, истинная продуктивность выражается формулой:

$$P'_{ист} = (\overline{C}'_{al} - C'_ф) \cdot S_x \qquad (3).$$

Из равенства выражений (2) и (3) следует, что продуктивность потока рассеяния всегда монотонно возрастает вдоль зоны минерализации, величина коэффициента пропорциональности между продуктивностями потока и ореола зависит от соотношения констант α и γ, характеризующих процесс формирования потока рассеяния.

Достоверность прогнозных ресурсов по значениям кажущейся и истинной продуктивностей потоков рассеяния оценена по данным геохимической съемки, выполненной в восьмидесятые годы прошлого столетия на золоторудном месторождении Наталка в Магаданской области России. В период исследований ландшафт бассейна водосбора ручья Наталкинский не был нарушен техногенными воздействиями, неузнаваемо изменившими его первоначальный вид в настоящее время.

На рис. 1 показано изменение содержания золота в донных отложениях и вторичном ореоле рассеяния вдоль течения ручья Наталкинский, пересекающего зону золоторудной минерализации в субширотном направлении.

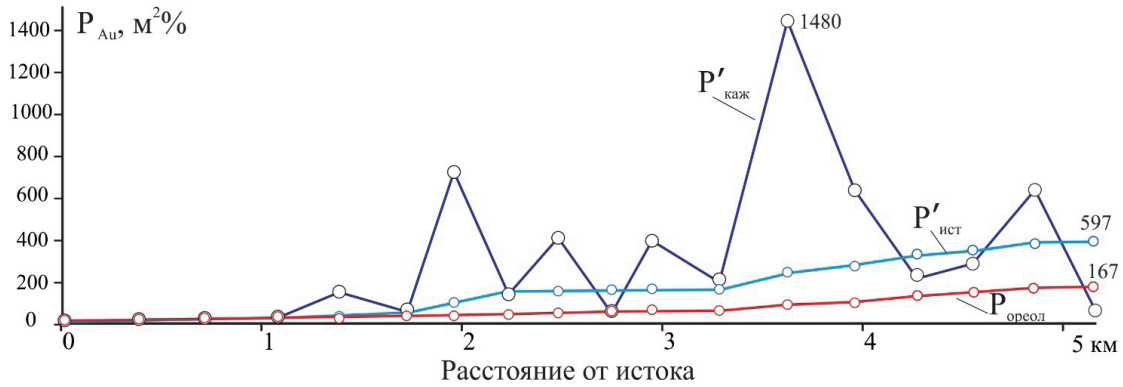


Рис. 1. Изменение содержания золота в донных отложениях ручья Наталкинский и вторичном ореоле рассеяния на береговых склонах

Среднее содержание золота в донных отложениях равно 505 мг/т, оно в три раза превышает его среднее содержание во вторичном ореоле рассеяния, вдоль которого протекает ручей. Содержание золота в русловом аллювии меняется случайным образом, ураганно высокие концентрации соседствуют с фоновыми вне зависимости от содержания в ореоле и вышележащих участках русла. Такое строение потока рассеяния обусловлено концентрацией частиц золота в локальных понижениях дна, что привело к образованию русловой россыпи.

На рис. 2 приведены графики продуктивности вторичного ореола рассеяния ($P_{ор}$), кажущейся ($P'_{каж}$) и истинной ($P'_{ист}$) продуктивностей потока рассеяния золота. Продуктивность ореола и истинная продуктивность потока рассеяния монотонно возрастают от истока ручья к его устью, значения кажущейся продуктивности симбатно повторяют колебания содержания золота в донных осадках.

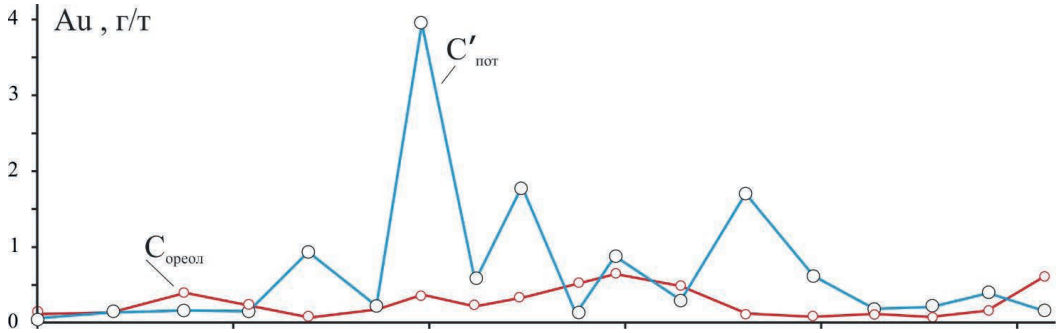


Рис. 2. Изменение кажущейся, истинной продуктивностей потока рассеяния и вторичного ореола золота вдоль течения р. Наталкинский

Согласно методическим указаниям по интерпретации данных геохимических съемок по потокам рассеяния [2], максимум кажущейся продуктивности соответствует концу рудной зоны, а его величина – ее продуктивности. Согласно им, ореол золота месторождения Наталка протягивается на 3,5 км от истоков ручья, а его продуктивность равна 1480 м²%. Эти оценки не согласуются с истинными параметрами вторичного ореола, его продуктивность равна 165 м²%, а длина более 5 км. Величина и положение максимума кажущейся продуктивности зависят от расположения точек опробования в русле и являются случайными величинами и не могут служить основой количественной оценки прогнозных ресурсов.

На графиках изменения истинной продуктивности потока и вторичного ореола золота, приведенных на рис. 2, видно, что продуктивность потока увеличивается пропорционально изменению продуктивности ореола, что полностью согласуется с формулами (2) и (3), коэффициент пропорциональности между ними равен k' = 3,6. Его величину можно найти по па-

раметрам линейной функциональной зависимости продуктивности потока рассеяния от площади бассейна водосбора.

Существование линейной зависимости между продуктивностями ореола и потока позволяет оценивать величину коэффициента пропорциональности *k*' по данным геохимических съемок по потокам рассеяния до производства геолого-поисковых работ следующего этапа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев С. А. Модели количественной взаимосвязи вторичных ореолов и потоков рассеяния // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 5. – С. 19–22.
2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М. : Недра, 1983.
3. Кукал З. Скорость геологических процессов. – М. : Мир, 1987. – 245 с.

Восихов Ш. Т. (shohrukh992v@mail.ru), Литвиненко А. К. (akl1954@yandex.ru)
ФГБУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва

О ПЕРСПЕКТИВАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БИРЮЗЫ БИРЮЗАКАН, СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН НА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ И РАДИОАКТИВНЫЕ МЕТАЛЛЫ

На площади месторождения бирюзы Бирюзакан выявлены первичные геохимические аномалии редкоземельных (Y, Ce, La, Pr, Nd) и радиоактивных (Th, U) металлов. Кларки концентрации для Y 6–8, Ce 3–4, La 8–10, Pr 30–100, Nd 16–17, Th 1–6, U 6–140. Редкоземельная аномалия, вероятно, обусловлена минерализацией, обнаруженной нами в жиле гиббсита с малахитом. Редкоземельный минерал неправильной формы размером до 15 μm, в количестве более 70 микрозёрен. Его состав определён в следующих значениях (в мас. %): Nd_2O_3 – 29,3, Gd_2O_3 – 8,7, Sm_2O_3 – 7,4, La_2O_3 – 6,2, Y_2O_3 – 6,1, Pr_2O_3 – 5,1, Ce_2O_3 – 3, Dy_2O_3 – 2,3, CuO – 3,2, CaO – 4,9, F – 3,6, сумма 75,7. По-видимому, это гидроксилбастнезит-(Nd).

Ключевые слова: месторождение бирюзы, Бирюзакан, Карамазар, Северный Таджикистан, редкоземельные, радиоактивные, первичные аномалии.

Месторождение Бирюзакан находится в центре крупнейшего горнорудного района Карамазар, на южном склоне Кураминского хребта. Бирюзовый объект локализован в центре сложной системы глубинных разломов северо-восточного простирания: Тарыэканского, Баштавакского, Кошмулинского, Кызылтурского и Бирюзового [3]. Карамазар – крупнейший рудный район мирового значения. На его площади выделено 14 рудных полей [1], в состав которых входят такие крупные месторождения, как Большой Канимансур, Канджол, Кансай, Чорух-Дайрон, Чокодамбулак, Тарыэкан, Замбарак и др. Руды практически всех месторождений характеризуются многометалльностью. Например, руды Адрасман-Канимансурского рудного поля представлены семью элементами: Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, U, F [5]. Важнейшее значение в образовании и размещении рудных месторождений Карамазара играют системы сближенных глубинных разломов субширотного и северо-западного простирания. Глубинные долгоживущие разломы выполняли большую роль в геологической истории региона [2]. Одним из них является разлом Бирюзовый, контролирующий размещение Ag-Pb-Zn и Cu-Bi месторождений, в том числе бирюзовых проявлений и месторождения Бирюзакан (рис. 1). Севернее разлома расположена толща мраморизованных известняков и доломитов (D_3–C_1). Площадь месторождения сложена сильно изменёнными андезитовыми порфиритами (C_1). Их изменения проявлены в интенсивной каолинизации, серицитизации, эпидотизации и окварцевании. Полевые шпаты замещены минералами группы каолинита; темноцветные (биотит, пироксен и роговая обманка) – хлоритом и серпентином; халькопирит – малахитом; пирит, первые мм – гематитом. Рудные минералы рассматривались [4] как акцессорные. Крупных рудных скоплений на руднике предшественниками не установлено.

Нами в вулканитах в коренном залегании по штуфным образцам 7 × 7 × 7 см были установлены геохимические аномалии редкоземельных и радиоактивных металлов. Аномалии просле-

жены через Бирюзовый разлом в его лежачем боку, где отсутствует бирюзовая минерализация (см. рис. 1). Площадь аномалий составляет около 250 × 60–90 в лежачем боку и 250 × 25–60 метров в висячем боку разлома. Содержания установленных элементов помещены в таблицу.

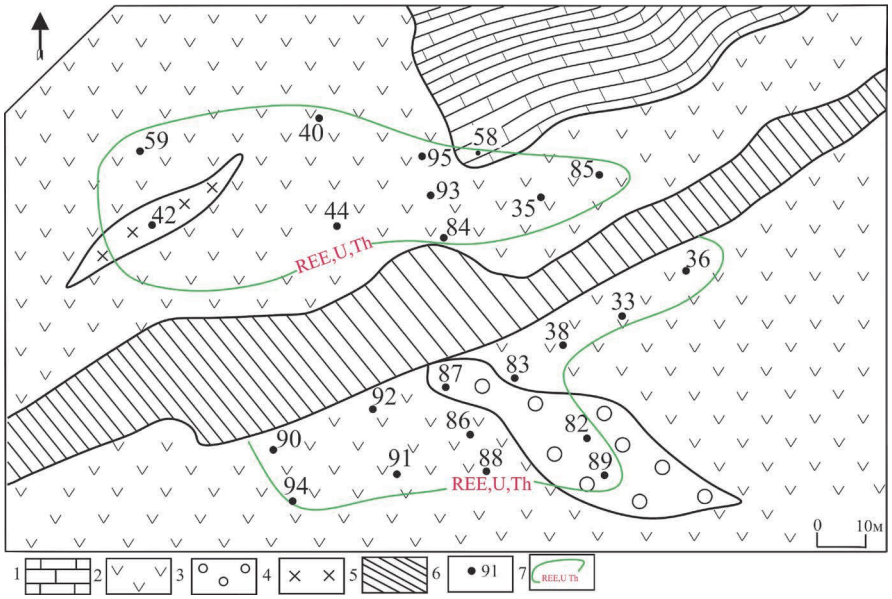


Рис. 1. Геологическая карта месторождения бирюзы Бирюзакан с геохимическими аномалиями редкоземельных и радиоактивных элементов (составлена на основе геологической карты м-ба 1 : 1000, С. Бурмистров и др., 1985):

1 – мраморизованные известняки и доломиты (D_2–C_1); 2 – андезитовые порфириты минбулакской свиты (C_1); 3 – вторичные кварциты по вулканитам; 4 – монцограниты; 5 – Бирюзовый разлом; 6 – точки отбора проб; 7 – контур геохимической анамалии

Таблица. Редкоземельные и радиоактивные элементы

Номер образца	Редкоземельные элементы, г/т						Номер образца	Радиоактивные элементы, г/т		
	Y	Ce	La	Pr	Nd	Сумма		Th	U	Сумма
33	29	150	–	–	289	468	33	29	9	38
35	25	–	–	–	–	25	35	14	6	20
38	5	–	–	–	–	5	38	5	7	13
40	42	–	59	150	115	366	40	9	6	15
42	20	–	–	–	–	20	42	44	12	56
44	26	–	–	–	–	26	44	14	5	19
58	–	177	–	–	–	177	58	9	6	15
59	14	–	170	206	378	768	59	34	10	44
82	–	209	157	201	395	962	82	12	4	16
84	45	–	–	–	–	45	83	42	13	55
85	47	219	130	244	423	1093	84	16	–	16
86	8	205	–	221	438	872	85	39	16	55
87	12	155	–	–	–	167	86	35	19	54
88	25	190	144	–	316	675	87	47	16	63
89	31	169	103	–	286	589	88	40	11	51
90	5	198	–	204	375	782	89	29	6	35
91	45	170	139	–	–	374	91	–	3	3
92	15	156	–	–	–	171	92	–	4	4
93	45	–	–	919	277	1238	93	16	7	23
94	177	315	139	244	422	297	94	35	10	45
95	255	–	152	–	–	407	95	–	420	420

Примечание. Прочерк – не установлено; съемка проводилась портативным РФА-спектрометром Vanta-M, Olympys, США. Анод трубки: Rh, мощность – 4 Вт, напряжение − 50 кВ, детектор SSD. Аналитик Саймудасири М., МГРИ.

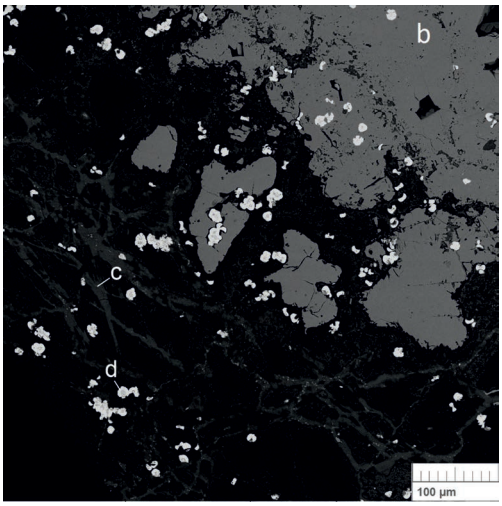


Рис. 2. Включения редкоземельных минералов (d) в гиббсите (c) и малахите (b)

Кларки концентрации для Y – 6–8, Ce – 3–4, La – 8–10, Pr – 30–100, Nd – 16–17, Th – 1–6, U – 6–140. Редкоземельная аномалия, вероятно, обусловлена минерализацией, обнаруженной нами в жиле гиббсита с малахитом. Она обнаружена в образце 6 6 мм. Редкоземельный минерал неправильной формы размером до 15 µm, в количестве более 70 микрозёрен (рис. 2). Его состав определён в следующих значениях (в мас. %): Nd_2O_3 – 29,3, Gd_2O_3 – 8,7, Sm_2O_3 – 7,4, La_2O_3 – 6,2, Y_2O_3 – 6,1, Pr_2O_3 – 5,1, Ce_2O_3 – 3, Dy_2O_3 – 2,3, CuO – 3,2, CaO – 4,9, F – 3,6, сумма 75,7. По-видимому, это гидроксилбастнезит-(Nd). Во флюорите Кансайского рудного поля установлены повышенные содержания REE [6], которые можно коррелировать с редкоземельной минерализацией Бирюзакана. Вероятно, это первая находка редкоземельной минерализации в Карамазаре.

В заключение отметим, что выявленные нами редкоземельные и радиоактивные аномалии в коренных породах позволяют наметить в Карамазаре новый перспективный участок на металлические полезные ископаемые.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бабаходжаев С. М., Орифов А. О., Джанобилов М. Д., Мамадвафоев М. М. Особенности рудоносности Карамазара // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Республики Таджикистан. – Душанбе, 2001. – С. 137–146.
2. Вольфсон Ф. И., Левин В. И., Лукин Л. И. Закономерности размещения эндогенной минерализации в Карамазаре // Геология и минеральные комплексы Западного Карамазара. – М. : Недра, 1972. – С. 4–17.
3. Литвиненко А. К., Восихов Ш. Т. Месторождения и проявления бирюзы и варисцита в Республике Таджикистан // Известия ВУЗов Геология и разведка. – 2024. – Т. 66, № 3. – С. 68–77.
4. Менчинская Т. И. Бирюза. – М. : Недра, 1989. – 192 с.
5. Сафонов Ю. Г., Бортников Н. С., Злобина Т. М., Чернышов В. Ф.,Джайнуков А. Б., Прокофьев В. Ю. Многометалльное (Ag, Pb, U, Cu, Bi, Zn, F) Адрасман-Канимансурское рудное поле (Таджикистан) и его рудообразующая система, I: геология, минералогия, структурные условия рудоотложения // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42, № 3. – С. 195–211.
6. Файзиев А. Р. Минералогия и условия образования многометального месторождения Большой Канимансур (Срединный Тянь-Шань). – Душанбе : Дониш, 2008. – 416 с.

Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В.
ФГБУН «ИГЕМ РАН», г. Москва

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ И ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Приведены и обсуждаются результаты пространственно-статистического ГИС-анализа соотношения месторождений медистых песчаников и глубинного строения земной коры. Выявлена пространственная приуроченность месторождений медистых песчаников и сланцев к ареалам развития рифтогенных структур и к участкам неоднородного глубинного строения земной коры. На основе полученных результатов уточнена прогнозно-поисковая модель.

Ключевые слова: медистые песчаники, рифты, земная кора, верхняя мантия, прогнозно-поисковая модель.

Стратиформные месторождения меди в осадочных породах относятся к объектам, слабо связанным с внутрикоровыми рудно-магматическими системами, а гипотезы рассольной природы медных руд этого типа ставят их в один ряд с эксгаляционными месторождениями, что требует новых подходов для их прогноза [8, 10, 11, 14 и др.]. Месторождения медистых песчаников и сланцев залегают в базальных красноцветных молассах внутрикратонных рифтогенных прогибов и обычно подстилаются мощными эвапоритовыми формациями. Рудовмещающие красноцветные комплексы перекрыты морскими и (или) озерными отложениями. Согласно одной из преобладающих гипотез, эти месторождения – конседиментационные и (или) диагенетические. Также обсуждаются и другие варианты геолого-генетических моделей стратиформных медных месторождений [7]: гидротермально-магматогенная, гидротермально-осадочная, эпигенетическая (гидрогенная), рифтогенно-флюидная, элизионно-стратифицированная и полигенно-полихронная. В частности, известно множество фактов, подтверждающих эпигенетическую модель формирования многочисленных месторождений медистых песчаников Предуралья [1, 3].

В настоящее время одна из мощных современных систем дистанционных данных о земной коре – данные космических гравиметрических измерений, полученные по проекту GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer). По результатам этого проекта были составлены глобальные модели глубинного строения и плотности земной коры и верхней мантии (GEMMA1.0, CRUST1.0, LITHO1.0) [15].

Пространственная связь медистых песчаников и сланцев с геодинамическими обстановками в большинстве случаев связывается с развитием рифтовых систем (рис. 1) и связанными с ними мантийными источниками рудоносных флюидов [12, 16]. Например, формирование си-



Рис. 1. Размещение месторождений медистых песчаников и сланцев в ареалах рифтогенных прогибов России

стемы Цехштейна-Купершифера объясняется, как процесс сверхглубинной гидротермальной активизации в нижней коре над горячими точками мантии или вблизи них [13]. Активизация предполагается в зоне мантийного теплового потока в рифтовых структурах, простирающейся на юго-запад от горячей точки Купершифер.

В целом ареалы развития рифтов сопровождаются увеличением мощности земной коры, что может быть связано с активизацией верхне-мантийных процессов и соответствующим разуплотнением с астеносферной среды. Пространственная связь стратиформных медных руд в основном в пределах кратонных структур, а также в палеозойских складчатых системах отмечается с областями относительно повышенной плотности земной коры. В молодых структурах Тетиса и Верхоянской системы, а также в архей-протерозойских выступах Балтийского и Алданского щитов эта связь отсутствует.

Кроме того, отмечается зависимость изменчивости толщины земной коры и ее плотности от возраста медистых песчаников и сланцев (рис. 2). Наиболее четко эта тенденция заметна в областях мезозойской и кайнозойской активизации, где плотность земной коры наименьшая, а температура повышена, вследствие повышенного термального фона верхней мантии [9].

ГИС-анализ размещения медистых песчаников и сланцев указывает также на их пространственную связь с региональными геохимическими мегааномалиями, с ведущей ролью халькофильных элементов. Мегааномалии меди приходятся на Алтае-Саянскую, Корякско-Камчатскую и Охотско-Чукотскую складчатые области, Пайхой-Новоземельский, Кавказский, Таймыро-Североземельский и Верхояно-Колымский регионы [5]. Так, на месторождении Ороек (Приколымский террейн) выделяется геохимический спектр минерализации – Cu-Ag-Mn-Co [2]. При этом медистые сланцы Приколымского террейна отличаются от медистых песчаников и сланцев Африканского пояса низкими содержаниями Co и Ni, а от Купершифера – низкой концентрацией Pb и Zn [6]. Вместе с тем медистые песчаники известны также в пределах мегааномалий с ведущей ролью литофильной группы при подчиненной роли халькофильной (Удоканское месторождение) [4]. В Предуралье крупный кластер месторождений этого типа залегает в пермских терригенных породах, характеризующихся ведущей ролью литофильных элементов при подчиненной роли халькофильной группы.

В заключение отметим, что основными поисковыми признаками месторождений медистых песчаников являются присутствие в фундаменте трансгрессивных морских толщ красноцветов, сероцветных глинистых и глинисто-карбонатных горизонтов, обогащенных остаточным органическим углеродом, а также литогеохимические ореолы рудообразующих и сопутствующих элементов. При этом размещение месторождений в пределах региональных геохимических аномалий контролируется халькофильными элементами.

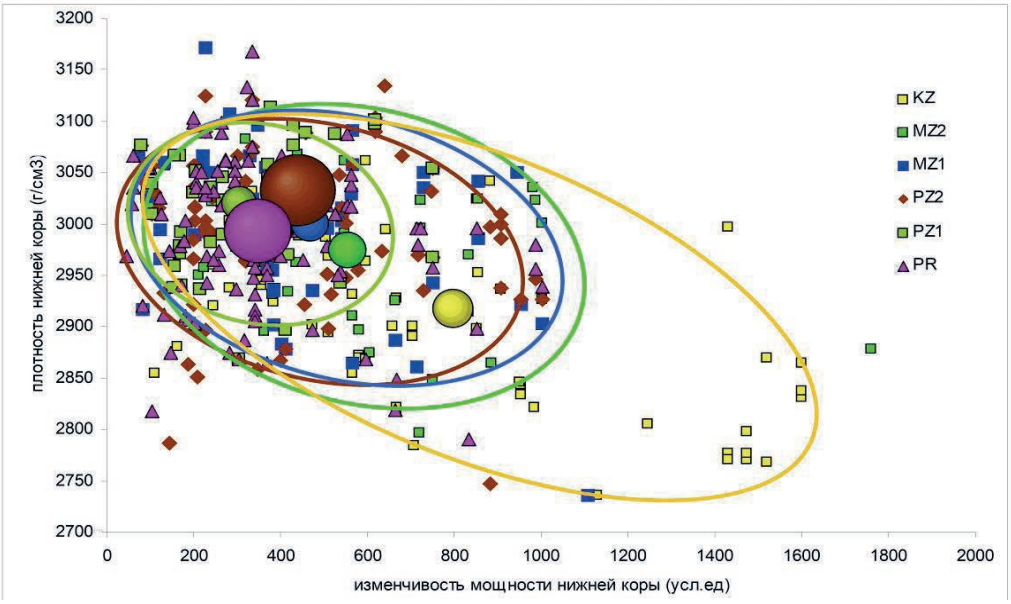


Рис. 2. Соотношения возраста медистых песчаников и сланцев с плотностью и изменчивостью нижней коры

В результате выполненных исследований рекомендуется также в региональных прогнозно-металлогенических построениях применять пространственно-статистические характеристики, выявляемые на основе пространственно-статистического ГИС-анализа. На основе этих результатов уточняется прогнозно-поисковая модель. Главным ожидаемым результатом прогнозных построений является выделение регионов, потенциально перспективных на выявление новых объектов медистых песчаников и сланцев.

Исследования выполнены в рамках госзадания ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волков А. В., Новиков И. А., Разумовский А. А., Мурашов К. Ю., Сидорова Н. В. Геохимические особенности и условия образования медистых песчаников Оренбургского Предуралья // Литосфера. – 2018. – № 18(4). – С. 593–606. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-593-606.
2. Глухов А. Н., Тюкова Е. Э. Геолого-генетические особенности Ороекского рудопроявления медистых сланцев (Приколымский террейн, Северо-Восток России) // Отечественная геология. – 2020. − № 1. – С. 52–65. − DOI: 10.24411/0869-7175-2020-10004.
3. Лядский П. В., Кваснюк Л. Н., Жданов А. В., Чечулина О. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист M-40 (Оренбург) с клапаном M-41. Объяснительная записка. – СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2013. – 392 с.
4. Немеров В. К., Будяк А. Е., Развозжаева Э. А., Макрыгина В. А., Спиридонов А. М. Новый взгляд на происхождение медистых песчаников месторождения Удокан // Науки о Земле и недропользование. – 2009. – № 35(2). – С. 4–17.
5. Петров О. В., Морозов А. Ф., Беляев Г. М. [и др.] Геохимическая карта России – принципы составления и металлогенические следствия // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 55–66. – EDN RHWLHP.
6. Савва Н. Е., Волков А. В., Галямов А. Л., Колова Е. Е., Мурашов К. Ю. Медистые сланцы Приколымского террейна (Северо-Восток России): минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 20–38.
7. Трубачев А. И. Генетические модели формирования руд медистых песчаников и сланцев // Вестник ЧитГУ. – 2010. – № 7 (64). – С. 106–113.
8. Brown A. C. Low-temperature sediment-hosted copper deposits // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Treatise on Geochemistry (Second Edition). – 2014. – № 13. – P. 251–271.
9. Cammarano F., Guerri M. Global thermal models of the lithosphere // Geophys. J. Intern. – 2017. – V. 210. – P. 56–72.
10. Cox D. P., Lindsey D. A., Singer D. A., Moring B. C., Diggles M. F. Sediment-hosted copper deposits of the world deposit models and database // U.S. Geological Survey, Canada, open-file report 03-107. – 2003. – P. 53.
11. Hitzman M. W., Shelley D. & Bull S. Formation of sedimentary rock-hosted stratiform copper deposits through earth history // Economic Geology. – 2010. – V. 105. – P. 627–639.
12. Jowett E. C. Genesis of Kupferschiefer Cu-Ag deposits by convective flow of Rotliegende brines during Triassic rifting // Economic Geology. – 1986. – V. 81. – P. 1823–1837.
13. Keith S. B., Spieth V., Rasmussen J. C. Zechstein-Kupferschiefer Mineralization Reconsidered as a Product of Ultra-Deep Hydrothermal, Mud-Brine Volcanism // Contributions to Mineralization. InTech. – 2018. Available from: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72560.
14. Muchez P. H., Mayer A. S., El Desouky H. A. & Reisberg L. Diagenetic origin of the stratiform Cu-Co deposit at Kamoto in the Central African Copperbelt // Mineralum Deposita. – 2015. – V. 50. – P. 437–447.
15. Pasyanos M. E., Masters T. G., Laske G. & Ma Z. LITHO1.0: An updated crust and lithospheric model of the Earth // Journal of Geophysical Research: Solid Earth, – 2014. – V. 119(3). – P. 2153–2173. https://doi.org/10.1002/2013JB010626.
16. Plant J. A., Jones D. G., Haslam H. W. The Cheshire Basin: Basin evolution, fluid movement and mineral resources in a Permo-Triassic rift setting. (Keyworth, Nottingham: the British Geological Survey). – 1999. – P. 263.

Голубев С. Ю. (sgolubev@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ВАЖСКОЙ ПЛОЩАДИ НА ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Перспективы выявления месторождений алмазов оцениваются на основе наличия прямых признаков алмазоносности в виде ореолов рассеяния минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) ближнего сноса. Ореолы рассеяния подобного типа могут быть обнаружены в составе первого промежуточного коллектора. В связи с этим было проведено исследование обнажений терригенных отложений нижнего карбона.

Ключевые слова: перспективы алмазоносности, терригенные отложения промежуточных коллекторов, ореолы рассеяния, минералы-индикаторы кимберлитов (МИК).

В южных частях Архангельской площади выделены площади, которые многими рассматриваются как потенциально перспективные на обнаружение коренных месторождений алмазов. В 1990-е и начале 2000-х годов здесь были выданы многочисленные лицензии на поиски, но месторождения не были обнаружены. Во многом это было связано со сложной поисковой обстановкой, при которой основные методы поисков алмазных месторождений – шлихоминералогия и магниторазведка – не позволяют получать однозначные результаты при идентификации объекта поиска «кимберлитовая трубка». Условия проведения поисковых работ на Важской площади являются типичными для южных районов Архангельской области.

В 2024 году были начаты прогнозно-минерагенические работы в пределах Важской площади. Основанием для их постановки является благоприятная структурно-тектоническая позиция; находки минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) в нижне- и среднекаменноугольных терригенных отложениях, залегающих непосредственно на потенциально кимберлитовмещающих породах, которые можно рассматривать как первичные коллектора; широкое распространение пиропов и единичные находки алмазов в аллювиальных отложениях. Еще одним благоприятным фактором, влияющим на перспективы территории, являются два алмазоносных тела (Мятозеро и Камениха) раннепротерозойского возраста ультраосновного состава в пределах Важской площади, что указывает на алмазоносность мантии.

Анализ материалов поисковых работ, выполненных предшественниками, не позволяет оценить имеющиеся прямые признаки алмазоносности как однозначно связанные с этой площадью. Так, в пределах Важской площади известны многочисленные находки МИК в составе аллювиальных отложений. При этом современные водотоки размывают различные типы четвертичных (ледниковых) отложений, для которых характерны различные по дальности транспортировки ореолы МИК. Классификация ореолов рассеяния изложена в методических рекомендациях [1]. Распределение пиропов в пределах Важской площади показывает их потенциальную связь с грубообломочными флювиогляциальными отложениями; их наличие в пределах развития четвертичных отложений мощностью более 60 м, где исключается поступление материала с базальных частей четвертичной толщи на поверхность, а также высокая степень износа МИК, хорошая сортировка и класс размерности -0,5 показывают, что данные пиропы относятся к ареалу рассеяния, потерявшему связь с источником. Это не позволяет связать их с потенциальными источниками в пределах Важской площади.

В то же время известные находки МИК хорошей степени сохранности в составе телзинской (C_1tz) и урзугской (C_2ur) свиты нижнего-среднего карбона, полученные в ходе работ ПАО АК «АЛРОСА», потенциально могут быть связаны с кимберлитами в пределах Важской площади. По данным предшественников, формирование осадков телзинской свиты началось с наступлением морского режима осадконакопления в неспокойной обстановке прибрежной зоны, далее после регрессии моря происходило в условиях континентальных фаций низменной озёрно-аллювиальной равнины (Степанов В. П., «Отчёт по региональному изучению Нижнеонежской и Лайской площадей с целью оценки перспектив алмазоносности нижнего течения реки Онега в 2004–2008 годах», 2009; Устинов В. Н., отчет «Оценка алмазоносного потенциала территории Карбонового уступа и сопредельных перспективных площадей», 2013).

Слабоизношенные кимберлитовые минералы (пироп и пикроильменит) выявлены в русловых и пойменных каменноугольных отложениях, а также на участках чередования этих фаций в разрезах телзинской и урзугской свит. В таких отложениях формируются ореолы рассеяния МИК ближнего сноса. Перемещение обломочного материала происходило в основном в юго-восточном направлении. Основными областями денудации этого времени являлись палеоподнятия, расположенные на западе и северо-западе территории, а для южной части Важской площади – на юго-западе, где находился палеокряж Ветреного пояса (Степанов В. П., 2009ф).

В Зимнебережном районе хорошо изучены терригенные отложения промежуточных коллекторов, перекрывающих срез кимберлитовмещающих пород. Отложения первого (нижний карбон) промежуточного коллектора, залегающие на породах венда, распространены ограниченно и представлены континентальными отложениями; они содержат МИК и алмазы и формируют ореолы рассеяния ближнего сноса. Залегающие выше отложения среднего карбона широко распространены. Выделяются две группы фаций: открытого шельфа (ореолы рассеяния ближнего сноса, как правило, не выходят за контуры трубок, максимальный установленный снос – до 2 км); фации подводных частей дельт характеризуются ореолами дальнего сноса, связанными со сваливанием аллювиального материала в виде водно-гравитационных потоков по склону подводной части дельты [2].

В связи с этим нами была поставлена задача выявления перспектив обнаружения месторождений алмазов в пределах Важской площади на основании получения прямых признаков алмазоносности путем опробования коренных выходов телзинской свиты нижнего карбона с оценкой дальности и направления транспортировки. При планировании проведения полевых работ основное внимание было уделено наличию коренных выходов первичных коллекторов (отложения телзинской свиты нижнего карбона) по данным предшествующих работ. Было выбрано три участка: Вонгуда, Кодино и Чешьюга.

При выполнении полевых работ получены следующие основные результаты:

1. Установлено, что в ходе полевых работ весьма сложно в обнажениях отличить карбоновые отложения от более молодых образований. В качестве примера приведем данные, полученные по участку Вонгуда, где в ходе полевых работ были встречены дельтовые наклонно-параллельно слоистые отложения, представленные песками (алевропесчаниками). В отложениях дельты встречен грубообломочный гравийно-галечно-песчаный прослой, в составе которого присутствует экзотический материал (55–60 %, представлен породами кристаллического фундамента, выходы которого известны на северо-западе от обнажения) и местным материалом (40–45 %, обломки пород платформенного чехла). Формирование данных осадков происходило в результате сброса аллювиальных отложений по подводной части дельты. В таких условиях формируются ореолы рассеяния МИК дальнего сноса. Данные отложения залегают согласно на кварцевых мелкозернистых хорошо сортированных песчаниках телзинской свиты нижнего карбона. Основным породообразующим минералом является кварц (> 90 %). Зерна кварца разной степени окатанности, без включений, размер 0,1–0,2 мм. Второстепенный минерал – слюда, форма – удлиненные таблички размером от 0,1 до 0,5 мм. Количество слюды в породе не больше 2 %. К акцессорным (второстепенным) минералам (около 1 %, возможно больше) относятся плагиоклаз, микроклин, альбит. Зерна ориентированы по удлинению – параллельная слоистая микротекстура породы. На основании полевых наблюдений был сделан вывод, что данные отложения относятся к нижнему карбону. Из грубообломочных отложений отобрана мелкообъемная проба 1 м^3. В составе тяжелой фракции пробы присутствуют: гидроксид Fe (5 %) – ильменит (8 %) – амфибол (11 %) – альмандин (67 %). В количестве первых процентов (1–3 %) в тяжелой фракции встречаются кианит, эпидот; в долях процента и знаковых количествах отмечаются: циркон, рутил, ставролит, лимонит, клинопироксен, сфен, лейкоксен, голубая шпинель, турмалин. Встречено два целых зерна хромшпинелидов, размером -0,5+0,25 мм, 2-го класса окатанности, и одно зерно золота. В составе тяжелой фракции МИК не обнаружены. Позднее выполненный спорово-пыльцевой анализ показал, что формирование данных отложений происходило в четвертичное время в прохладных климатических условиях. Подобные случаи надо учитывать в ходе дальнейших работ при интерпретации материалов опробования.

2. На участке Чешьюга в среднем течении одноименной реки встречены глыбы конгломерата телзинской свиты нижнего карбона на песчано-глинистом заполнителе красновато-коричневого цвета с местным обломочным материалом, представленным красноцветными аргиллитами (глинами) усть-пинежской свиты верхнего венда, карбонатными породами, кремнем, серыми аргиллитами, алевропесчаниками. По данным микронаблюдений пород, обломочный материал характеризуется хорошей степенью окатанности, а также отсутствием какой-либо сортировки материала. Породы характеризуются неоднородным составом и неравномерным распределением обломочного материала, песчаного заполнителя и цементирующего карбонатного материала. Границы между обломками пород в конгломерате от округлых и четких до разорванных (растащенных – пластическая деформация?). Встречаются образования, напоминающие оолиты (или псевдоооолиты) – округлые образования с концентрическим строением в центре образования – песчанистый материал (цемент породы?), пустоты, обломки фауны. Оолиты являются характерными образованиями теплого морского мелководья. Среди минералов тяжелой фракции в составе конгломерата отмечаются зерна альмандина (40 %), ильменита (20 %), отмечаются первые проценты амфиболов, единичные знаки эпидота, турмалина, гидроксидов железа, циркона, кианита, рутила, лейкоксена. Преобладающий класс крупности -0,25 мм. Отмечаются три зерна хромшпинелидов размером -0,25 мм, 1-го–4-го класса окатанности, полигенного морфогенетического типа. Таким образом, формирование данного осадка может быть объяснено поступлением с континента в нижне-карбоновое мелководное море водно-грязевого потока (селя) с кристаллического щита с захватом по пути отложений венда. В таких условиях формируются ореолы рассеяния МИК дальнего сноса. Расстояние переноса оценивается от 25 км. По данным лабораторно-аналитических исследований, в составе тяжелой фракции МИК не обнаружены.

По полученным результатам полевых работ можно сделать следующие выводы:

1. При проведении полевых исследований на территории Важской площади достаточно тяжело определить возраст отложений по взаимоотношениям различных типов пород.

2. На участке Чешьюга обнаружены глыбы конгломерата, обломочный материал которых сложен местными породами. Формирование данного осадка может быть объяснено поступлением с континента в нижне-карбоновое море водно-грязевого потока (селя), состоявшего преимущественно из вендского материала; расстояние переноса предварительно оценивается от 8 до 25 км. В составе отложений МИК не обнаружены.

3. Полученные на настоящий момент данные не позволяют в полной мере оценить перспективы Важской площади на выявление месторождений алмазов. В дальнейшем с целью получения прямых признаков алмазоносности рекомендуется провести бурение с опробованием нижнего-среднего карбона (телзинской и урзугской свит), которые для данной территории являются промежуточными коллекторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубев Ю. К. и др. Методические рекомендации по поискам коренных месторождений алмазов на «закрытых» территориях // М. : ЦНИГРИ, 2024. – 83 с.
2. Голубев Ю. К., Щербакова Т. Е., Колесникова Т. И. Особенности проведения шлихоминералогических поисков алмазных месторождений в условиях «закрытых» территорий северо-запада Российской Федерации // Отечественная геология. – 2009. – № 2. – С. 11–22.

Голубев Ю. К. (diamond@tsnigri.ru), Прусакова Н. А. (prusakova@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОПЫТ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ ОТКРЫТИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ В ПРЕДЕЛАХ ТЕРРИТОРИИ РФ

Прогнозно-ревизионные работы, выполненные за последние годы ФГБУ «ЦНИГРИ», позволили оценить потенциальную перспективность территорий Красноярского края, Иркутской области, Арктической зоны Якутии и Архангельской области на коренную алмазоносность. В результате выделены разноранговые площади и сделаны заключения о возможности постановки на этих площадях дальнейших тех или иных геологоразведочных работ.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, Красноярский край, Иркутская, Архангельская области, Якутия, Арктическая зона, перспективные на коренные алмазы площади.

В состоянии минерально-сырьевой базы алмазов РФ существуют значительные проблемы, связанные с исчерпанием запасов. Эта тема неоднократно поднималась на различных конференциях и совещаниях и была освещена в публикациях [1, 3], в которых было отмечено, что для поддержания текущего уровня алмазодобычи требуется в ближайшие годы открыть месторождение (месторождения) алмазов с суммарными запасами не менее 300–400 млн кар.

Исследования, направленные на решение данной задачи, выполняются ФГБУ «ЦНИГРИ» на протяжении последних лет в рамках работ по Госзаданию. В этих исследованиях важная роль отводится мелко-среднемасштабным (масштаба 1 : 1 000 000–1 : 100 000) прогнозно-ревизионным работам, которые выполняются камеральным путем на основе анализа ретроспективных геолого-геофизических материалов, находящихся в широком доступе [2]. К настоящему времени такие работы выполнены для территорий РФ, где возможно обнаружение коренных месторождений алмазов: Красноярского края и Иркутской области (работы выполнялись в м-бе 1 : 1 000 000), Арктической зоны Якутии (Оленёкское поднятие; работы выполнялись в м-бах 1 : 1 000 000 и 1 : 100 000), Архангельской области (Зимнебережный район; работы выполнялись в м-бе 1 : 100 000).

При проведении этих работ использовались методические подходы, разработанные ФГБУ «ЦНИГРИ» и изложенные в «Методических рекомендациях по поискам коренных месторождений алмазов на "закрытых" территориях», согласованных Роснедрами в 2023 году [4]. Результаты прогнозно-ревизионных работ позволили оценить потенциальную перспективность изученных территорий на коренную алмазоносность, выделить разноранговые алмазоперспективные площади и сделать заключение о возможности постановки на этих площадях дальнейших тех или иных геологоразведочных работ (ГРР): либо поисковых работ, либо их доизучения с рекомендациями, какие виды работ необходимо провести.

Основные результаты и выводы выполненных прогнозно-ревизионных работ сводятся к следующим.

При проведении прогнозно-ревизионных работ в пределах Красноярского края и Иркутской области с использованием комплекса геолого-геофизических предпосылок были выделены четыре региональные площади: в Красноярском крае – Тейская (25 тыс. км^2) и Тарыдакская (15 тыс. км^2), в Иркутской области – Северо-Иркутская (порядка 82,5 тыс. км^2) и Присаянская (порядка 60 тыс. км^2). Согласно разработкам ФГБУ «ЦНИГРИ», эти площади предварительно могут рассматриваться в качестве перспективных площадей, в пределах которых с наибольшей вероятностью можно ожидать проявления алмазоносного (в том числе промышленно алмазоносного) магматизма. Однако сделать однозначные выводы (с использованием минералогических критериев) о перспективности или бесперспективности выделенных площадей, исходя из анализа имеющихся ретроспективных данных, не представилось возможным. К сожалению, при проведении предшествующих работ не было уделено достаточного внимания специфике осадконакопления и связанным с этим процессам транспортировки алмазов и минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) как в составе дочетвертичных коллекторов, так и при формировании долинных комплексов современных рек. Из-за этого не были в должной степени оценены дальность и направления транспортировки алмазов и МИК. Во многих случаях остались

недоизученными МИК из состава ореолов рассеяния и особенно из мест россыпепроявлений алмазов. Для решения данного вопроса нами было рекомендовано проведение ГДП-200 в пределах указанных выше алмазоперспективных площадей, выделенных с использованием комплекса геолого-геофизических предпосылок на изученных территориях Красноярского края и Иркутской области.

В пределах территории Архангельской области наиболее перспективным для обнаружения месторождений алмазов остается Зимнебережный район. Здесь при проведении прогнозно-ревизионных работ с использованием комплекса геолого-геофизических предпосылок были выделены: перспективная площадь ранга алмазоносного (Зимнебережного) поля (ее площадь составляет порядка 4500 км^2) и четыре участка в её пределах, где возможно обнаружение новых алмазоносных тел: Западно-Золотицкий (площадью порядка 200 км^2), Верхнеотугский (площадью порядка 300 км^2), Падунский (площадью порядка 430 км^2), Западно-Пачугский (площадью порядка 150 км^2). Более или менее однозначно минералогическими данными подтверждена перспективность на коренную алмазоносность двух участков: Западно-Золотицкого и Вехнеотугского. В их пределах были идентифицированы ореолы рассеяния МИК ближнего сноса. Однако данные участки практически полностью закрыты работами недропользователей. Получение в пределах Падунского и Западно-Пачугского участков прямых признаков алмазоносности в виде ореолов рассеяния МИК ближнего сноса затруднено. Большая часть территории этих участков не занята лицензионными площадями недропользователей.

Результаты выполненных к настоящему времени исследований показали, что на Сибирской платформе максимальной степенью перспективности на обнаружение богатых месторождений алмазов с ресурсами не менее 300–400 млн карат обладает территория ее северо-востока (Арктическая зона Якутии) [3]. Здесь известны многочисленные россыпи (в том числе с промышленными содержаниями) и россыпепроявления алмазов, коренные источники которых неизвестны.

Проведенные здесь в различные годы поисковые работы не привели к положительным результатам. В связи с этим ФГБУ «ЦНИГРИ» поставило перед собой задачу обосновать и предложить площади, перспективные на обнаружение коренных месторождений алмазов. При решении данной задачи в ходе выполнения прогнозно-ревизионных исследований м-ба 1 : 1 000 000 по результатам комплексирования региональных глубинных геофизических предпосылок были выделены три региональных площади: Вилюй-Мархинская (площадью порядка 180 тыс. км^2; в пределах рассматриваемой территории расположена его северная периферическая часть), Анабарская (площадью порядка 40 тыс. км^2) и Оленёкская (площадью порядка 84 тыс. км^2). Данные площади по своим глубинным характеристикам (мощная и холодная литосфера, кристаллическая кора повышенной мощности) могут соответствовать алмазоперспективным площадям, в пределах которых целесообразно проводить дальнейшие более детальные ГРР, направленные на выделение площадей под постановку прогнозно-минерагенических работ (ПМР) и далее – более локальных площадей непосредственно под поиски коренных месторождений алмазов. Такие детальные (м-ба 1 : 100 000) работы проводились нами в последние годы в пределах Оленёкской алмазоперспективной площади.

По результатам этих работ были выделены три площади для проведения ГРР различных стадий: Келимярская, Восточнооленёкская и Сололийская. Для Келимярской и Восточнооленёкской площадей подготовлены обоснования проведения поисковых работ на алмазы (начало работ в текущем году). Сололийская площадь рекомендована на постановку ПМР. Она была выделена по результатам интерпретации (включая геолого-геофизическое моделирование глубинного строения земной коры) геофизических данных и материалов дистанционного (космического) зондирования. Выполненный анализ особенностей распределения алмазов и ореолов рассеяния МИК, известных в пределах и ближайшем окружении Сололийской площади, позволяет предполагать их снос непосредственно с этой территории. При этом интерпретация распределения алмазов в водотоках была основана на учёте особенностей формирования осадков, выполняющих долины рек в процессе дегляциации территории.

Было показано, что комплекс долинных осадков связан с водно-грязевыми потоками селевого типа, которые формировались в ходе катастрофических спусков временных ледниковых

озер. На этой основе были выделены два участка возможной мобилизации алмазов в осадочный процесс. Данные участки достаточно уверенно коррелируются с результатами дешифрирования материалов дистанционного зондирования, направленного на выявление положения кимберлитовых магматических очагов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубев Ю. К., Гаранин К. В., Кошкарев Д. А., Голубева Ю. Ю., Шахурдина Н. К. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2020. – № 6. – С. 3–11.
2. Голубев Ю. К., Прусакова Н. А. Роль прогнозно-ревизионных исследований на начальной стадии алмазопоисковых работ (Республика Саха (Якутия)) // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 99. – С. 34–43.
3. Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Голубева Ю. Ю. Проблемы воспроизводства минерально-сырьевой базы алмазов Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2022. – № 2. – С. 27–34.
4. Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Микоев И. И. и др. Методические рекомендации по поискам коренных месторождений алмазов на «закрытых» территориях. – М. : ЦНИГРИ, 2024. – 82 с.

Горячев Н. А. [1] (goryachev@neisri.ru), Чан Туан Ань [2], Фам Нгок Кан [2], Неволько П. А. [3], Ву Хоанг Ли [2], Светлицкая Т. А. [3], Шелепаев Р. А. [3], Чан Чонг Хоа [2] (trantronghoavn@gmail.com), Изох А. Э. [3], Чан Куок Конг [2], Нго Тхи Хыонг [2], Нго Тхи Фыонг [2], Дао Тхай Бак [4], Фам Тхи Фыонг Лиен [2]

[1] Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило, ДВО РАН, г. Магадан, Россия;

[2] Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, г. Ханой, Вьетнам;

[3] Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Россия;

[4] Вьетнамская геологическая служба, г. Ханой, Вьетнам

О МЕТАЛЛОГЕНИИ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ МЕТАЛЛОВ ОРОГЕННОГО ПОЯСА ЧУОНГ ШОН И ПРИЛЕГАЮЩИХ СТРУКТУР (ВЬЕТНАМ)

Показан Au-Cu металлогенический профиль орогенного пояса Чуонг Шон, с подчиненным значением Sn-Li-оруденения. Оценено значение разновозрастных этапов минералогенеза. Отмечена важная роль интерференции орогенных и плюмовых металлогенических событий. Дана общая оценка перспектив Au, Cu и Sn-редкометалльной минерализации.

Ключевые слова: металлогения, золото, медь, олово, литий, орогенный пояс, ранний и поздний палеозой, триас, Вьетнам.

Пояс Чуонг Шон является главной орогенной структурой Северо-Западного и Центрального Вьетнама. В его составе известно большое количество разнотипных месторождений Au, Cu, Pb, Zn, Sb, Sn, W, Li и других элементов, которые образовались в течение процессов его формирования в разных геодинамических обстановках. В истории орогенного пояса проявились два этапа орогенеза: в раннем палеозое и позднем палеозое–раннем мезозое. Они фиксируются как в региональных перерывах в осадконакоплении (в среднем ордовике и в первой половине поздней перми), так и в этапах проявления метаморфизма амфиболитовой и зеленосланцевой фаций в 470–410 млн лет и эклогитовой и гранулитовой фаций в 260–245 млн лет. Им соответствуют и магматические события. Раннепалеозойские граниты наиболее проявлены в субтеррейнах Шонг Чай (Сино-Вьетнамский террейн) и в субтеррейнах Шонг Ма и Да Нанг (Вьет-Лао террейн) и в северной части террейна Кон Тум. Позднепалеозойские–раннемезозойские магматиты эволюционировали от островодужных эффузивов и I типа гранитоидов с датировками 295–260 млн лет к орогенным гранитоидам I- и S-типа с датами 250–236 (245–249) млн лет и посторогенным высококалиевым вулкано-плутоническим ассоциациям, сформированным в ин-

тервале 250–200 млн лет [2, 3, 5]. Одновременно с ними сформировались производные Эмейшаньского плюма в северной части пояса (базальты, коматииты и перидотиты 270–255 млн лет, кислые эффузивы и субщелочные граниты 261–248 млн лет и поздние габбро-сиениты 247–233 млн лет) [1–3]. Сложная геологическая история пояса Чуонг Шон и окружающих территорий обусловила его металлогенические особенности: Cu и Au в Шонг Да, Au, W и Mo в Шонг Ма, Au и Mo в Там Ки-Фуок Шон, Au-Cu-Mo в Кон Тум, Sn в осевой части пояса Чуонг Шон и в окраине Кон Тума).

Золотое оруденение. Анализ золоторудных объектов Вьетнама [4] позволил выделить три типа собственно золоторудной минерализации: орогенный Au-кварцевый, Au-Sb и Au-сульфидно-вкрапленный и два золотоносных типа – Cu-порфировый и скарновый. В настоящее время мы получили новые данные, позволяющие выделить еще эпитермальный Au-кварцевый тип (месторождение Са Кхеа), который ассоциирует с ареалами Cu-порфировой минерализации.

Проведенные нами исследования рудной минерализации в разных частях орогенного пояса Чуонг Шон позволяют предположить наличие в нем четырех этапов проявления рудной минерализации: ордовик-силурийский, пермский, пермо-триасовый и триасовый. Ранний этап, судя по ксенолитам кварцевых жил в ордовик-силурийских гранитах, связан с процессами раннепалеозойского метаморфизма, который явился первопричиной формирования наиболее продуктивного полихронного (ордовик–силур и пермь–триас) Там Ки-Фуок Шон золоторудного пояса [6]. Анализ пространственного и временного распределения месторождений и рудопроявлений орогенного золота относительно ареалов интенсивного метаморфизма позволяет принять для обоих временных этапов формирования орогенной золоторудной минерализации метаморфогенную модель, с коровым источником золота, судя по изотопным данным [4] и нашим дополнительным материалам, при важной роли разломной тектоники как зоны транзита рудоносных флюидов, которые разгружались в разломах высоких порядков среди относительно слабометаморфизованных осадков. В то же время широкое проявление на современном уровне среза продуктов высокоградного метаморфизма свидетельствует об относительно высокой эрозии метаморфогенной золоторудообразующей системы орогенного пояса Чуонг Шон.

Для эпитермального типа золоторудной минерализации месторождения Са Кхеа (судя по геологическим и минералогическим данным) следует принять магматогенную модель связи оруденения с субвулканическими породами, распространенными на площади рудного поля. Перспективы такого оруденения связаны с полями развития вулканических и субвулканических магматических процессов субдукционного типа пермского возраста, которые наиболее развиты в приграничной с Лаосом территории.

Sn-Li-редкометалльное и W оруденение. В орогенном поясе Чуонг Шон известно весьма небольшое количество таких объектов. Это район Кхе Бун (провинция Ха Тинь), один объект около г. Хюэ, рудное поле Ба На около Дананга и рудное поле Ла Ви на северо-восточном фланге Кон Тума. Следует отметить, что эти оловорудные объекты имеют повышенную литиеносность [3]. Они относятся к типу редкометалльных пегматитов генетически связанных с триасовыми гранитоидными плутонами. То есть это син-позднеколлизионные плутоногенные месторождения. Несколько иной тип шеелит-кварцевых гидротермальных жил проявлен в экзоконтактовом ареале раннетриасового (Там Ки-Фуок Шон 235 млн лет) гранитного плутона в среднем течении р. Шонг Ма (Бан Нга), который является типичным постмагматическим гидротермальным объектом также плутоногенного типа.

Cu минерализация. Ареалы Cu минерализации достаточно широко распространены в структурах пояса Чуонг Шон в тесной связи с габбро-гранитными массивами I типа (с габброидами ранних фаз). Однако промышленное значение их невелико из-за малых размеров рудопроявлений. Гораздо большее внимание привлекает позднепермская порфировая адакитовая рудномагматическая ассоциация (массив Та Лао, в Куанг Чи). В соседнем Лаосе с ней связаны Cu-порфировые месторождения мирового уровня (Сепон и пр.), поэтому в прилегающих структурах Вьетнама предполагаются подобные объекты. Эти адакитовые гранитоиды по своим минералого-геохимическим характеристикам максимально приближены в потенциально рудоносным в части порфировой минерализации породам. Поэтому следует провести более детальные исследования проявлений этого магматизма, как наиболее перспективного с точки

зрения выявления порфирового оруденения в южной части провинции Куанг Чи и западной приграничной части провинции Thua Thien Hue.

С плюмовыми мафит-ультрамафитовыми массивами в северо-западном Вьетнаме в зоне Шонг Да связано Cu-Ni с платиноидами месторождение Бак Фуок позднемагматического генезиса. Оно заметно отличается от раннеорогенного чисто медного магматогенного оруденения не только минералогически, но и по данным изотопного состава S (стабильно -4,0…-3,0 ‰). Помимо этого, с проявлениями Эмейшаньского плюма генетически (или парагенетически) связано распространение поздней Sb минерализации, образующей субширотный ареал проявлений, формирующих внешнюю удаленную металлогеническую зону собственно плюмового металлогенического ареала. В этой зоне формировались своеобразные Au-Sb месторождения полигенного и полиформационного типа (Та Сой и др.), возникшие вследствие наложения Sb минерализации на орогенное Au оруденение. Данное предположение еще требует дальнейшего исследования, но связь с Эмейшаньским плюмом дополнительно подтверждается изотопно-легким составом S антимонита.

Таким образом, специфика металлогенических особенностей орогенного пояса Чуонг Шон заключается: 1) в двухэтапности проявления орогенных (коллизионных) событий (ранний палеозой – Au, W; поздний палеозой–ранний мезозой – Au, Cu, Sn-Li, Mo); 2) в проявлении (помимо коллизии) позднепермского островодужного этапа с собственной металлогенической историей (эпитермальное Au-Ag и Cu-порфировое оруденение), который требует более глубокого исследования в приграничной с Лаосом территории провинций Quang Tri и Thua Thien Hue; 3) в совпадении главного орогенного позднепалеозойско-раннемезозойского этапа с процессом формирования Эмейшаньского плюма, что вызвало своеобразную интерференцию металлогенических событий и выделению особого типа Cu-Ni и Au-Sb минерализации; 4) для орогенного пояса в целом характерен благороднометалльно-халькофильный металлогенический профиль, с подчиненным значением олово-редкометалльного, что отражает фемический или фемисиалический состав подстилающей коры; 5) основные перспективы в минерально-ресурсном плане следует связывать с орогенным типом золотой минерализации с учетом ее двухэтапного происхождения. Вопрос о значимости эпитермального и медно-порфирового оруденения (а также олово-литиевого) требует дальнейшего исследования.

Работа выполнена в рамках проекта «Эволюция Палеозой-мезозойского магматизма и связанная металлогения складчатого пояса Truong Son». Код: ĐTĐLCN.15/23.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чан Чонг Хоа, Изох А. Э., Поляков Г. В., Борисенко А. С., Ань Чан Туань, Балыкин П. А., Фыонг Нго Тхи, Руднев С. Н., Ван Ву Ван, Ньен Буй Ан Пермотриасовый магматизм и металлогения Северного Вьетнама в связи с Эмейшаньским плюмом // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 48, № 7. – С. 637–651.
2. Geology and Earth Resources of Vietnam. – Hanoi : Publishing House for Science and Technology, 2011. – 646 p.
3. Geology and GeoResources of Vietnam. – Hanoi: Publishing House for Science and Technology, 2023. – 349 p.
4. Goryachev N. A., Tran Trong Hoa, Mai Trong Tu. Gold Metallogeny of Vietnam as a Part of the East Asia Gold Metallogeny // Geology and Metallogeny of Vietnam. Proceedings of International Symposium on the 35th anniversary of collaboration between the Institute of Geological Sciences, VAST and the Institute of Geology and Mineralogy SB-RAS, 28 March 2019 Hanoi. – Vietnam, Hanoi : Publishing House for Science and Technology, 20191. – P. 15–35.
5. Tran Trong Hoa, Tran Tuan Anh, Ngo Thi Phuong, Pham Thi Dung, Tran Viet Anh, Izokh A. E., Borisenko A. S., Lan C. Y., Chung S. L., Lo C. H. Permo-Triassic intermediate-felsic magmatism of the Truong Son belt, eastern margin of Indochina // C. R. Geoscience. – 2008. – V. 340. – P. 112–126.
6. Tran Hai Thanh, Zaw Khin, Halpin Jacqueline A., Manaka Takayuki, Meffre Sebastien, Lai Chun-Kit, Lee Youjin, Le Hai Van, Dinh Sang The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications // Gondwana Research. – 2014. – V. 26. – P. 144–164.

Гриненко В. С. (grinenkovs52@mail.ru), Баранов В. В. (baranowvalera@yandex.ru), Васильева Т. И. (vasilevatig@yandex.ru)
ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

СТРАТИФИЦИРОВАННЫЙ ТРЕНД РУДОНОСНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МЕТАЛЛОГЕНИИ В ДОКЕМБРИИ И ФАНЕРОЗОЕ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ

Установлен стратифицированный тренд рудоносной нелинейной металлогении в докембрии и фанерозое на северо-востоке Азии, который является новым типом продуктивных поясов надрегионального масштаба с разнообразной эндогенной и экзогенной металлогенией (алмазы, благородные, легирующие, цветные металлы, фосфориты, концентрированные углеводороды).

Ключевые слова: северо-восток Азии, докембрий, фанерозой, вулканизм, тренд нелинейной металлогении.

По представлениям Ю. М. Пущаровского [6] о диссимметрии тектонической структуры земной коры, регион исследований находится в зоне сочленения Атлантического и Тихоокеанского сегментов Земли. Эта зона трассируется на сфере геоида Арктическо-Восточно-Тихоокеанским планетарным линеаментом, а в пределах северо-востока Азии – надрегиональным (от абиссальной ступени моря Лаптевых до глубоководной впадины Охотского моря) рудоносным трендом северо-западного (310–320°) простирания, эволюция которого прослеживается в протерозое [4] и фанерозое [2]. Этот рудоносный тренд в пределах континентальной части северо-востока Азии (с северо-запада на юго-восток: Красноярский край, Якутия, Хабаровский край и Приморье) на дневной поверхности представляет собой широкую (100–120 км) полосу сближенных разрывных нарушений и участков повышенной трещиноватости, включающей четыре продольных линейных продуктивных стратифицированных таксона: *риф*, *пояс*, *трог*, *гряда*.

На западном фланге этой полосы геологической съемкой и по скважинам глубокого бурения закартирован Анабаро-Синский археоциатово-биостромовый барьерный риф кембрийского возраста, который в виде невысокого (до 200–250 м) тектонического порога соединяет Алданский щит с Анабарским массивом. За пределами Якутии этот риф на северо-западе платформы прослеживается по правобережью р. Енисей до пос. Игарка, а на юго-востоке и за её пределами – до острова Б. Шантар (Охотское море). Биогермные постройки барьерного рифа специализированы на вкрапленное и линзовидно-пластовое свинцово-цинковое с серебром оруденение стратиформного типа (бассейн рек Синей, Ботомы и Б. Котуя), о чем свидетельствуют отдельные находки включений «свинчаков в церусситовой рубашке» в карбонатных породах усть-ботомской свиты среднего кембрия (до 1,5–2 см в поперечнике), а также развалы оруденелых карбонатных пород возле старательских выработок (проявления Кетеме, Арга-Сала и др.) и гидротермально-измененных доломитизированных и прокварцованных биогермных построек в кетеменской свите нижнего кембрия ($C_{орг}$ = 0,33 % на породу; элементы, заслуживающие внимания по результатам спектральных анализов: Cr, Ti, Ni. V, Cu, Pb, Zn, Ge, Mn, Au, Ag). По мнению специалистов СНИИГГиМСа, с такими биогермными археоциато-водорослевыми постройками, экранированными регионально выдержанными покрышками (куонамская, синская, иниканская свиты), на древних платформах обычно прогнозируются крупные залежи концентрированных углеводородов (нефть, газ, битумы и др.).

Непосредственно под барьерным рифом (на глубине 500 м и более) на эродированной поверхности кристаллического фундамента локализованы гиганские (до 250 км в поперечнике) расслоенные металлоносные базит-гипербазитовые абиссолиты бушвельдского (Cr, V, Pt), Садбери (Cu, Ni, Co, Pt) типов. Результаты интерпретации аномалий поля силы тяжести показали, что в совокупности они образуют протяженный на 3000 км рудный суперпояс «Западно-Якутский риф» [5], на западном окончании которого находится Норильско-Талнахская металлоносная трапповая мульда (Cu, Ni, Co, Pt), в центральной части – Средне-Амгинская герцинская структурная палеоседловина. Здесь впервые выделяется Чопчи-Кетеминское вулканическое поле с венд-нижнекембрийскими долеритами, а в Бологур-Юряхском грабене, в «докатских» терригенных слоях, прогнозируются индикаторные минералы кимберлитов. На юго-восточном окончании суперпояса доизучается проявление платиноносных расслоенных анортози-

тов Няндомы (хр. Становой и Джугджур), а также продуктивная россыпь минералов платины и хромшпинелидов на мысе Феклистова (о-в Б. Шантар).

В предрифовой фациальной зоне максимумами изопахит майского яруса (600–800 м) оконтурен относительно узкий трог протяженностью 1600 км, выполненный горючими сланцами (доманикитами) куонамского, синского и иниканского горизонтов нижнего-среднего кембрия. Сланцы содержат сорбированный комплекс тяжелых металлов (V, Cu, Mo, Ni, Pt) и представляют интерес для промышленной оценки их металлоносности [3].

Погребенный базит-гипербазитовый пояс контролирует локализованные в осадочном чехле высоко алмазоносные кимберлитовые поля: Далдынское, Алакитское и Накынское, из которых последние приурочены к поперечным рассечкам пояса, выраженным малоамплитудными валами по отражающему сейсмическому горизонту «КВ» (Далдыно-Алакитский и Онхойдохский). Месторождение-гигант трубка Удачная прорывает биостромные постройки кембрийского рифового барьера. В трубке Комсомольская (Верхне-Мунское кимберлитовое поле) установлены ксенолиты полосчатых хромитов, характерных для расслоенных рудоносных интрузий.

На восточном фланге рудоносного тренда, по характерным линейным ступеням и дугообразным максимумам силы тяжести, прослежена система протяженных (до 200–300 км) надвиговых чешуй от восточного побережья п-ова Таймыр до западной окраины о. Сахалин [2]. В совокупности надвиги образуют единую гряду протяженностью до 4650 км, прерывисто маркированную в Восточной Якутии выходами олистостром и обвально-оползневых брекчий палеовилюйского (C_1t_2–C_1v_1), сибирского (C_1v_2–P_3v), янского (T_1i–T_3r_1), лаптевского (T_3r_2–J_3v_2) и китчанского (K_1b–K_1a) подкомплексов верхоянского терригенного комплекса (C_1t_2–K_1a). Анализ данных показывает, что с поднадвиговыми бассейнами-резервуарами (выступы мыса Бегичева в Хатангском заливе, на Уэль-Сиктяхском, Джарджанском и Томпонском выступах западной периферии Верхояно-Колымской складчатой области) [1] могут ассоциировать нефтяные гиганты мирового класса типа уникально богатых продуктивных бассейнов США. Тектоническая природа формирования выявленных бассейнов-резервуаров с перспективными месторождениями металлонафтидов (Pt, V, Mo, Co и др.) подобна поднадвиговому бассейну Уинд-Ривер (Скалистые горы Вайоминга) и месторождениям-гигантам Западно-Техасского бассейна (зона сочленения техасского форланда с системами Маратон, Уачита и Вичита Аппалачских гор).

Впервые для крупного геологического региона (Лено-Амгинского междуречья, Центральная Якутия) с традиционным двухъярусным (вендско-нижнепалеозойский и мезо-кайнозойский) строением осадочного платформенного чехла разработана новая модель трехъярусного строения. В ней третий промежуточный средне-, верхнепалеозойский, нижнегерцинский ярус представлен терригенными отложениями «докатского карбона», залегающими трансгрессивно на археоциатовых постройках кембрийского барьерного рифа и перекрытыми со структурным несогласием конгломератами нижней юры (укугутская свита). Такое стратиграфическое положение реликтов промежуточного яруса имеет определяющее значение для поисков новых алмазоносных кимберлитовых тел по схеме «протоколлектор – коренной источник». Таким образом, стратифицированный тренд рудоносной нелинейной металлогении на северо-востоке Азии в протерозое–фанерозое является новым типом продуктивных поясов надрегионального масштаба с разнообразной эндогенной и экзогенной металлогенией (алмазы, благородные, легирующие, цветные металлы, фосфориты, концентрированные углеводороды).

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и профинансирована Минобрнауки России, проекты FUFG-2024-0005 и FUFG-2024-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриненко В. С., Баранов В. В. Верхояно-Охотская черносланцевая рудоносная провинция на северо-востоке Евразии и её перспективная минерагения // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценке месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: Сборник тезисов докладов XIII международной научно-практической конференции (10–12 апреля 2024 г.). – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 96–98.
2. Гриненко В. С., Баранов В. В., Девятов В. П. Северо-Азиатская черносланцевая рудоносная мегапровинция на северо-востоке Евразии и её перспективная минерагения. – DOI :10.47765/0869-5997-2022-10009 // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 36–55.

3. Мишнин В. М., Гриненко В. С. Металлоносные черносланцевые троги зоны перехода «Сибирская платформа – Верхояно-Колымская складчатая область» // Актуальные проблемы рудообразования и металлогении: Тезисы докладов международного совещания, посвященного 100-летию со дня рождения академика В. А. Кузнецова (10–12 апреля 2006 г.). – Новосибирск : Гео, 2006. – С. 157–159.
4. Мишнин В. М., Истомин И. Н., Гриненко В. С. Новая рудоносная провинция на востоке Сибирской платформы // Вестник Госкомгеологии РС (Я). – 2002. – № 1 (2). – С. 6–14.
5. Мишнин В. М., Истомин И. Н., Гриненко В. С. Перспективы изучения потенциального рудоносного суперкомплекса «Западно-Якутский риф» (кумулятивные хромиты, сульфидно-никелевые руды с платиноидами, стратиформные свинец и цинк, алмазоносные кимберлиты, концентрированные углеводороды, фтанитовые фосфориты) // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного ун-та, 2003. – С. 323–325.
6. Пущаровский Ю. М. Введение в тектонику Тихоокеанского сегмента Земли. – М. : Наука, 1972. – 222 с.

Громцев К. В. (k_gromtsev@mail.ru), Прусакова Н. А. (naprusakova48@gmail.com)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ОЛЕНЁКСКОЕ ПОДНЯТИЕ)

Приведены результаты локализации алмазоперспективных площадей в пределах Оленёкского поднятия, выполненной с привлечением материалов дистанционного зондирования. Выделен ряд линейных тектонических зон – элементов строения Далдыно-Оленёкской и Молодо-Попигайской кимберлитоконтролирующих зон. Также была выделена взаимоувязанная система радиально-кольцевых структур, связанных с разноглубинными мантийно-коровыми источниками. Областью полного пространственного совмещения всех выделенных структур определена позиция Сололийской алмазоперспективной площади.

Ключевые слова: россыпи, коренные источники алмазов, материалы дистанционного зондирования, радиально-кольцевые структуры, алмазоперспективные площади, Оленёкское поднятие.

Северо-восток Сибирской платформы является одним из регионов РФ, где возможно открытие крупных коренных месторождений алмазов. Здесь, на территории Лено-Анабарского междуречья, открыто около сотни россыпей (в том числе с промышленными содержаниями) и россыпных проявлений алмазов, коренные источники которых не найдены. В сложившейся ситуации актуальной была и остается задача по обнаружению коренных источников алмазов этих россыпей и в связи с этим по локализации алмазоперспективных площадей, в пределах которых целесообразно проводить их поиски.

Отделом алмазов ФГБУ «ЦНИГРИ» на протяжении ряда последних лет в рамках выполнения задач Госзадания проводятся работы по выделению таких алмазоперспективных площадей на территории расположенного на северо-востоке Сибирской платформы Оленёкского поднятия и его обрамления. При проведении этих работ используются методические подходы, разработанные ФГБУ «ЦНИГРИ» и изложенные в «Методических рекомендации по поискам коренных месторождений алмазов на «закрытых» территориях», согласованных Роснедрами в 2023 году и изданных в 2024 году [2]. Согласно этим рекомендациям, в минерагеническом плане алмазоперспективная площадь, в пределах которой целесообразно проводить поиски коренных источников алмазов, сопоставляется с алмазоносным полем, под которым понимается естественная группировка пространственно-сближенных кимберлитовых тел, связанных

происхождением с развитием в мантийно-коровой толще единой вертикальной «стволовой» зоны повышенной проницаемости (флюидно-магматической колонны кимберлитообразующей системы). Исходя из этого определения, можно сделать вывод, что такая транскоровая зона повышенной проницаемости может являться индикатором прогнозируемой алмазоперспективной площади. Благоприятной обстановкой для формирования такой зоны является тектонический узел, образованный пересечением дизъюнктивных элементов, выделяемых в составе кимберлитоконтролирующих зон или одной минерагенической зоны, с секущими зонами тектоно-магматической активизации.

Согласно материалам ООО «Институт дистанционного прогноза руд» [4, 5], в материалах дистанционного (космического) зондирования (МДЗ) отмеченный процесс мантийно-корового взаимодействия находит отражение в виде ансамбля разноранговых радиально-кольцевых структур (РКС), связываемых с разноглубинными (мантийно-коровыми) очаговыми источниками. Среди РКС, в соответствии с глубиной залегания их энергетических центров, выделяются: а) подкоровые (1-го ранга, размером в поперечнике порядка 180–250 км), располагающиеся в местах пересечения крупных разнонаправленных линейных тектонических зон и связываемые с возникновением и развитием мантийных диапиров в подкоровом пространстве; б) нижнекоровые (2-го ранга, размером в поперечнике до 100 км), являющиеся следствием развития очагов тектоно-магматической активизации в нижних горизонтах земной коры; в) верхне-среднекоровые (3-го ранга, размерами в поперечнике порядка 10–50 км), энергетические центры которых расположены в средних-верхних частях земной коры.

Анализ позиции промышленно алмазоносных кимберлитов, расположенных в различных регионах Мира, относительно рассмотренного ансамбля разноранговых РКС [4] позволил выявить устойчивую специфику в их локализации: все алмазоносные кимберлиты приурочены к местам (участкам) пространственного совмещения (полного или частичного) ядерных частей подкоровых структур с нижнекоровыми, осложнёнными, в свою очередь, верхне-среднекоровыми РКС. Данные участки связываются с формированием в их пределах обстановки максимальной вертикальной проницаемости (для глубинных магм, включая алмазоносные кимберлиты) земной коры во всём ее объеме.

При локализации алмазоперспективных площадей на территории Оленёкского поднятия с использованием МДЗ были выполнены: сбор и предварительная обработка разноплановых (мультиспектральные снимки, цифровые модели рельефа, рисунок речной сети) дистанционных материалов; их специализированная обработка и анализ (дешифрирование формализованным способом и тематическое дешифрирование); интерпретация результатов анализа. По результатам обработки, анализа и интерпретации МДЗ в пределах территории Оленёкского поднятия был выделен ряд тектонических зон сближенных нарушений северо-восточной и северо-западной ориентировки, интерпретируемых как элементы внутреннего строения Далдыно-Оленёкской и Молодо-Попигайской кимберлитоконтролирующих зон.

Пространственное сопоставление выделенных зон с результатами интерпретации потенциальных (гравитационного, магнитного) геофизических полей, выполненной специалистами ФГБУ «ЦНИГРИ» [3], позволило предположить глубинную природу значительной части таких зон. Также была выделена взаимоувязанная система (ансамбль) РКС, связанная с разноглубинными (мантийно-коровыми) очаговыми источниками. Данный ансамбль РКС включает центральную Оленёкскую (1-го ранга, размером порядка 260 км), связываемую с мантийным (подкоровым) очаговым источником, и дочерние РКС двух рангов: 2-го (Келимярская, Сололийская и Кютюнгдинская размером порядка 90–140 км, связываемые с нижнекоровыми очаговыми источниками) и 3-го (размером порядка 50 км, связываемые со средне-верхнекоровыми очаговыми источниками).

В тектоническом плане Оленёкская РКС подкорового происхождения охватывает Сололийское сводовое поднятие, выделяемое в северной части более крупного Оленёкского сводового поднятия Сибирской платформы, и приурочена к узлу пересечения Далдыно-Оленёкской кимберлитоконтролирующей зоны северо-восточного простирания с зонами разрывных дислокаций северо-западного простирания, входящих в состав Молодо-Попигайской кимберлитоконтролирующей зоны. На уровне докембрийского кристаллического фундамента Оленёк-

ская РКС приурочена к Эекитскому раннепротерозойскому складчатому поясу, выделяемому в пределах Биректинского гранит-зеленокаменного террейна архейского возраста. При этом ядерная часть Оленёкской РКС охватывает центральную часть этого складчатого пояса, заполненную палеопротерозойскими вулканогенно-осадочными породами (протоплатформенного чехла) эекитской серии.

Ряд специалистов [1] отмечает эндемичность эекитской серии, которая развита в основном в пределах (заполняя его центральную часть) одноименного складчатого пояса и ближайшей его окрестности. По данным, приведенным в работе М. З. Глуховского [1], среди метатерригенных пород отмечаются находки октаэдрических зерен хромшпинелидов и муассанита. Известно, что первые имеют мантийную природу, а вторые встречаются в природе в виде включений в кимберлите. М. З. Глуховский также отмечает [1], что «все палеопротерозойские процессы вулканизма и магматизма, равно как и последующие события регионального метаморфизма и метасоматоза, были связаны с восходящими термофлюидными потоками, использовавшими тектонические каналы тепломассопереноса».

Приведенные данные могут свидетельствовать о высокой магматической проницаемости центральной части Эекитского складчатого пояса, с которой совмещено ядро Оленёкской РКС. О её неоднократной активизации на последующих этапах могут свидетельствовать разнообразные проявления магматизма более позднего возраста: долеритов в среднем рифее, субщелочных базальтоидов и сиенитов в верхневендское время, субщелочных долеритов в среднем палеозое. Следами мезозойских активизационных процессов являются кимберлитовые тела Хорбусуонского и Келимярского кимберлитовых полей.

Келимярская, Сололийская и Кютюнгдинская РКС 2-го ранга в той или иной степени имеют совмещение с ядерной частью (наиболее проницаемой для магматических расплавов) Оленёкской РКС. Однако наибольшее, практически полное, совмещение с ядром Оленёкской РКС имеет Сололийская структура. Здесь ее позицию определяет тектонический узел, образованный пересечением зон разрывных дислокаций, входящих в состав Далдыно-Оленёкской и Молодо-Попигайской кимберлитоконтролирующих зон. В свою очередь, Сололийская РКС осложнена более мелкими по размеру (до 50 км в поперечнике) дочерними РКС 3-го ранга. Две из них приурочены к центральной части Сололийской РКС.

Приведенный выше анализ взаимного расположения рассмотренных РКС различного ранга позволил выделить область их полного пространственного совмещения: ядерной части Оленёкской подкоровой РКС, Сололийской нижнекоровой РКС и двух средне-верхнекоровых РКС. Данная область, согласно приведенным выше модельным представлениям, наиболее благоприятна для проявлений алмазоносного магматизма.

Сопоставление результатов дешифрирования МДЗ и геофизического моделирования глубинного строения земной коры, выполненного специалистами ФГБУ «ЦНИГРИ» [3], показало, что область полного пространственного совмещения РКС по своей позиции совпадает с областью интегрированной транскоровой петрофизической неоднородности, выделенной в разрезе земной коры. Это позволило сделать вывод о связи данных областей с субвертикальной (транскоровой) зоной повышенной проницаемости (для глубинных магм, включая предположительно и алмазоносные кимберлиты) земной коры. Данные области могут определять позицию алмазоперспективной площади, получившей название Сололийская.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глуховский М. З. О масштабном импактном событии на неоархейском этапе тектоно-магматической эволюции Оленёкской кольцевой структуры и его следствия // Геосферные исследования. – 2017. – № 4. – С. 51–57.
2. Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Микоев И. И., Громцев К. В., Лобкова Л. П., Антащук М. Г. Методические рекомендации по поискам коренных месторождений алмазов на «закрытых» территориях. – М. : ЦНИГРИ, 2024. – 82 с.
3. Прусакова Н. А., Громцев К. В., Нумалов А. С. Локализация алмазоперспективных площадей с использованием геолого-геофизических предпосылок на примере северо-востока Сибирской платформы // Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической

конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (10–12 апреля 2024 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 320–322.
4. Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М. Дистанционный прогноз кимберлитового магматизма // М. : Триумф, 2017. – 312 с.
5. Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 198 с.

Губарев И. А. [1], Шайбеков Р. И. [2], Куликова А. В. [1, 3], Котлер П. Д. [1, 3]
[1] КФУ, ИГиНГТ, г. Казань; [2] ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар;
[3] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ГАББРОИДОВ Cu-Au-Pd РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ВАСИЛИНОВСКОЕ, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ

Приведены новые данные о U-Pb (LA-ICP-MS) возрасте цирконов из габбро нового на Полярном Урале Василиновского Cu-Au-Pd рудопроявления. Проведены геохимические исследования, показавшие, что по своему вещественному составу породы ближе к габброидам ранней стадии собского (D_1s), чем поздней фазы кэршорского комплекса (O_3k), при этом занимая промежуточное положение между ними. Полученные новые данные о возрасте и вещественном составе рудопроявления предполагают либо выделение самостоятельного комплекса, либо рассмотрение в рамках ранней фазы собского комплекса.

Ключевые слова: амфиболизированное габбро, U-Pb возраст (LA-ICP-MS), Василиновское Cu-Au-Pd рудопроявление, кэршорский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс (O_3k), собский габбро-диорит-тоналит-плагиогранитовый комплекс ($D_{1–2}s$), Полярный Урал.

Василиновское рудопроявление расположено на восточном склоне Полярного Урала (юго-восточная оконечность Райизского массива) и в настоящее время ограничено контурами Амфиболитового месторождения строительного камня и базальтового волокна. Согласно последней геологической съемке [1], рудопроявление локализуется в поле развития габброидов кэршорского дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового плутонического комплекса, имеющего (по данным U-Pb датирования (SHRIMP-II)) позднеордовикский возраст [2].

В районе рудопроявления выделяются два основных комплекса, в составе которых присутствуют габброиды: дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый (O_3k) и собский габбро-диорит-тоналит-плагиогранитовый ($D_{1–2}s$) комплексы. Первый объединяет дуниты, верлиты, клинопироксениты, различные габброиды и продукты их метаморфических изменений. Комплекс разделяется на две фазы: первую – дунит-верлит-клинопироксенитовую и вторую – габбровую. Также к первой фазе комплекса условно относится ассоциация пород, называемых «краевые дуниты». Породы кэршорского «полосчатого» комплекса слагают узкую полосу северо-восточного простирания шириной от 1 до 5 км в пределах Войкарской зоны Полярного Урала и граничат на северо-западе с гипербазитами райизско-войкарского дунит-гарцбургитового комплекса, а на юго-востоке – с диоритами собского габбро-диорит-тоналит-плагиогранитового комплекса. Непосредственно собский комплекс разделен на три фазы, где 1-я представлена габбро; 2-я – габбро-диоритами, кварцевыми диоритами, тоналитами и плагиогранитами; а 3-я – гипабиссальными жилами кварцевых диорит-порфиритов, тоналит- и плагиогранит-порфиров, плагиоаплитов. Возраст комплекса варьирует в диапазоне 418–386 млн лет [3].

С целью уточнения возраста габброидов нами были отобраны пробы габбро в пределах карьера Василиновского рудопроявления на Полярном Урале, находящегося в 2 км северо-восточнее ПГТ Харп. Василиновское рудопроявление – это новый Cu-Au-Pd объект, в котором на настоящий момент уже выделены более 20 минералов благородных металлов с суммарными концентрациями полезных компонентов (по данным ICP-MS, n = 40, г/т): Au – до 1,1 (ср. 0,39), Pd – до 3,8 (ср. 1,17), Pt –до 0,14 (ср. 0,10), Ag – до 6,6 (ср. 1,07) [4, 5].

Петрографические исследования показали, что продатированные метагаббро сложены (об.%) практически нацело уралитизированным пироксеном (35–40), соссюритизированным плагиоклазом (45–50), роговой обманкой (> 3), вторичными: эпидотом (до 2), плагиоклазом (в котором степень вторичных изменений слабо выражена, < 3), а также рудными минералами (< 2). Небольшое количество кварца (до 2 об.%) обусловлено амфиболизацией пироксена. В породе, по данным микрозондовых исследований, присутствуют реликты диопсида и авгита, а также крупные кристаллы, вероятно, первичномагматической роговой обманки. Таким образом, горная порода первично представляла собой амфибол-клинопироксеновое габбро.

По химическому составу амфиболизированное габбро из Василиновского рудопроявления попадает в поле монцогаббро и габбро, тогда как большинство имеющихся данных по химическому составу габброидов кэршорского комплекса ограничено только полем габбро. Габбро Василиновского рудопроявления характеризуются низкими содержаниям редкоземельных элементов (∑REE = 26,19), тогда как для габбро кэршорского комплекса оно ниже в два раза (∑REE = 4,57–10,58), а для собского наоборот превышает в два раза (∑REE = 45,77–70,45 г/т). Аналогичная картина наблюдается и по сумме ∑LREE, где для изученного габбро и габбро собского комплекса их значения резко преобладают над ∑HREE (3,34 и 2,78–4,06 соответственно), тогда как габбро кэршорского комплекса характеризуется низкими отношениями LREE/HREE (0,81–1,49). Исходя из рассмотренных данных, можно сделать вывод о том, что по характеру распределения редких земель изученное нами амфиболизированное габбро по LREE ближе к габбро ранней фазы собского комплекса, по HREE кривые имеют схожие черты с габброидами кэршорского комплекса.

Изотопно-геохронологическое датирование по цирконам показало узкие интервальные диапазоны возрастов в пределах 410–397 млн лет с низкой дискордантностью ($D = \pm 1$) и со средним значением 403,9 ± 1,7 млн лет (СКВО = 0,00043, степень дискордантности = 0,994), что соответствует эмсскому ярусу раннего девона (рисунок). Все цирконы, по Th/U отношению (0,26–1,03), можно отнести к магматическим цирконам.

В настоящее время возраст кэршорского комплекса варьирует в широком интервале от 455 до 410 млн лет и основан как на Sm-Nd, так и на современных U-Pb изотопных датировках [1]. То есть 455–447 млн лет для юго-западной части Полярного Урала (Войкаро-Сыньинский массив) [2] и 410 млн лет для северо-восточной части (Райизский массив) [6], что делает проблематичным отнесение их к одному комплексу, образованному в интервале позднего ордовика–раннего девона. Полученный нами возраст цирконов (403,9 ± 1,7 млн лет) из амфиболизированных габбро Василиновского Cu-Au-Pd рудопроявления с учетом их геохимических особенностей предполагает рассматривать габброиды кэршорского комплекса либо как самостоятельный

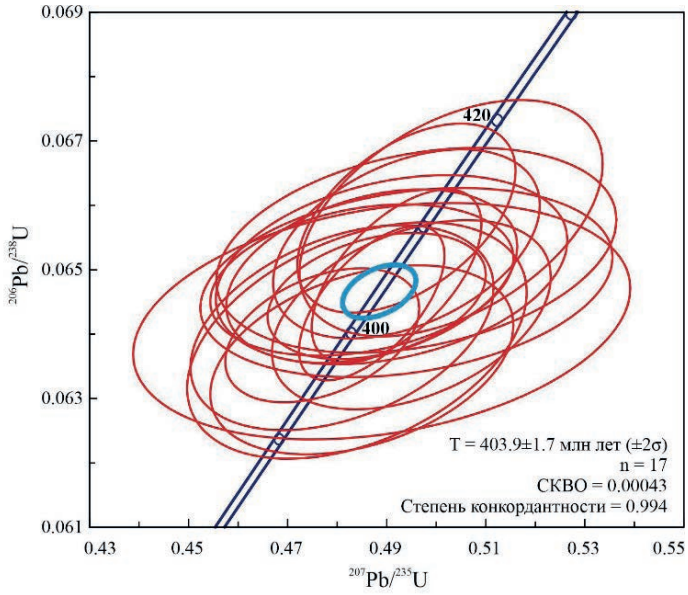


Рисунок. U-Pb диаграмма с конкордией для циркона из габбро Василиновского рудопроявления

комплекс (енгаюский, который ранее выделялся предшественниками), либо в составе ранней габброидной фазы собского габбро-диорит-тоналитового комплекса. Таким образом, полученные данные о возрасте нового на Полярном Урале Cu-Au-Pd рудопроявления дают возможность пересмотреть рудоносность габброидых частей кэршорского–собского комплексов, что существенно расширяет перспективы данного района Полярного Урала в отношении благородных металлов.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания проект № FZSM-2023-0023 в сфере научной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000 (издание второе). Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XII. Объяснительная записка / Прямоносов А. П., Степанов А. Е., Телегина Т. В., Кузнецов В. И., Григорьев В. В., Абатурова И. В., Кузнецова Э. Я. – М.; Салехард : МФ ВСЕГЕИ; Комитет природных ресурсов по Ямало-Ненецкому автономному округу, 2013. – 214 с.
2. Ремизов Д. Н., Григорьев С. И., Петров С. Ю., Косьянов А. О., Носиков М. В., Сергеев С. А. Новые данные о возрасте габброидов кэршорского комплекса на Полярном Урале // Доклады Академии Наук. – 2010. – Т. 434, №2. – С. 238–242.
3. Удоратина О. В., Кобл М. А., Шуйский А. С., Капитанова В. А. Мафические включения (Собский комплекс, Полярный Урал): U-Pb (SIMS) данные // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 265–288.
4. Шайбеков Р. И., Губарев И. А., Тропинков Е. М. Василиновское рудопроявление – новый медно-золото-платиноидный объект на Полярном Урале (Россия, Ямало-Ненецкий автономный округ) // Доклады Академии Наук. Науки о Земле. – 2024. – Т. 514, № 1. – С. 65–76.
5. Шайбеков Р. И., Губарев И. А., Тропников Е. М., Игнатьев Г. В. Новый перспективный медно-золотоплатиноидный объект на Полярном Урале // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVIII Геологического съезда Республики Коми, Сыктывкар, 10–12 апреля 2024 года. – Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2024. – С. 145–147.
6. Ронкин Ю. Л., Прямоносов А. П., Телегина Т. В., Лепихина О. П. Дунит-гарцбургитовый и дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплексы Полярного Урала: REE и Sr-Nd ограничения // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. Тезисы докл. I Российской конференции по изотопной геохронологии. – М. : ГЕОС, 2000. – С. 302–305.

Гурин Г. В. (gurin@virg-npp.ru)
ООО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика», г. Санкт-Петербург

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОИСКА ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕДНО-ЦИНКОВО-КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОДЖЕНИЙ В МАКАН-ПОДОЛЬСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Поиски колчеданных месторождений на глубинах более 300 м в старых горнорудных районах являются «вынужденным шагом» горнодобывающих компаний России и мира. Южный Урал – старейшая колчеданоносная провинция России – долгие годы являлся «полигоном», на котором разрабатывались, апробировались и внедрялись технологии поиска медно-цинково-колчеданных месторождений. Геологоразведочные работы прошли «полный цикл»: от выявления выходящих на поверхность месторождений по прямым поисковым признакам до обнаружения колчеданных залежей на глубине 700–1000 м. В работе приводятся резуль-

таты: (1) анализа и обобщения исторических геолого-геофизических материалов в пределах Макан-Подольского рудного района; (2) 3D-математического моделирования данных грави- и электроразведки на физико-геологических моделях крупных глубокозалегающих медно-цинково-колчеданных месторождений Юбилейное, Подольское; (3) применения современных геофизических технологий и методов поиска глубокозалегающих месторождений в наземном и скважинном вариантах. На основе полученных материалов показывается, что: (1) поисковая эффективность современных геофизических технологий и методов поиска глубокозалегающих месторождений остается низкой; (2) разработанная в 1970-х годах в Макан-Подольском рудном районе методика поиска глубокозалегающих месторождений, сводящаяся к бурению редких поисковых скважин в сопровождении скважинной геофизики, остается безальтернативной; (3) использование скважин является единственным эффективным способом повышения глубин поиска медно-колчеданных месторождений на Южном Урале.

Ключевые слова: Макан-Подольский рудный район, медно-цинково-колчеданные месторождения, геолого-поисковая модель, методика и технология поиска, геофизические методы, математическое моделирование.

Введение

Колчеданоносные провинции России (Урал, Алтай, Кавказ) – это хорошо изученные рудные районы, которые с учетом специфики рудогенеза являлись и остаются наиболее перспективными на выявление новых колчеданных месторождений. Обнаружение крупных месторождений, выходящих на поверхность в пределах старых рудных районов, маловероятно [1]. В сложившейся ситуации горнорудные компании вынуждены вести поиски скрытых и глубокозалегающих (на глубинах до 500–1000 м) медно-цинково-колчеданных месторождений.

В частности, АО «Полиметалл» ведет поиски медно-цинково-колчеданных месторождений в старейшем Макан-Подольском рудном районе Южного Урала, являющемся своеобразным «эталонным объектом» (характеризуется высокой геологической и геофизической изученностью). Геологоразведочные работы в Макан-Подольском районе прошли «полный цикл»: от выявления выходящих на поверхность объектов по прямым поисковым признакам – к обнаружению колчеданных залежей на глубоких горизонтах [2, 3]. Поисковые работы сопровождались большим объемом геофизических исследований, основной объем которых выполнен в 1960–1990-х годах. Опыт применения современных геофизических методов и технологий поиска глубокозалегающих месторождений в Макан-Подольском районе практически отсутствует.

С целью демонстрации поисковых возможностей современных геофизических методов и разработки эффективных поисковых комплексов на известных медно-цинково-колчеданных месторождениях (Северо-Подольском, Юбилейном, Новопетровском) и ряде рудопроявлений Макан-Подольского рудного района в 2019–2022 годах выполнены полевые работы: сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ-ОГТ), аудиомагнитотеллурические зондирования на естественных полях (АМТЗ) и с контролируемым источником (CSEM), зондирования становлением поля (ЗСБ (МПП)), электроразведочные работы методом вызванной поляризации (ВП) с использованием скважин. Параллельно проводились анализ, обобщение, систематизация фондовых и опубликованных геолого-геофизических материалов. В ходе выполненных работ, в частности, были составлены обобщенные физико-геологические модели (ФГМ) медно-цинково-колчеданных месторождений, на которых выполнено 3D-математическое моделирование данных грави- и электроразведки методами: вызванной поляризации в наземном (электротомография 2D и 3D, электропрофилирование с различными электроразведочными установками) и скважинном вариантах (заряда, электрической корреляции, межскважинной электротомографии), ЗСБ (МПП), АМТЗ. На основе полученных результатов дается оценка поисковой эффективности как типовых, так и современных геофизических методов.

Основные результаты

Обобщая опыт применения геофизических методов при поисках медно-цинково-колчеданных месторождений в Макан-Подольском рудном районе, можем установить:

• низкую эффективность наземных геофизических методов при поисках колчеданных месторождений на глубинах более 250–300 м;

• неэффективность в Макан-Подольском рудном районе геофизических методов (ЗСБ (МПП), МТЗ, АМТЗ, CSEM и др.), разработанных и активно применяющихся для поиска глубокозалегающих медно-колчеданных месторождений в других колчеданных провинциях; это обусловлено особенностями геологического строения Макан-Подольского рудного района и его развитой инфраструктурой;

• безальтернативность на сегодняшний день поискового бурения в сочетании со скважинной геофизикой как методики поиска колчеданных месторождений на глубинах более 300 м (а также ведущую роль, но низкую эффективность скважинной электроразведки);

• низкую эффективность «типовых поисковых технологий» и комплексов методов;

• необходимость разработки новых и совершенствования существующих геофизических технологий поиска (в противном случае открытие глубокозалегающих колчеданных месторождений будет достигаться только за счет большого объема бурения и «удачи» геологов);

• стратегия «перевод объектов низшей категории (рудопроявления) в более высшие (рудные тела и мелкие месторождения)» в ближайшем будущем будет давать все больше «отказов»; необходим поиск новых глубокозалегающих месторождений.

Заключение

Поиски новых, скрытых и глубокозалегающих медно-цинково-колчеданных месторождений в старых горнорудных районах требуют применения усовершенствованных или новых технологий, так как «типовые» подходы и методы часто оказываются неэффективными.

Разработка новых поисковых технологий должна происходить в неразрывной связке горнодобывающих, научно-производственных и сервисных компаний. Только при совместной работе возможны совершенствование геолого-поисковых моделей колчеданных месторождений, целенаправленная разработка и адаптация технологий поиска, их внедрение в производственную практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородаевская М. Б., Володин Р. Н., Кривцов А. И., Лихачев А. П., Самонов И. З. Поиски меднорудных месторождений. – М. : Недра, 1985. – 219 с.
2. Виноградов А. М., Малышев А. И. Факторы и критерии прогноза, направления и методика поисков крупных колчеданных месторождений на Урале // Литосфера. – 2014. – № 5. – С. 90–109.
3. Волчков А. Г., Минина О. В., Татарко Н. И. Использование геолого-поисковых моделей колчеданных месторождений при геологоразведочных работах на территории Республики Башкортостан // Руды и металлы. – 2006. – № 5. – С. 30–38.

Дак А. И. [1] (DakAI@alrosa.ru), Агашев А. М. [2], Рагозин А. Л. [2]
[1] ВГРЭ АК «АЛРОСА», г. Новосибирск; [2] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ ОРЕОЛОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Статья посвящена изучению микропримесного состава индикаторных минералов кимберлитов Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) методом лазерной абляции ИСП-МС. Рассматриваются перспективы использования данного метода для поиска новых кимберлитопроявлений. Описаны результаты исследования хромшпинелидов из различных ореолов центральной части ЯАП, выделены региональные ассоциации и предложены критерии разделения зерен по генезису на основе содержаний редких и редкоземельных элементов.

Ключевые слова: индикаторные минералы кимберлитов, банк данных, пироп, пикроильменит, хромшпинелид, микропримесный химический состав, редкие и редкоземельные элементы, кимберлиты, ореолы, Якутская алмазоносная провинция.

К настоящему времени многолетними усилиями нескольких поколений геологов накоплен большой банк данных микрозондовых анализов индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) из кимберлитов и ореолов Якутской алмазоносной провинции. С использованием этой информации проведены региональные границы ореолов, связанных с Мирнинским, Далдынским и Алакит-Мархинским кимберлитовыми полями. Возникает необходимость их дальнейшей детализации с целью прогнозирования неизвестных кимберлитопроявлений. Большие надежды на решение этой проблемы связаны с массовым изучением микропримесного состава зерен ИМК с применением протонного зонда/методом лазерной абляции ИСП-МС.

Последние годы ВГРЭ АК «АЛРОСА» сотрудничает в этом направлении с ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Были изучены коллекции ИМК (пироп, пикроильменит, хромшпинелид) из ряда кимберлитов и ореолов в пределах действующих поисковых объектов. Всего проанализировано около 3000 зерен.

Содержания редких и редкоземельных элементов были получены при помощи масс-спектрометра iCAP Q (Thermo Scientific) с индуктивно-связанной плазмой с системой лазерного пробоотбора NewWaveResearch 213 (Elemental Scientific). В качестве внешнего стандарта использовался многоэлементный сертифицированный стандартный образец стекла NIST 612. В качестве внутреннего стандарта использовались определенные с помощью рентгеноспектрального микроанализа концентрации CaO. Дрейф чувствительности прибора контролировался съемкой мегакриста пиропа из трубки Удачная в качестве неизвестного образца. Диаметр лазерного пучка – 50 мкм, частота импульсов – 10 Гц, плотность энергии ~ 5 Дж/см^2. Значения потока охлаждающего, плазмообразующего и добавочного газа аргона составляли 14,0 л/мин, 0,9 л/мин и 0,8 л/мин соответственно. В качестве несущего газа использовался гелий с чистотой 6,0 и скоростью потока 0,4 л/мин. Время анализа составляло 90 с на точку, включая 30 с для определения фоновых значений. Через каждые 10 анализов неизвестных образцов проводилось измерение стандартов NIST 612.

Все выборки проанализированы на содержания широкого спектра редких и редкоземельных элементов, включая элементы группы платины. Значимые содержания, превышающие порог чувствительности прибора, диагностированы только для 16 элементов, которые приведены в порядке возрастания атомной массы: Sc, Ti, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Hf, Ta.

В ореолах Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) повсеместно распространены хромшпинелиды некимберлитового генезиса, содержания которых в шлихах могут достигать сотен и тысяч зерен. Выделить на их фоне кимберлитовые бывает довольно затруднительно. С подобной задачей сталкиваются геологи-алмазники на всех континентах: известны попытки подобрать работающий алгоритм идентификации этих зерен по типу первоисточника в Канаде, Финляндии, Южной Африке и Австралии [5, 6, 8, 10]. Накопление информации о микропримесном составе хромшпинелидов из кимберлитов и ореолов ЯАП пока находится на начальном этапе [7, 9]. В настоящее время нет пока однозначных критериев, позволяющих с абсолютной уверенностью разделять хромшпинелиды россыпей по генезису на основе их микропримесного состава. Но поиск таких подходов активно ведется, и первые результаты обнадеживают.

К настоящему времени в россыпях центральной части ЯАП установлены как минимум три региональные ассоциации хромшпинелидов, наиболее известной из которых является *курунгская*, впервые выделенная и описанная В. П. Афанасьевым [1]. Второй, доминирующей в северной части ЯАП, является *серкинская* ассоциация, описанная А. М. Хмельковым [3]. Третья ассоциация, развитая в левых притоках верховьев реки Вилюй, была названа нами *сянской* по имени соответствующего водотока. Все эти ассоциации присутствуют в ореолах Вилюй-Мархинского междуречья в ассоциации с традиционными ИМК и алмазами, как встречаясь в чистом виде, так и смешиваясь в разной пропорции. Единственными достоверно установленными коренными источниками хромшпинелидов на севере ЯАП (кроме кимберлитов) являются калиевые щелочные вулканиты [4], но они не могут объяснить весь наблюдаемый в россыпях спектр составов.

Уже накопленный нами небольшой банк данных показывает, что все изученные хромиты из кимберлитов содержат примесь Ni > 490 ppm, а подавляющее число зерен в ореолах < 500 ppm

(есть небольшая полоса перекрытия). Наряду с Ni в группу наиболее информативных из редких элементов попадают Co, Zn, Ga и отчасти V. По имеющимся на сегодняшний момент у нас данным, намечается разделение зерен из кимберлитов от большинства россыпных на графике Co / Ni и Ga / Zn · 10. Группа возможно кимберлитовых хромитов располагается вдоль оси Y, а некимберлитовых – по оси X. Условная граница разграничения намечается по отношению Co / Ni = 0,8.

Использование этих критериев было опробовано на материале ряда ореолов Вилюй-Моркокинского междуречья – ШХМА, Хатырыкский-2 и Садынский объекта Средне-Вилюйский – и хромшпинелидах Томбинской площади.

По участку ШХМА изучены 94 зерна (пять из которых оказались ильменитами), в том числе 49 из скважины на аномалии Т-67-14/1, которые по макроэлементному составу резко отличаются от всех хромшпинелидов из других ореолов, и 40 хромитов с более традиционными составами из сборной выборки по ряду скважин.

Было показано, что хромшпинелиды из пробы по скважине на аномалии Т-67-14/1 и по микропримесному составу обособляются от всех остальных изученных ассоциаций. Можно утверждать, что они не могли быть привнесены на площадь извне и обладают собственным локальным коренным источником. К сожалению, низкие содержания примеси никеля (все зерна, за исключением одного, содержат Ni < 490 ppm) не позволяют ожидать, что этот источник окажется кимберлитовым. В то же время в другой выборке по участку 16 из 44 зерен по содержаниям микропримесей выглядят близкими аналогами хромитов из кимберлитов.

По участку Хатырыкский-2 изучены 69 зерен, из них 55 – хромшпинелиды, 12 – ильмениты и два анализа пришлось забраковать. Здесь 19 зерен потенциально могут быть связаны с кимберлитами.

Из проб участка Садынский изучены 118 хромшпинелидов, 67 из которых по содержаниям микропримесей потенциально могут быть связаны с кимберлитами.

На Томбинской площади потенциально кимберлитовые хромиты не выявлены.

При комплексном рассмотрении данных по изученным хромшпинелидам с привлечением результатов их макроэлементного состава было установлено, что все «некимберлитовые» хромиты являются полным аналогом курунгской ассоциации. Зерна из проб участков Садынский и ШХМА, которые потенциально могут быть связаны с кимберлитами, на макроэлементном уровне оказались аналогами другой региональной ассоциации хромшпинелидов – сянской. «Кимберлитовые» хромиты участка Хатырыкский-2 выбиваются из этого ряда пониженными содержаниями TiO_2; пока сохраняется вероятность того, что эта группа зерен связана с локальным источником. Для всех прочих выборок приходится констатировать, что в них не удалось выделить зёрна, не связанные с региональным фоном.

Особенности хромшпинелидов участков ШХМА и Садынский могут быть объяснены наложением региональных фоновых ассоциаций курунгского и сянского типов, привнесенных на площадь соответственно с юга и северо-запада. К местным могут быть отнесены только зерна аномалии Т-67-14/1, но и в их случае трудно ожидать генетическую связь с кимберлитами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Поисковая минералогия алмаза / под науч. ред. Соболева Н. В., Митюхина С. И. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2010. – 650 с.
2. Николенко Е. И., Логвинова А. М., Изох А. Э., Афанасьев В. П., Олейников О. Б., Биллер А. Я. Ассоциация хромшпинелидов из верхнетриасовых гравелитов северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 10. – С. 1680–1700.
3. Хмельков А. М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). – Новосибирск : Арта, 2008. – 252 с.
4. Шпунт Б. Р., Шамшина Э. А. Поздневендские калиевые щелочные вулканиты Оленекского поднятия (северо-восток Сибирской платформы) // Докл. АН СССР, 1989. – Т. 307, № 2. – С. 678–682.
5. Barnes S. J., Roeder P. L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // J. Petrol. – 2001. – V. 42, No 12. – P. 2279 –2302.

6. Griffin W. L., Ryan C. G., Gurney J. J., Sobolev N. V., Win T. T. Chromite macrocrysts in kimberlites and lamproites; geochemistry and origin // Proc. Fifth Int. Kimberlite Conf., 1994. – P. 366–377.
7. Griffin W. L., Sobolev N. V., Ryan C. G., Pokhilenko N. P., Win T. T., Yefimova E. S. Trace elements in garnets and chromites: Diamond formation in the Siberian lithosphere // Lithos. – 1993. – V. 29. – P. 235–256.
8. Lehtonen M. L., Marmo J. S. Exploring for kimberlites in glaciated terrains using chromite in quaternary till – a regional case study from northern Finland // Journal of Geochemical Exploration. – 2002. – V. 76. – P. 155−174.
9. Venier M., Ziberna L., Princivalle F., Petrelli M., Lughi V., Logvinova A., Sobolev N. V., Turco G., Lenaz D. Trace Elements in Chromian Spinels from Four Siberian Kimberlites. – DOI 10.3390/min12111439 // Minerals. – 2022. – No 12. – P. 1439.
10. Wen-Jun Hu, Mei-Fu Zhou, Yudovskaya M. A., Vikentyev I. V., Malpas J., Peng-Fei Zhang. Trace Elements in Chromite as Indicators of the Origin of the Giant Podiform Chromite Deposit at Kempirsai, Kazakhstan // Economic Geology. – 2022. – V. 117, No 7. – P. 1629–1655.

Дамдинов Б. Б. [1] (damdinov@tsnigri.ru), Дамдинова Л. Б. [1, 2] (ludamdinova@mail.ru),
Минина О. Р. [2] (yaksha@rambler.ru), Соболев И. Д. [3] (viken@igem.ru),
Хубанов В. Б. [4] (khubanov@mail.ru), Жмодик С. М. [5] (zhmodik@igm.nsc.ru),
Бадмажапов Б. Б. [2] (batobadmazapov@gmail.com)
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва; [2] ФГБУН ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ;
[3] ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва; [4] ФГБУН ИФЗ РАН, г. Москва;
[5] ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

ВОЗРАСТНЫЕ ЭТАПЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ В ОЗЕРНИНСКОМ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ РУДНОМ УЗЛЕ

В пределах Озернинского рудного узла сосредоточены более 20 месторождений свинца, цинка, железа, меди, барита, золота, в том числе крупнейшее в России по запасам цинка – Озерное полиметаллическое месторождение. На основе данных изотопного датирования пород и руд выявлена сложная многоэтапная эволюция рудного узла, обусловившая появление разных генетических типов рудной минерализации.

Ключевые слова: Озернинский рудный узел, изотопный возраст, этапы рудообразования.

Озернинский рудный узел расположен в Западном Забайкалье, в пределах Курбино-Еравнинского рудного района [1]. Рудный узел представляет собой уникальный объект, характеризующийся развитием генетически разных типов рудной минерализации, развитых в пределах единой рудоносной мегаструктуры. Здесь сосредоточены более двадцати месторождений свинца, цинка, железа, меди, барита, золота, в том числе крупнейшее в России по запасам цинка – Озерное полиметаллическое месторождение.

Традиционно считалось, что Озернинский рудный узел сложен вулканогенно-осадочными отложениям кембрия–ордовика – олдындинской ($Є_1$), химгильдинской ($Є_{1-2}$) и исташинской ($Є_3–O_1$) свитами. Однако в настоящее время установлено, что в пределах Курбино-Еравнинского рудного района локализованы три структурно-формационных комплекса, находящихся в сложных структурных соотношениях: каледонский ($Є–O_2$), раннегерцинский ($S_2–C_1$) и позднегерцинский ($C_2–P_1$) (рисунок) [2]. Положение колчеданно-полиметаллических руд в разрезе вулканогенно-осадочных отложений остается дискуссионным. Ранее предполагалось, что рудовмещающими являются нижнекембрийские отложения олдындинской свиты. Позднее было предложено, что рудоносными являются микститовые отложения девонского возраста, содержащие олистолиты кембрийских известняков [2].

Датировки детритовых цирконов из трех проб рудовмещающих толщ Озерного, Ульзутуйского и Назаровского месторождений имеют схожее распределение возрастов, где выделяются

следующие интервалы: силур–ордовик, кембрий–поздний неопротерозой, ранний неопротерозой и единичные цирконы палеопротерозойского возраста. При этом медианные значения пиков изотопного возраста на графиках распределения, практически одинаковы для всех трех изученных проб.

По данным U-Pb изотопного датирования магматических цирконов Озернинского и соседнего с ним Кыджимитского рудных узлов, установлены три возрастных этапа магматизма. Кембрийский возраст (504–523 млн лет) имеют преимущественно субвулканические и вулканические породы олдындинской свиты и олдындинского субвулканического комплекса.

Следующий этап магматизма – ордовикский. Датировки с ордовикскими значениями получены по гранитоидам Кыджимитского рудного узла (445 ± 8 млн лет, 490 ± 5 млн лет), а также по пробе гранитов, отобранной вблизи Озерного месторождения (455 ± 9 млн лет).

Третий этап магматизма совпадает с возрастом Ангаро-Витимского батолита (280–310 млн лет), комплексы которого окружают Озернинской «останец» и частично внедрены в рудовмещающую вулканогенно-осадочную толщу. С гранитоидами этого возраста связаны скарны на месторождениях Солонго (287 ± 4,2 млн лет), Назаровское, Гурвунурское (302 ± 1,7 млн лет).

С кембрийско-ордовикским этапом связывается формирование первичных гидротермально-осадочных сульфидных руд. По новым палеонтологическим данным [2] предполагается, что фор-

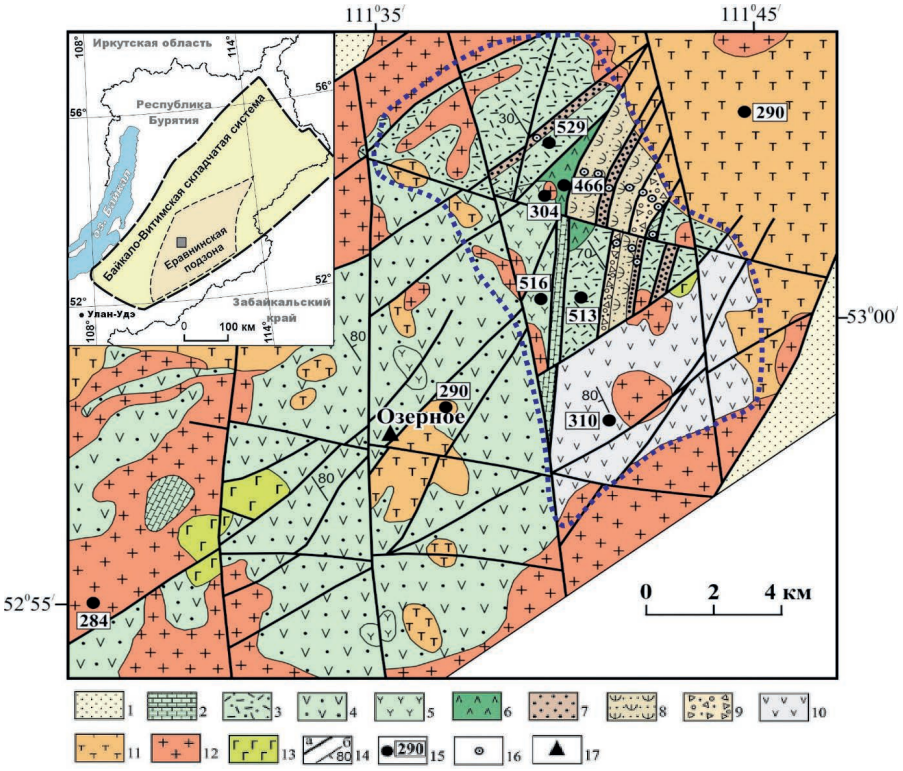


Рисунок. Схема геологического строения Еравнинской вулкано-тектонической структуры (Озернинский рудный узел), по (Минина и др., 2023) с дополнениями:

1 – мезо-кайнозойские отложения впадин; 2–4 – островодужный комплекс – олдындинская свита ($Є_1O_2ol$): 2 – терригенно-карбонатная толща, 3 – риолитовая толща, 4 – андезит-дацитовая толща; 5 – олдындинский субвулканический комплекс ($π Є_1ol$); 6 – андезитовая толща (O_2); 7–10 – комплекс верхнепалеозойских отложений: 7 – озернинская карбонатно-терригенная толща ($S_2?–D_3f$), 8 – кыджимитская терригенно-туфогенная толща ($D_3fm–C_1t$), 9 – ульзутуйская туфогенно-карбонатно-терригенная толща (C_1v-s), 10 – сурхебтинская андезито-базальтовая толща ($C_{2–3}$); 11–13 – магматические комплексы верхнего палеозоя: 11 – вулканогенный игнимбрит-риолитовый комплекс, 12 – граносиенитовый комплекс, 13 – габброидный комплекс; 14 – разрывные нарушения (а), элементы залегания слоистости (б); 15 – места отбора проб из магматических пород и их U-Pb и Ar-Ar изотопный возраст (млн лет); 16 – места находок фауны и флоры; 17 – местоположение опорной скважины № 32. Синим пунктиром обозначен участок с выделением разновозрастных структурно-формационных комплексов

мирование первичных руд происходило в раннем карбоне. Однако магматические образования этого возраста в пределах Озернинского рудного узла не установлены. С этапом пермской тектономагматической активизации, синхронной с внедрением гигантского Ангаро-Витимского батолита, связаны перекристаллизация первичных руд и формирование жильно-прожилкового комплекса, что подтверждается $^{40}Ar/^{39}Ar$ датировкой пирита из руд Озерного месторождения [3]. Самый поздний, мезозойский, этап рудообразования (200–235 млн лет) установлен путем химического датирования урановых минералов из золото-урановых самородков, обнаруженных в руч. Каменный, истоки которого дренируют рудные поля Озерного и Назаровского месторождений.

Такая многоэтапная эволюция рудообразующих систем Озернинского рудного узла отразилась в появлении разных генераций рудных минералов на Озерном месторождении, от ранних гидротермально-осадочных руд до поздних метаморфогенно-метасоматических. Первичные металлоносные вулканогенно-осадочные месторождения в ходе карбон-пермской тектономагматической активизации, в ходе которой в обрамлении рудного узла происходило внедрение гранитоидов крупнейшего Ангаро-Витимского батолита, были скарнированы. При этом скарновые процессы на разных по составу исходных субстратах вызывали формирование разных типов рудной минерализации. Так, скарнирование отложений, содержащих первичные сульфидные руды, привело к появлению золото-полиметаллического оруденения. Скарны, развитые по породам, насыщенным железистыми карбонатами, обогащались магнетитом, вплоть до появления магнетитовых руд. Скарнирование борсодержащего субстрата (возможно, эвапоритов) привело к формированию борно-магнетитовой минерализации. Значимые количества меди в рудах проявились на позднем гидротермально-метасоматическом этапе, что привело к формированию медно-баритового оруденения. Завершающим этапом эндогенной минерализации можно считать мезозойский, где формировался золото-урановый тип оруденения. На кайнозойском этапе формировались россыпные месторождения золота и железо-марганцевое оруденение в окисленных рудах Октябрьского месторождения.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Минина О. Р., Гордиенко И. В., Дамдинов Б. Б., Ташлыков В. С., Гонегер Т. А., Скрипников М. С., Ланцева В. С., Хубанов В. Б., Кислов Е. В. Новые данные о возрасте рудовмещающих отложений Озерного полиметаллического месторождения (Западное Забайкалье) // Литология и полезные ископаемые. – 2023. – № 3. – С. 299–314.
3. Vanin V. A., Ivanov A. V., Gorovoy V. A., Budyak A. E., Bortnikov N. S. Timing of Ore Mineralisation in Deposits of the Baikal-Muya Belt and the Barguzin-Vitim Super-Terrain (Transbaikalia) // Minerals. – 2024. – V. 14. – P. 1158.

Дамдинова Л. Б. [1, 2] (ludamdinova@mail.ru), Дамдинов Б. Б. [1] (damdinov@mail.ru), Баданина Е. В. [3] (elena_badanina@mail.ru), Чагдуров А. Б. [4] (chagdurovaldar@gmail.com)

[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва; [2] ФГБУН ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ;

[3] СПбГУ, г. Санкт-Петербург; [4] Бурятский Государственный Университет, г. Улан-Удэ

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОЛОВЯННОГО И МОЛИБДЕН-ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЭТЫКИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Этыкинское рудное поле отличается многообразием типов редкометалльной минерализации, в его состав входят Этыкинское Nb-Ta, Этыкинское Sn, Этыкинское Li и Сундалинское штокверковое Mo-W месторождения. Среди минералов оловянного оруденения кроме кварца

установлены топаз и слюды (цинвальдит), сидерит и гояцит. Рудные минералы – касситерит, колумбит, галенит, сфалерит и халькопирит, редкие – вольфрамит, арсенопирит, станнин, пирит, пирротин и марказит. Молибден-вольфрамовые руды содержат кварц и слюды (мусковит и биотит), флюорит и полевые шпаты. Рудные минералы – вольфрамит (ферберит), молибденит, шеелит, галенит, колумбит, пирит, пирротин, к редким относятся самородный висмут, уранинит, ильменит, барит. Термобарогеохимическими методами изучения флюидных включений впервые установлены условия образования оловянного и молибден-вольфрамового оруденения. Оба типа руд имеют близкий диапазон температур гомогенизации (~ 400–250 °С), близкую общую соленость растворов (~ 9–12 мас.% экв. NaCl) и температуры эвтектики (-38…-36 °С).

Ключевые слова: Этыкинский рудный узел, оловянное и молибден-вольфрамовое оруденение, флюидные включения.

Этыкинское рудное поле расположено в Восточном Забайкалье и представляет собой уникальный геологический объект, характеризующийся многообразием типов редкометалльной минерализации, развитых в пределах относительно небольшого участка. В составе рудного поля объединены Этыкинское Nb-Ta, Этыкинское Sn, Этыкинское Li и Сундалинское штокверковое Mo-W месторождения [1]. Все они находятся в пространственной связи с одноименным массивом амазонитовых гранитов. Изучение этого объекта было начато в 1920-х гг. после находок кварц-касситеритовых жил. Оловянное месторождение было отработано к концу 1950-х гг. Позднее были выявлены другие типы оруденения. В 1980-х гг. была начата добыча олово-танталовой россыпи и разведка коренного Nb-Ta месторождения, которое отрабатывалось до первого десятилетия 2000-х годов. В 1990-х гг. были изучены литиеносные грейзены и разработана методика добычи и обогащения литиевых руд. В это же время разведывался расположенный южнее массива штокверк – Сундалинское Mo-W месторождение.

Считается, что вольфрам-молибденовое оруденение Этыкинского рудного узла, в отличие от оловянного, не связано с Этыкинским массивом амазонитовых гранитов, а имеет более ранний возраст [1]. Основанием послужил тот факт, что жилы амазонитовых гранитов, присутствующие в пределах Сундалинского месторождения имеют секущие контакты с Mo-W прожилками. Для выявления физико-химических условий формирования перечисленных типов оруденения проведены минералогические и термобарогеохимические исследования оловорудных и вольфрам-молибденовых прожилков.

Рудные тела Этыкинского оловорудного месторождения представлены весьма сложными по минерализации топазово-кварцевыми жилами. Они расположены в пределах двух участков, удаленных на 1 км один от другого. Длина рудных тел сравнительно невелика. Так, наиболее изученная и вместе с тем наиболее крупная жила прослежена с перерывами на 260 м, другие жилы вскрыты на протяжении немногих десятков метров. Средняя мощность отдельных рудных тел варьирует от немногих сантиметров до 0,12−0,15 м и 0,40 м. Мощность жил колеблется от 0,15 до 0,5 м, в среднем равняясь 0,22−0,25 м. Как по простиранию, так и по падению наблюдаются значительные вариации мощности и резкие изгибы рудных тел.

Жилы сложены преимущественно молочно-белым или светло-серым кристаллическим кварцем, часто трещиноватым. В составе жил присутствуют литиевые слюды и агрегаты мелкозернистого топаза в виде пятен и прожилков. Содержание рудных минералов незначительно. Они наблюдаются в виде редких гнезд и вкрапленности касситерита, сульфидов. Иногда агрегаты рудных минералов приурочены к призальбандовым частям жил.

На участках пересечения кварц-касситеритовых жил с гранит-порфирами рудные тела теряют четкие границы возникают участки постепенного перехода от кварц-касситеритовой жилы к интенсивно измененной вещающей породе, представляющей собой мелкозернистый топаз-слюдистый грейзен, аналогичный породам Этыкинского литиевого месторождения [1]. Руды приобретают пятнистую или брекчиевую текстуру, с образованием топазовых оторочек, гнездовидными выделениями жильного кварца и крупной обильной вкрапленностью касситерита. Такие участки также обогащены сульфидным минералами, а промежутки между кристаллическими агрегатами кварца и топаза сложены топаз-слюдистым грейзеном.

Минеральный состав рудных тел является весьма сложным. Среди жильных минералов главную роль играют кварц, в меньшей степени присутствуют топаз и слюды, литиевая слюда (цинвальдит), кроме этого отмечаются редкие зерна сидерита и гояцита. Наиболее распространенными рудными минералами являются касситерит, колумбит и галенит, несколько меньшее значение имеют сфалерит и халькопирит. В небольшом количестве встречаются вольфрамит, арсенопирит, станнин, пирит, пирротин и марказит.

Термобарогеохимическими методами были изучены первичные флюидные включения в зернах кварца из рудных прожилков. Изученные ФВ имеют двухфазовый состав (Ж ≥ Г) и, как правило, небольшие размеры (≤ 5–10 мкм, в редких случаях достигают ~ 10–15 мкм). Температуры гомогенизации варьируют от 400 до 320 °С. Общая соленость меняется от 9,2 до 12 мас.% экв. NaCl. Температура эвтектики соответствует диапазону -36…-38 °С. По данным КР-спектроскопии, в газовой фазе включений идентифицирована CO_2.

Руды молибден-вольфрамового штокверка расположены в южном экзоконтакте Этыкинского массива амазонитовых гранитов и выделяются как Сундалинское Mo-W месторождение. Рудная минерализация этого месторождения сосредоточена в кварцевых прожилках, сопровождающихся грейзенизацией вмещающих метатерригенных пород; последние преобразованы в слюдисто-кварц-полевошпатовые метасоматиты, развитые по ороговикованным алевропесчаникам. Средняя мощность рудных жил и прожилков варьирует в диапазоне ~ 5–7 мм, в раздувах – до 1–1,5 см, редко – до 3–5 см. В зависимости от присутствия тех или иных главных рудных минералов прожилки относятся к существенно молибденитовым, вольфрамитовым или молибденит-вольфрамитовым.

Среди жильных минералов главными являются кварц и слюды (мусковит и биотит), в меньшей степени флюорит и полевые шпаты. В зависимости от присутствия тех или иных главных рудных минералов прожилки – существенно молибденитовые, вольфрамитовые или молибденит-вольфрамитовые.

Главный рудный минерал представлен вольфрамитом, который по химическому составу соответствует фербериту. Кроме него в рудах идентифицированы такие минералы, как молибденит, шеелит, галенит, колумбит, пирит, в подчиненном количестве присутствуют пирит, пирротин, к редким относятся самородный висмут, уранинит, ильменит, барит.

Вольфрамовые руды характеризуются высокими содержаниями W до 72 000 г/т (7,2 мас.%, по данным анализа штуфных проб). Кроме того, в отдельных пробах отмечаются повышенные содержания следующих элементов (в г/т): Sn – до 1764, Rb – до 5298, Pb – до 8000, Nb – до 2298, Ta – до 3199.

Зерна кварца из рудных прожилков преимущественно содержат шлейфы мелких (≤ 5 мкм) вторичных двухфазовых включений. Относительно крупные (~ 10–12 мкм и более) первичные и реже псевдовторичные ФВ чаще округлой или изометричной формы на удалении от залеченных микротрещин встречаются достаточно редко. Такие включения являются включениями гомогенного захвата, имеют двухфазовый состав и газовую фазу без видимой каймы углекислоты (Ж > Г).

Диапазон температур гомогенизации, установленный с помощью изучения первичных включений в кварце, варьирует в пределах ~ 390–242 °С. В одном ФВ определена температура гомогенизации 480 °С (гомогенизация в газовую фазу). Общая соленость рудообразующих растворов варьирует в диапазоне 10,5–7,5 мас.% экв. NaCl. В связи с небольшими размерами флюидных включений температуры эвтектики удалось определить только в некоторых включениях, в основном они соответствуют диапазону -37…-36 °С. Соответственно, главные солевые компоненты растворов вероятнее всего были представлены хлоридами Fe и Na. В газовой фазе изученных флюидных включений из кварца идентифицируется CO_2 и CH_4.

Минеральный состав руд оловянного и вольфрам-молибденового месторождений Этыкинского рудного поля различается по составу главных рудных минералов, однако в обоих типах руд присутствуют и «сквозные» минералы. К ним относятся колумбит, касситерит, галенит, пирит, вольфрамит. Физико-химические условия рудоотложения, по данным изучения флюидных включений, оказались близки. Относительно высокая температура гомогенизации существенно газового ФВ (480 °С) в Mo-W прожилках, скорее всего, отражает истинную температуру минералообразования.

Таким образом, наличие одних и тех же минералов в составе ассоциаций оловянных и вольфрам-молибденовых руд, а также близкие физико-химические условия минералообразования свидетельствуют о связи этих двух типов минерализации. В таком случае можно предположить, что молибден-вольфрамовый штокверк представляет самый ранний этап развития Этыкинской рудно-магматической системы, в ходе эволюции которой сформировались несколько типов редкометалльной минерализации.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ГИН СО РАН, проект № АААА-А21-121011390003-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бескин С. М., Загорский В. Е., Кузнецова Л. Г., Курсинов И. И., Павлова В. Н., Прокофьев В. Ю., Цыганов А. Е., Шмакин Б. М. Этыкинское редкометальное рудное поле в Восточном Забайкалье // Геология рудных месторождений. – 1994. – Т. 36, № 4. – С. 310–325.

Дегтерев А. Ю. [1] (anton.degterev@irmodel.ru), Зайцев А. В. [2]
[1] ООО «ИРМ», г. Москва; [2] АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ РЕСУРСНОЙ МОДЕЛИ АЛМАЗОНОСНОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ В МНОГОВАРИАНТНОЙ (СТОХАСТИЧЕСКОЙ) ПОСТАНОВКЕ

Рассмотрен пример построения ресурсной модели алмазоносной кимберлитовой трубки в многовариантной (стохастической) постановке. Описаны принципы и основные шаги построения таких моделей. Показаны основные проблемы, до недавнего времени не позволявшие использовать данные технологии в горнодобывающей отрасли, и пути преодоления этих проблем.

Ключевые слова: геологическое моделирование, многовариантный, стохастический, Workflow, стационарность, геостатистика, Amazonas, прогноз.

Многовариантный (стохастический) подход к геологическому моделированию начал широко применяться в мире с середины 90-х годов XX века. В настоящее время в нефтегазовой отрасли он является сложившейся практикой [2], рекомендуемые подходы к работе с такими моделями зафиксированы в современной международной системе классификации ресурсов углеводородного сырья PRMS [4, 5]. Для получения реализаций многовариантных моделей традиционно используются стохастические методы геостатистики, такие как SIS, SGS, GRFS, TGS, PGS и другие. Неоднократно предпринимались попытки применить аналогичный подход и в горнорудном моделировании, однако оказалось, что данные методы в общем случае неприменимы, что породило представление о неприменимости или очень ограниченной применимости всего стохастического подхода в целом.

Основной проблемой, ограничивающей использование этих методов, является лежащая в основе геостатистической концепции гипотеза стационарности (intrinsic hypothesis). Для многих (хотя и не всех) нефтегазовых объектов эта гипотеза выполняется, позволяя получать достаточно реалистичные модели распределения свойств, но для значительного числа месторождений твердых полезных ископаемых – нет. Эти ограничения проявляются даже при детерминированном моделировании методом кригинга, приводя к систематическим ошибкам при оценке ресурсов твердых полезных ископаемых, о чем предупреждают действующие методические рекомендации ГКЗ [1].

В стохастических методах геостатистики эти проблемы становятся еще более выраженными [7, 8]. Поскольку суть работы стохастических методов геостатистики заключается в генерировании стационарного случайного поля, воспроизводящего исходные точки наблюдений, предположение о стационарности характеристик этого поля является не менее весомой информацией, чем исходные данные и заданная модель вариограммы. Даже если реальная геологическая среда не соответствует этому предположению и ее статистические характеристики

пространственно нестационарны (что в случае горнорудного моделирования является скорее правилом, чем исключением), стохастические геостатистические методы принудительно приведут ситуацию к стационарной, результатом чего может стать полная нереалистичность полученных моделей (рис. 1–2).

Поскольку в течение десятилетий под стохастическими методами геологического моделирования всегда подразумевались именно стохастические методы геостатистики, общепринятое мнение о неприменимости или очень ограниченной применимости стохастических методов в горнорудном геологическом моделировании оставалось относительно корректным. Ситуация изменилась в 2019 году с появлением нового класса методов, основанных на локальных статистиках объекта [6], позволяющих получать реалистичный прогноз даже в условиях нестационарности (см. рис. 1–2). Применительно к горнорудному моделированию это означало, что появилась возможность реалистично прогнозировать форму тел и содержание внутри них напрямую по исходным данным без необходимости ручного или автоматизированного предварительного оконтуривания границ тел и доменов. Результаты такого прогноза всегда точно воспроизводят исходные данные и выявляют имеющиеся в данных закономерности, но при этом прогноз является многовариантным (стохастическим), то есть на основе имеющихся исходных данных можно сгенерировать сколь угодно много различающихся реализаций модели. Использование набора реализаций позволяет для каждой точки (каждого блока) модели дать не только некоторое прогнозное значение, но также и оценку вариативности прогноза, что успешно применяется в горнорудном блочном геомеханическом моделировании для районирования горного массива по степени устойчивости прогноза его свойств [3]. Кроме того, существует возможность в многовариантной форме получать оценку интересующих характеристик объекта (например, выполнять оценку ресурсов).

В данной работе представлен пример использования изложенного выше подхода при построении ресурсной модели кимберлитовой алмазоносной трубки. Работа выполнялась в отечественном программном комплексе тНавигатор. В качестве исходных данных выступали траектории скважин, данные по типам пород, их плотности, содержанию алмазов, а также каркасы карстовых полостей (пустот), отчасти заполненных каменной солью, полученные по результатам звуколокационного зондирования.

Через калькулятор были получены индексы алмазоносных и вмещающих пород. Моделирование выполнялось на основе ортогональной блочной модели (3D-сетки), которая была задана таким образом, чтобы полностью вместить все интересующие подсчетные области кимберлитовой трубки. Полученная модель была прокодирована подсчетными областями и каркасами «пустота + соль», не используемыми при дальнейших интерполяциях и оценке ресурсов, и выполнено композитирование скважинных данных на блоки сетки. Для получения модели кимберлитовой трубки методом Amazonas была выполнена 3D-интерполяция индекса принадлежности пород к алмазной трубке. Метод Amazonas основан на использовании локальных статистик исходных данных, используя для прогнозирования решатель на основе робастной статистики, что позволяет работать даже при малом количестве исходных данных и дает устойчивость к наличию естественных аномалий и ошибок в данных. Поскольку метод не базируется

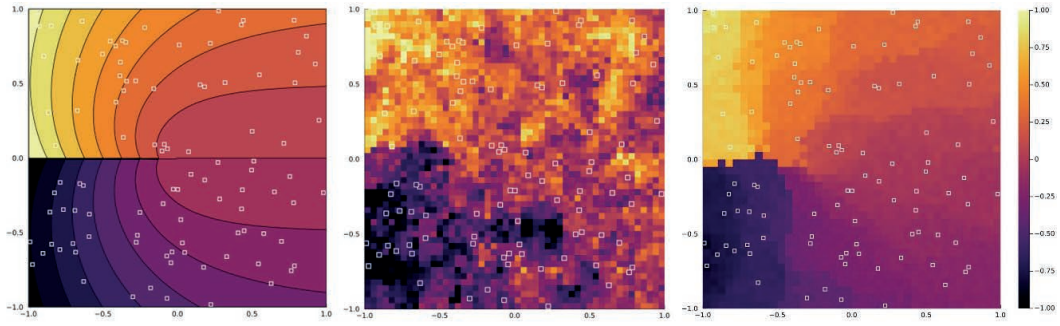


Рис. 1. Восстановление формы модельного тела на основе скважинных данных:
слева – модельное тело и вскрывающие его скважины; в центре – результат восстановления формы тела геостатистическим методом SIS (одна из реализаций); справа – результат восстановления формы тела без использования геостатистики, методом Amazonas (одна из реализаций)

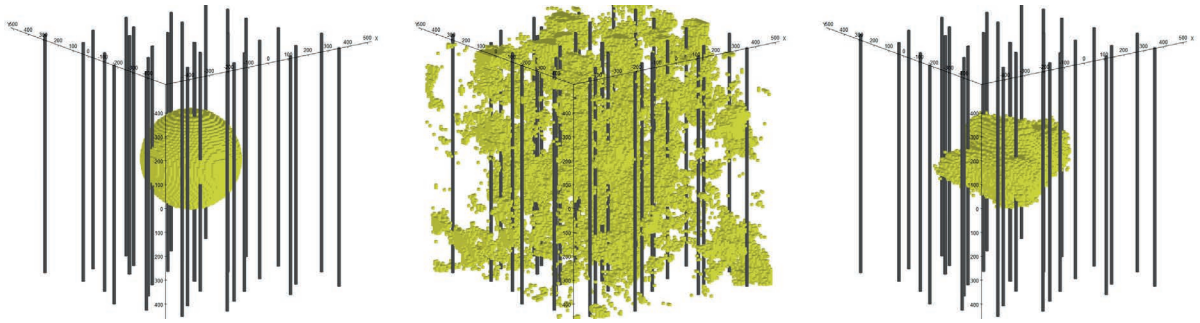


Рис. 2. Восстановление аналитически заданной поверхности с разрывом:
слева – по набору замеров в случайных точках; в центре – одна из реализаций, полученных по этим точкам с использованием геостатистики, методом последовательной гауссовой симуляции (SGS); справа – одна из реализаций, полученных по этим же точкам без использования геостатистики, методом Amazonas

на предположении о пространственной стационарности статистических характеристик данных, управляющие параметры задаются не одним значением, а диапазоном значений каждого из параметров, подбираемых в результате пробных запусков.

Главным из параметров алгоритма является размер эллипсоида поиска, в пределах которого выполняется прогнозирование. В отличие от геостатистических алгоритмов, где подобный эллипсоид соответствует расстоянию выхода дисперсии на общий уровень дисперсии объекта, эллипсоид поиска в Amazonas соответствует минимальному размеру деталей геологического строения, которые требуется воспроизвести в модели. Минимально возможный размер эллипсоида ограничен длиной блока, а при слишком большом размере эллипсоида результаты моделирования становятся слишком генерализованными, вплоть до того, что почти все исходные данные воспроизводятся как локальные аномалии. Подбор граничных значений размера окна, дающих реалистичные результаты, плохо поддается формализации, однако легко может быть выполнен геологом исходя из геологической реалистичности получаемых результатов. Для реалистичного воспроизведения анизотропии среды может использоваться окно в виде трехосного эллипсоида с неодинаковыми радиусами по различным осям. Например, в данном случае использовался эллипсоид с соотношением осей 1 : 1 : 4, позволяющий реалистично воспроизводить общую форму и детали строения моделируемой кимберлитовой трубки (рис. 3). При необходимости форма эллипсоида может изменяться в пространстве согласно предварительно смоделированному полю анизотропии.

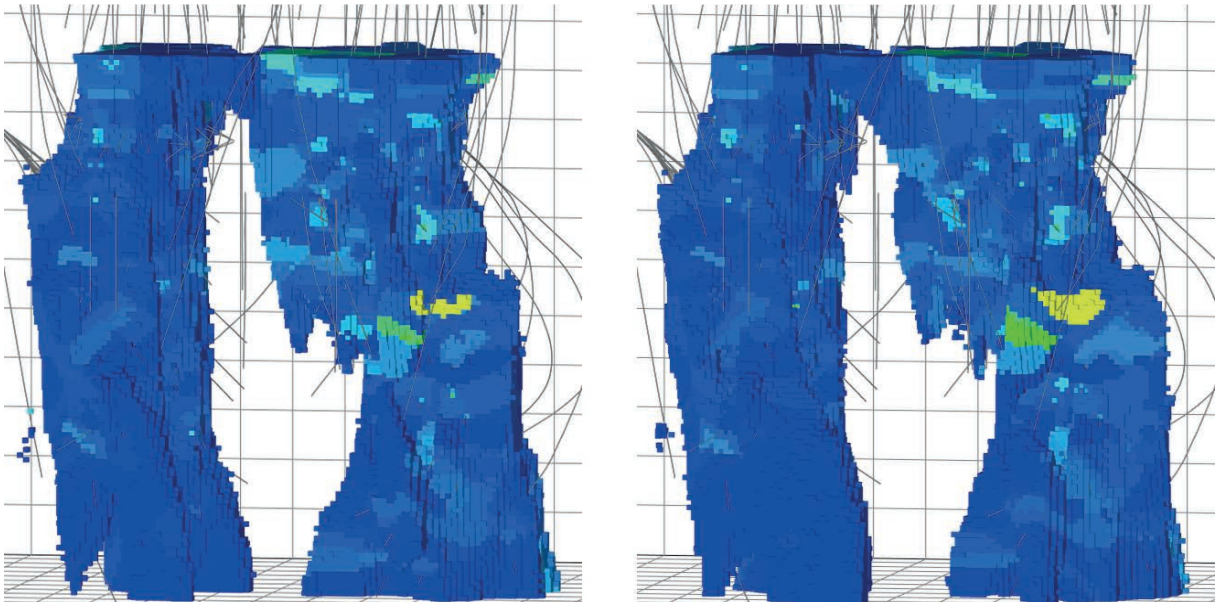


Рис. 3. Два варианта модели кимберлитовой трубки и содержания алмазов внутри нее, полученных напрямую на основе скважинных данных

Далее в пределах индекса присутствия алмазной трубки методом Amazonas была произведена интерполяция содержаний алмазов и плотности пород. Для обеспечения максимальной согласованности прогноза литологии, содержаний и плотности использовался один и тот же порядок обхода блоков (одно и то же значение параметра Seed). На основе полученных результатов производилась оценка ресурсов с получением итоговой таблицы, содержащей прогнозное значение веса руды и веса алмазов по каждому подсчетному блоку. Все операции моделирования были записаны в виде единого рабочего процесса (Workflow), позволяющего в дальнейшем автоматически перестраивать модель при изменении параметров моделирования или появлении новых данных. Помимо этого, именно Workflow является основой, позволяющей перейти от детерминированного моделирования к многовариантному.

Для решения задачи оценки чувствительности модели основные параметры, влияющие на результаты моделирования, были заданы в качестве переменных. Варьировалось как значение Seed, отвечающее за порядок обхода блоков при интерполяции свойств, так и размеры окна поиска. Для независимого варьирования значений переменных использовался метод «латинский гиперкуб». Полученные для каждой из реализаций модели значения переменных использовались при интерполяции свойств этой реализации, и далее на их основе производилась оценка ресурсов по каждому из подсчётных блоков. Таким образом была посчитана 1000 реализаций модели. Результаты подсчета приведены на рисунке 4. Корректность автоматически генерируемых реализаций обеспечивалась предварительным подбором граничных значений переменных, а также оценкой реализаций модели, давших наименьшее и наибольшее значение ресурсов.

Анализ полученных результатов позволил по каждому из подсчетных блоков дать оценку наиболее ожидаемой величины ресурсов и оценить возможный разброс значений. Характерно, что во многих случаях оценки ресурсов, полученные по базовому варианту, существенно отличались от медианных, полученных по всей совокупности реализаций. Полученные медианные оценки по каждому из блоков близко совпали с имевшимися ранее оценками, полученными на основе традиционных технологий подсчета. Но, в отличие от традиционного подхода, предлагаемый подход не требует ручного оконтуривания рудных тел и доменов, устойчив к ураганным и ошибочным значениям в данных и, самое главное, позволяет давать прогноз в полностью многовариантной (стохастической) форме. Это делает возможным закладку в экономические подсчеты реалистичных значений медианных, умеренно пессимистичных и умеренно оптимистичных ресурсов (P10, P50, P90), либо же выполнение экономических расчетов в полностью многовариантной форме. В нефтегазовой отрасли такой подход используют практически все ведущие зарубежные и отечественные компании. Теперь такая возможность доступна и в горнорудном моделировании.

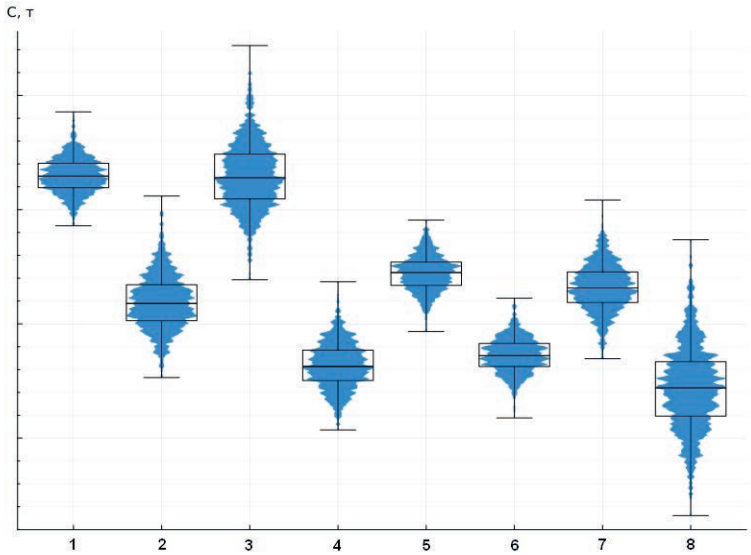


Рис. 4. Распределение оценок ресурсов по каждому из восьми подсчетных блоков модели на основе результатов расчета 1000 реализаций

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. ГКЗ РФ. Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа, ред. 02.02.2015 г.
2. Дегтерев А. Ю. Перспективы использования многовариантного моделирования для подсчета запасов и оптимизации геологоразведочных работ // Геология и недропользование. – 2023. – № 2 (12). – С. 55–68.
3. Дегтерев А. Ю., Кузьмин С. В. Пример построения многовариантной блочной геомеханической модели в программном комплексе тНавигатор // Горный журнал. – 2024. – № 1 (2318). – С. 100–108.
4. PRMS. Система управления ресурсами углеводородов. Версия 1.01. (Документ пересмотрен в июне 2018 года.) – ISBN 978-1-61399-660-7.
5. URL: https://www.spe.org/industry/docs/PRMgmtSystem_V1.01_RUS-FINAL.pdf.
6. SPE. Guidelines for the Evaluation of Petroleum Reserves and Resources. – 2001.
7. URL: https://www.spe.org/industry/docs/PRMS_Guidelines_Nov2011.pdf.
8. Degterev A. Y. Amazonas – Stochastic Method of Modeling Geological Systems with Arbitrary Distribution of Properties, Including Statistically Unsteady Ones, Based on Non-Parametric Statistics // EAGE Geomodel 2019, Conference Proceedings, Sep 2019. – V. 2019. – P. 1–5. – DOI: 10.3997/2214-4609.201950029.
9. Degterev A. Y. The Hypothesis of Stationarity in Geostatistics and Its Influence on The Reliability of The Created Models // EAGE Geomodel 2021, Conference Proceedings. – V. 2021. – P. 1–6. – DOI: 10.3997/2214-4609.202157092.
10. Degterev A. Y., Bondarev A. V., Topchii M. S. Improvement Possibilities for The Open Geological Model of The Groningen Field // SPE Reservoir Characterisation and Simulation Conference and Exhibition; 24–26 January 2023; Abu Dhabi, UAE. – DOI: 10.2118/212591-MS.

Дедиков В. В. (DedikovVV@rusgeology.ru)
АО «Северо-Восточное ПГО», г. Магадан

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА РУДНОЕ ЗОЛОТО В ПРЕДЕЛАХ ЧАЛБЫКАНО-ХИЛТАНСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Работы по объекту выполнялись АО «Северо-Восточное ПГО», АО «Росгео» с целью локализации зон золото-редкометалльной минерализации в гранитных штоках и их обрамлении. Проведенный комплекс работ позволил выявить четыре потенциальных золоторудных объекта ранга рудного поля, ранжировать их по степени перспективности и разработать рекомендации по дальнейшему направлению работ на объекте.

Ключевые слова: золото, рудное поле, Чай-Юрьинский разлом, Чалбыкано-Хилтанская перспективная площадь, золото-редкометалльная формация, вторичные ореолы рассеяния, горные работы, Магаданская область.

Чалбыкано-Хилтанская перспективная площадь расположена на границе Иньяли-Дебинского синклинория и Аян-Юряхского антиклинория в Чай-Юрьинской зоне интенсивных складчатых дислокаций (рисунок), в пределах потенциального Чалбыкано-Бохапчинского вольфрам-золоторудно-россыпного района Охотско-Чукотской минерагенической провинции [2].

В 2022–2024 гг. в пределах объекта проведен комплекс работ, включающий площадную геохимическую съемку, геофизические исследования методами наземной магнито- и электроразведки, проходку канав. В результате установлены четыре потенциальных рудных поля (Валунное,

Хилтанское, Хурчанское, Чалбыканское), пространственно связанных с гранитоидными штоками басугуньинского комплекса (см. рисунок). Оруденение приурочено к системам трещин северо-восточного направления. Представлено золотоносными жильно-прожилковыми и прожилково-вкрапленными образованиями сульфидно-кварцевого состава. Формационный тип золото-редкометалльный. Сопровождается интенсивными геохимическими аномалиями золота (от 0,5 до 5,0 г/т), мышьяка до (до 1 %), вольфрама (до 0,3 %), висмута (до 0,1 %), серебра (до 0,03 %). Уровень эрозионного среза потенциальных рудных полей оценивается как верхне- и среднерудный. Прогнозный ресурсный потенциал золота по геохимическим данным составляет 62 т, в том числе по рудным полям: Валунное – 10 т, Хилтанское – 20 т, Хурчанское – 1 т, Чалбыканское – 31 т.

В пределах Валунного рудного поля выявлены шесть рудных тел средней мощностью от 1,49 до 5,12 м, протяженностью 200–480 м. Содержания золота варьируют 0,62–1,78 г/т (до 7,53 г/т). Представляют собой группы сближенных субпараллельных кварцевых, сульфидно-кварцевых жил общего северо-восточного простирания в обрамлении разноориентированного прожилкования различной интенсивности кварцевого, сульфидно-кварцевого, карбонат-кварцевого и сульфидного состава. Вмещающие граниты подвержены околожильному окварцеванию, слабой хлоритизации, а также прожилково-вкрапленной сульфидизации по массе породы. Из числа рудных минералов в составе жил установлены: арсенопирит, пирит, висмутин, реже молибденит, самородный висмут и теллуриды висмута. Прогнозные ресурсы золота по категории P_2 оценены в количестве 5,6 т.

Хилтанское рудное поле характеризуется локализацией рудных объектов как в интрузии, так и во вмещающих осадочных породах. Выявлены две наиболее перспективные рудоносные зоны: Штоковая, охватывающая выход штока Хилтан и его обрамление, и Западная, приуроченная к жилам и прожилково-вкрапленным зонам, связанным с кислыми дайками басугунь-

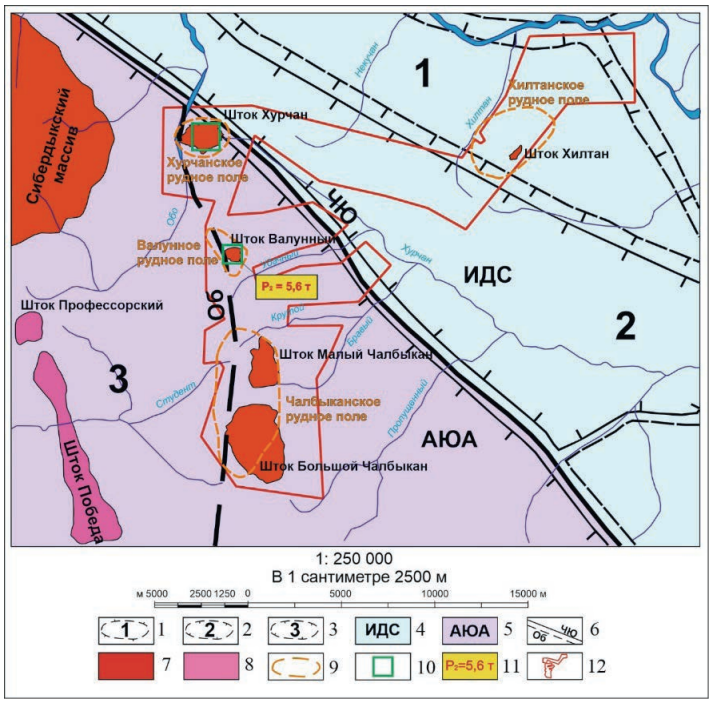


Рисунок. Схема расположения Чалбыкано-Хилтанской перспективной площади:
1 – Хилтанская антиклиналь; 2 – Хурчанская синклиналь; 3 – Хилгычанская брахисинклиналь; 4 – Иньяли-Дебинский синклинорий; 5 – Аян-Юряхский антиклинорий; 6 – главные разломы: ЧЮ – Чай-Юрьинский региональный рудоконтролирующий разлом, Об – Обинский скрытый разлом глубинного заложения; 7 – интрузивы орогенных (коллизионных) гранитоидов; 8 – интрузивы активационных (субдукционных) гранитоидов; 9 – контуры рудных полей; 10 – участки, рекомендованные для проведения работ первой очереди; 11 – оцененные прогнозные ресурсы золота; 12 – контур Чалбыкано-Хилтанской перспективной площади

инского комплекса. В пределах зоны Штоковая золоторудная минерализация приурочена к субмеридиональным участкам штокверкового прожилкования в центральной части штока и сериям жил в эндоконтактах интрузива. В канавах установлены одиннадцать рудных интервалов с содержаниями золота от 0,1 до 0,9 г/т видимой мощностью 3–18 м. Рудные тела зоны Западная представлены стержневыми арсенопирит-кварцевыми жилами в осадочных породах хилгычанской толщи. В межжильном пространстве широко развита прожилково-вкрапленная минерализация пирит-арсенопиритового состава. Мощность рудных тел 7,5–8,0 м, средние содержания золота – 0,3–0,7 г/т. Подобные жилы в осадочных толщах распространены по всей площади Хилтанского рудного поля. Относятся к золото-кварцевому формационному типу и, по всей видимости, являются коренным источником россыпного золота в долинах ближайших водотоков.

Слабоконтрастные геохимические аномалии Хурчанского рудного поля интенсивностью от 0,05–0,1 г/т пространственно связаны с серией субпараллельных жил и зон прожилкования сульфидно-кварцевого состава северо-восточной ориентировки с содержаниями золота 2–3 г/т (до 12,2 г/т). Наиболее минерализованная зона площадью 1000 × 350 м локализована в тектонически нарушенном блоке магматических пород в центральной части штока, ограниченном разломами северо-восточного и северо-западного простирания. Протяженность отдельных прожилково-жильных зон от 80 до 720 м. Рудная минерализация представлена арсенопиритом, молибденитом, реже пиритом, халькопиритом, галенитом.

В пределах Чалбыканского рудного поля установлены три потенциально рудоносные зоны. В центральной части штока Малый Чалбыкан выделяется область рассеянного сульфидно-кварцевого прожилкования на площади 1,7 км^2. Характеризуется зональным составом рудной минерализации: от пирит-арсенопиритовой на периферии зоны прожилкования до молибденит-арсенопиритовой в центре. Мощность прожилков достигает 1–2 см. Интенсивность прожилкования в среднем 2–3 %. Содержания золота от 0,1 до 1,5 г/т.

В скальных выходах гранодиоритов штока Большой Чалбыкан обнажается прожилково-жильная зона кварцевого и арсенопирит-кварцевого состава мощностью до 500 м и протяженностью не менее 1,5 км. Установленные содержания золота 1,5–3,0 г/т (максимальное 22,7 г/т). Зоны гидротермально-метасоматических изменений имеют общую северо-восточную ориентировку при крутом близвертикальном падении. Интенсивность прожилкования от 2 до 5 % с участками сгущения до 15 %. Видимый вертикальный размах оруденения достигает 700 м. Выделены три типа потенциально рудных образований: 1) маломощные (0,1–1 см) прожилки молочно-белого скрытокристаллического кварца, 2) прожилки и жилы светло-серого крупнокристаллического кварца (мощность от 3 до 70 см) с гнездово-вкрапленной сульфидной минерализацией, 3) моносульфидные прожилки. Наибольшая степень золотоносности, по результатам опробования, характерна для прожилков третьего типа.

Геохимические аномалии золота, выявленные в прогибе кровли между штоками Большой и Малый Чалбыкан, связаны с кварцевым прожилкованием в ороговикованных породах. Простирание прожилков северо-восточное (азимут 70), угол падения 60–70, мощность от первых миллиметров до 6 см. Площадь аномального участка 600 × 800 м. Несмотря на в целом незначительное содержание сульфидных минералов (менее 1 %), прожилки характеризуются повышенной золотоносностью (2,0–6,0 г/т), что указывает на перспективность заверки оруденения горно-буровыми работами.

Таким образом, перспективы выявления промышленных золоторудных объектов в пределах Чалбыкано-Хилтанской перспективной площади связаны с наличием крупных тектонически ослабленных блоков в апикальных частях гранитных интрузий, вмещающих золотоносные штокверки, сопровождающиеся высококонтрастными вторичными ореолами рассеяния и многочисленными пунктами минерализации золота (до 27,8 г/т). Сходство состава и строения потенциально рудоносных зон в пределах рудных полей позволяет прогнозировать вертикальный размах оруденения, соответствующий установленному в коренных выходах штока Большой Чалбыкан (до 700 м). Учитывая отсутствие данных о глубинном строении рудных зон и верхне-среднерудный уровень эрозионного среза, открываются перспективы обнаружения более золотоносных минерализованных зон на глубоких горизонтах оруденения и наращивания ресурсного потенциала площади при проведении горно-буровых работ в пределах Валунного, Хурчанского и Чалбыканского рудных полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Дедиков В. В., Воропаев В. С. Отчет о результатах работ по объекту: «Поисковые работы на золото в пределах Чалбыкано-Хилтанской перспективной площади (Магаданская область)». г. Магадан, 2025 г.
2. Пачерский Н. В. (отв. исполнитель), Геологический отчет о результатах работ ФГБУ «ЦНИГРИ»: «Специализированные прогнозно-минерагенические исследования на золото в пределах листов P-55-XXIV, P-56-XIX» в составе объекта ФГБУ «ВСЕГЕИ», «Проведение в 2018–2020 годах региональных геолого-съемочных работ масштаба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Дальневосточного ФО (Северо-Восточные районы)».
3. Пачерский Н. В., Кряжев С. Г., Наумов Е. А., Десятова Д. Ю., Двуреченская С. С., Самойленко М. В. Новые данные по золото-редкометалльному оруденению Центрально-Колымского золотоносного района: возраст, условия образования, состав, рудоконтролирующие факторы // Руды и металлы. – 2021. – № 2. – С. 68–90.

Дементеенко Л. И. (ludadema@yandex.ru), Попенко Г. С.
ОА «Узбекгеологоразведка», МИНГЕО УЗ, г. Ташкент, Республика Узбекистан

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ЗОЛОТА Р. КЫЗЫЛДАРЬЯ (ЯККАБАГСКИЕ ГОРЫ, ЮЖНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

По результатам опробования аллювиальных отложений в нижнем течении р. Кызылдарья выделены 6 морфогенетических типов золота: гидротермальный (жильный) средне-глубинный из зоны дробления, гидротермальный (жильный) тип малоглубинного уровня, метаморфизованный тип, метасоматический тип, древний биогенно-хемогенный тип, биогенно-хемогенный (меловой) конкреционный тип. Приведена их характеристика, показано практическое значение проведенных исследований.

Ключевые слова: аллювиальные отложения, морфогенетический тип, карабильская свита, конкреционный горизонт, гипергенный, гидротермальный, потоки рассеяния, шлиховые ореолы, дендритовидная.

Изучение морфологических особенностей россыпного золота, его морфогенетических типов и гранулометрического состава проводилось в соответствии с морфогенетической классификацией золота, приведенной в «Атласе самородного золота из россыпей Узбекистана» [1], разработанной соавтором Г. С. Попенко.

В основу выделения морфогенетических типов золота положены его устойчивые типоморфные признаки, характерные для различных гипогенных, осадочных и гипергенных типов, а также способность золота заимствовать текстурно-структурные особенности вмещающих его пород.

В результате опробования аллювиальных отложений р. Кызылдарья в Яккабагских горах на отрезке горного участка долины меридионального простирания протяженностью 2 км золото было установлено в 204 пробах. Условно этот отрезок разделяется на 3 части (южную, среднюю и северную) с разными морфогенетическими особенностями золота. В 20 пробах золото было установлено в количестве от 50 до 99 знаков, в 13 пробах – от 100 до 216 знаков.

Гранулометрический состав и морфологические особенности золота, характеризующие южную, среднюю и северную части долины, изучены в 7 пробах на 622 знаках.

Крупность золота в целом на этом отрезке колеблется от 0,01 до 1,0 мм. Гранулометрический состав классифицирован следующим образом (вес.%): пылевидный класс (0,01–0,05 мм) – 0,2 %, весьма мелкий класс (0,05–0,1 мм) – 14,5 %, фракции мелкого класса (0,1–0,25 мм) – 54,5 %, (0,25–0,5 мм) – 17,1 % и (0,5–1,0 мм) – 17,1 % с общей тенденцией уменьшения крупности золота к северной части долины.

Всего в шлиховом золоте южной, средней и северной частях долины установлены 6 гипогенных и 3 гипергенных морфогенетических типа.

1. Гидротермальный (жильный) тип, средне-глубинный из зоны дробления. Золотины этого типа размером 0,1–1,0 мм, имеют жилковидно-пластинчатую форму. Пластинчатые золотины с резкими углублениями, массивного или массивно-блокового сложения, высоко-, среднепробные, окатанность их 5, 3–4, 4. Составляют по 1 % в аллювии южной и средней части долины. Жилковидно-пластинчатая золотина с окатанностью 5, глубоко корродирована, переотложена с более высоких уровней, дальнего сноса. Возраст коррозии N_2–Q_I, размер индивидов 20 мк. Остальные золотины корродированы в слабой и средней степени, возраст коррозии Q_{III}^1, Q_{III}^2, Q_{IV}, размеры индивидов 5–6 мк, 1–3 мк.

В северной части долины гидротермальный (жильный) тип средне-глубинного уровня преобладает, составляет 48 %. Золото имеет более простые комковидные и пластинчатые формы массивного сложения, с разнозернистой, от микро- до среднезернистой структурой, средней пробности. Оно ближнего сноса, окатанность 2, 2–3, 3.

2. Гидротермальный (жильный) тип малоглубинного уровня. Золотины этого типа размером 0,01–0,5 мм, форма их дендритовидная, жилковидно-дендритовидная, лепестковая, комковидная, образует комковидные обломки, кристаллические сростки, преимущественно агрегатного или дендритовидного сложения, с кристаллически-зернистой поверхностью. Пробность средняя, но есть и низкопробное (электрум) золото. Окатанность 2, 2–3, 3. Появляется в средней части долины составляет 2 %, а в северной части увеличивается до 20 %. Пространственно связано со среднеглубинным уровнем. Возможно, двухуровневая золоторудная минерализация.

3. Метаморфизованный тип. Размер золотин – 0,02–0,1 мм, связанный с разложением золотосодержащих минералов и отложением золота на минералах-осадителях под влиянием процессов метаморфизма. Проявился в северной части (7 %) в виде тонкодисперсных пленок темно-серого цвета, полиминеральных, с одиночными плавающими монозернами золота размером 20–30 мк, светло-желтого цвета, средней-низкой пробности. Поля пленок вокруг монозерен узкие. Окатанность 2.

4. Метасоматический тип с размером золотин 0,01–0,25 мм, комковидной, пластинчатой формы, агрегатного сложения, с микро- или мелкозернистой структурой и кристаллически-зернистой поверхностью. Средней пробности. Окатанность 2. Встречается в северной части долины – 4 %.

5. Древний биогенно-хемогенный тип золота имеет тонкопластинчатую форму золотин, размером 0,05–0,5 мм, с однослойной агрегатно-глобулярной (рис. 1), агрегатно-блоковой текстурой и более мелкими размерами слагающих зерен, размером от 6–8 до 15–20 мк. Соответственно, поверхность золотин микрозернистая, края округлозубчатые. Форма кристаллически-округлая, округлая, уплощенно- или удлиненно-округлая. У некоторых золотин межзерновое пространство заполнено светло-серым веществом. Золото высокой и средней пробности, реже низкой с примесью меди. Окатанность 3, 3–4, 4.

Описанный тип широко распространен в южной (51,7 %) и средней (60 %) частях долины р. Кызылдарья, в северной части его количество сокращается до 21 %. В коренном залегании не изучен.

6. Биогенно-хемогенный (меловой) конкреционный тип содержит два подтипа: собственно конкреционный и корковый. В общем балансе золота они составляют в южной части 40 %



Рис. 1. Глобулярное строение золота

и 7 %, в средней части – 29 % и 8 %, а в северной части оба подтипа отсутствуют. В связи с удаленностью коренного источника – конкреционного горизонта с золотом, здесь преобладают более уплощенные и обломочные золотины. Собственно конкреционный подтип с размерами золотин 0,05–0,5 мм представлен тонкими пластинками, уплощенно- или угловато-комковидными обломками с зернистой поверхностью, обломками сростков глобулей размером от 20–30 до 50–120 мк и редкими фрамбоидами (рис. 2). В межглобулярном пространстве иногда сохранилась в виде заполнителя светло-серая порода. Золото высоко-, средне-, реже низкопробное и медистое. Окатанность 3, 3–4, 4.

Корковый подтип встречается в классах от 0,01 до 0,25 мм. Это тонкодисперсные и микрозернистые пленки с наростами одиночных или 2–3 разрозненных моноглобулей размером 20–40 мк, разнопробные, от низко- до высокопробных. Окатанность 2, 2–3.

Среди гипергенных типов установлены золото кор выветривания, «рафинированный» и корродированный тип.

1. Золото кор выветривания (Ш-8100 – 1 зн) обнаружено в южной части долины. Тонкая ажурная пластинка с сетчато-дырчатой текстурой в виде ориентированных сростков пластинчатых кристаллов. Пробность средняя–высокая. Окатанность 2.

2. Золото природной гальваностегии – «рафинированный» тип характерен для средней части долины. Золото размером 5–8 мк покрывает равномерно рассеянной высокопробной сыпью в различной степени истертые золотины, у которых коррозионная пленка почти не сохранилась.

3. Корродированный тип золота распространен повсеместно. За исключением одной золотины с коррозией N_2–Q_1 (размер индивидов 20 мк, Ш-8100) и золотин с истертым коррозионным слоем и покрытыми «рафинированным» золотом, остальные золотины корродированы в слабой и средней степени. Возраст коррозии Q_{III} и Q_{IV}, размеры индивидов 5–6 мк, 1–3 мк.

Таким образом, для рассмотренного участка характерно многообразие морфогенетических типов золота, что соответствует сложному геологическому строению, наличию зон минерализаций, геохимических аномалий и рудопроявлений.

В аллювиальных отложениях южной части долины р. Кызылдарья основную массу золота составляют древний биогенно-хемогенный тип (ближнего сноса) – 51,7 % и меловой биогенно-хемогенный конкреционный (дальнего сноса) – 47 %. Первый пространственно приурочен к вулканогенным структурам, по-видимому, связан с рудопроявлением Зармас. Этот тип также установлен по саю Чинарсай, что подтверждает однотипность рудных формаций и открывает возможность обнаружения чинарсайского типа в фундаменте под покровным чехлом.

Золото биогенно-хемогенного конкреционного типа (дальнего сноса) поступало из золотосодержащих отложений карабильской свиты нижнего мела, находящихся выше по течению р. Кызылдарья и в ее левых притоках Гумышлык и Ахеркысай.

В средней части долины преобладают эти же типы, но с уменьшением мелового конкреционного – соответственно 60 и 37 %. В северной части долины, где широко развиты разнофациальные вулканогенные породы каменноугольного возраста, меловой конкреционный тип практически исчезает. Резко возрастает количество золота гидротермального (жильного) типа

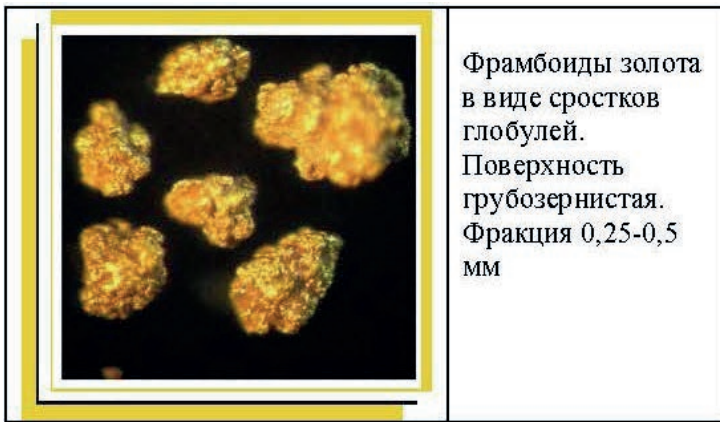


Рис. 2. Конкреционный тип золота

двух уровней глубинности, в сумме составляющий 68 %, и сохраняется древний биогенно-хемогенный тип – 21 %.

Золото кор выветривания также развито ниже их коренных выходов – предюрские каолиновые коры выветривания имеют широкое развитие в верховьях левого борта р. Кызылдарья.

Сопутствующими золоту минералами являются: мартит, магнетит, гидроокислы железа, барит, пирит, рутил, амфиболы-пироксены, гранат, характерны ставролит, дистен, андалузит, силлиманит, из рудных, встречающихся реже, – гематит, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит, киноварь, самородные свинец, медь и серебро.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас самородного золота из россыпей Узбекистана / Коллектив авторов. – Ташкент : ИЦ «Янги аср авлоди», Госкомгеологии РУз, 2007. – 342 с.

Дехконов Ш. А. (shdehqonov86@gmail.com), Алиев А. Б. (aliyev.abdulloh4448@gmail.com), Тошпулатов Ш. Х. (shavkattoshpulatov99@gmail.com)

ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент, Республика Узбекистан

ПЕРСПЕКТИВНОЕ РУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ УЧАСТОК БУЗГУЛЬ

Постоянно растущая потребность экономики в драгоценных металлах обуславливает необходимость увеличения их добычи и пополнения запасов золота. Горы Каратау Южного Нуратауского горного хребта относятся к числу территорий с неразработанным потенциалом золотоносности. Одним из таких объектов является перспективный участок Бузгуль, где обнаружена золоторудная минерализация.

Ключевые слова: Южный Нуратау, тектонические структуры, Северный Бузгуль, геолого-геохимические критерии.

Геологическое строение исследуемого участка. Южный Нуратауский хребет в рамках региональных структур расположен в Зарафшан-Туркестанской структурно-формационной зоне (СФЗ), к которой приурочена основная часть промышленно-золотого потенциала Западного Узбекистана. Главными региональными структурами первого порядка, контролирующими

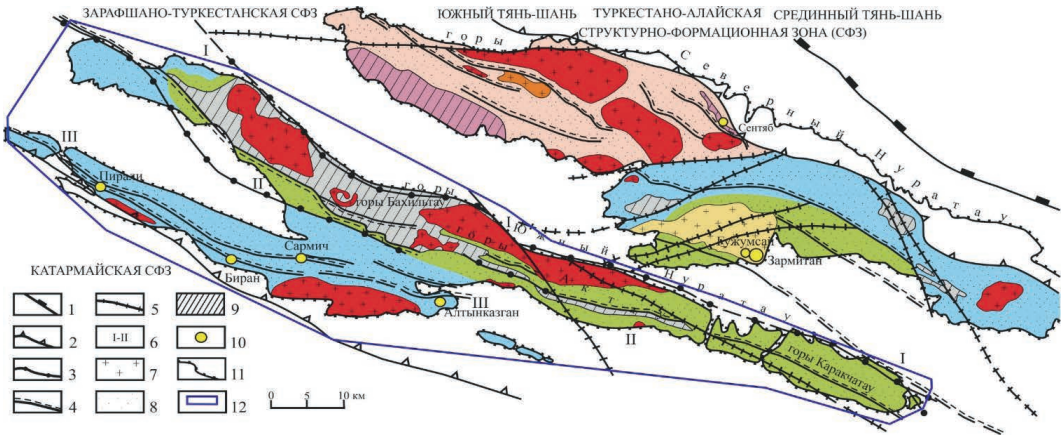


Рисунок. Региональная структурно-тектоническая позиция территории исследований: тектонические структуры: 1 – граница складчатых систем Срединного и Южного Тянь-Шаня, 2 – граница СФЗ, 3 – северо-западные межблоковые долгоживущие разломы с возможными функциями рудовыводящих, 4 – зоны смятия и повышенной трещиноватости, преимущественно внутриблоковые, с функциями рудоподводящих и рудораспределяющих, 5 – блокоформирующие разломы с функциями рудонарушающих, 6 – зоны смятия: Южно-Нуратинская (I – северная ветвь, II – южная ветвь, III – Каратауская); комплексы пород Зарафшано-Туркестанской СФЗ: 7 – интрузивных, 8 – терригенных, 9 – карбонатных; 10 – золоторудные месторождения; 11 – границы выходов домезозойских образований; 12 – граница территории исследований [1]

Таблица. Критерии и признаки выделения перспективных на золото площадей в пределах Южного Нуратау (с использованием материалов С. М. Колосковой, Ж. Ж. Мовланова) [1]

Группы признаков	Критерии и признаки рудоносных обстановок для золотокварцевого и золото-сульфидно-кварцевого оруденения			
	Рудная зона (узел)	**Рудное поле**	**Месторождение**	**Рудное тело**
Морфо-структурные	Протяженные продольные к осадочным толщам линейные элементы и скопления мелких, ограничивающих блоки горного рельефа различного типа, поперечные линеаментные зоны, крупные кольцевые структуры	Мелкие кольцевые структуры (купола, воронки) диаметром до 6–8 км, часто зональные, узлы пересечения и сопряжения линейных морфоструктур, поперечные зоны трещиноватости	Сочетание мелких линейных структур с мелкими кольцевыми структурами диаметром до 1–2 км	Плохо выражены
Формационные (стратиграфо-литологические)	Осадочные комплексы пород с благоприятными для рудолокализации химическими и динамическими свойствами среды, с повышенным содержанием углеродистого вещества (Є–S_1), имеющие геохимическую специализацию на комплекс рудогенных элементов, (донорные свойства) – кремнисто-карбонатно-терригенные отложения Є–О		Контрастность и ритмичность чередования осадочного разреза, сочетание прослоев хрупких и пластичных пород, наличие тонкотерригенных углеродсодержащих осадков с примесью карбонатного материала	
Структурно-тектонические	Протяженные тектонические контакты комплексов пород (покровов и крупных пластин) длительного развития с многоэтапностью складчато-разрывных дислокаций – зоны смятия, поперечные зоны повышенной трещиноватости – линеаменты	Узлы сопряжения и пересечения продольных зон смятия и поперечных структур, разветвление зон смятия, поперечные блокирующие структуры, каркасно-блоковое и многошовное линейное строение, сочетание зон экранирующих пород с проницаемостью	Межблоковые зоны – сбросо-сдвиговые и др. секущие плоскости дробления и брекчирования, разветвление локальных разломов, непротяженные разломы простого строения, наличие мелких блокирующих структур. Повышенная проницаемость мелких блоков – субпослойные срывы и отслоения пластов пород, повышенная трещиноватость хрупких пород, складчатые дислокации, кливаж, рассланцевание, мелкие сколовые дислокации и трещины отрыва и другие	
Магматические	Ареалы магматизма S-типа шуракского интрузивного комплекса	Надинтрузивного эродированных интрузий шуракского комплекса. Дайки и штоки гатчинского комплекса, ареалы даек «пестрого» состава		Экранирующая и барьерная функция малых интрузий и даек, неоднородность литологического состава вмещающей среды (контрастность)
Геофизические	Линейная полианомальная структура, протяженные градиентные зоны магнитного и гравитационного полей, ареалы отрицательных аномалий Δg	Локальные положительные аномалии магнитного поля в контуре отрицательных аномалий гравитационного поля, отрицательные аномалии естественного электрического поля	Участки аномальной поляризуемости и линейных аномалий $\Delta U_{ЕП}$ по данным электроразведки, локальные градиентные зоны аномалий магнитного и гравитационного полей	
Метаморфические	Региональный метаморфизм фации зеленых сланцев. Кварц-альбитовые площадные метасоматиты фации глубинных разломов. Проявления контактового метаморфизма, фронтальные зоны биотит-мусковитовой субфации метаморфизма			
Метасоматические	Углеродисто-кремнистые метасоматиты в зонах смятия	Околорудные метасоматиты кварц-калишпатового, кварц-альбитового, березитового, аргиллизитового типов		
Минералогические	Зерна золота и минералы-индикаторы в шлихах. Кварцево-жильно-прожилковые образования. Минерализация золота, серебра, вольфрама, цинка, сурьмы, редких металлов		Полистадийная минерализация золотопродуктивных минеральных ассоциаций	
Геохимические	Комплексные геохимические аномалии Au, Ag, As, Pb, Sb, Hg, Bi, W Sn, Ni, Zn, V	Геохимические ореолы элементов рудного комплекса с высокой дисперсией распределения, ореолы элементов надрудных уровней, высокая контрастность и аномалии плотности геохимических ореолов Au, As линейно-узлового типа; концентрически-зональные структуры геохимических ореолов		Концентрация Au, Ag и сопутствующих элементов в промышленных параметрах

оруденение на Южном Нуратау, считаются разветвления глубинных разломов Северный и Южный. По генетическому типу структура, контролирующая оруденение в западной части Южного Нуратау, аналогична зона разлома Коратау. Зоны разломов Коратау и Южный Нуратау являются важными коллизионными магматическими и рудоконтролирующими структурами, в пределах которых расположено большинство объектов с эндогенным оруденением. Южный Нуратау в целом, как и Нуратауская область, характеризуется типичной историей геологического развития, обладая рядом особенностей геологического строения и рудоносности. Территория Южного Нуратау представлена интенсивно дислоцированными домезозойскими отложениями, которые выражены породами двух типов: осадочными – метаморфизованными терригенными, кремнистыми и карбонатными ($Є_{2-3}$–C_2) – и интрузивными (C_2–R). Специфической особенностью тектонического строения является распространение разрывно-сгибовых тектонических структур северо-западного, западно-северо-западного направления [2].

Участок Северный-Бузгуль расположен в 3 км к северо-западу от рудопроявления Приводораздельный и в 1 км к юго-юго-востоку от рудопроявления Южный Бузгуль (см. рисунок). Особенностью участка является его положение в зоне субширотного простирания ордовикских пород (песчаников, алевролитов, сланцев с карбонатными прослоями), которые подверглись интенсивному дроблению, роговиковому преобразованию и углеродизации. Местонахождение участка определяется пересечением зоны раздробления с поперечными разрывами восточно-северо-восточного направления. Выделенная зона минерализации трассируется линейными субширотными аномалиями мышьяка (0,010–0,1 %), ориентированными в западно-северо-западном (субширотном) направлении и сочетающимися с рудной минерализацией (Au, Ag, W, Pb и др.) в зонах дробления и интенсивных изменений по рудоконтролирующим тектоническим швам [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуазимова З. М., Абдуллаев Р. Н. Стратиграфия рудного месторождения Мурунтау на основе новых данных. – Узб. геол. журнал. – 1998.
2. Лошкин Ю. И., Шумаков Ю. В. и др. О минералого-геохимических особенностях перспективного участка Бузгуль. – Ташкент : Материалы Государственного комитета геологии Республики Узбекистан, 1979.
3. Назарова Н. И., Иванкин П. Ф., Шевченко В. А. и др. 1983–1988 гг. для зоны Боштут-Маржонбулок. – Ташкент : Материалы Государственного комитета геологии Республики Узбекистан, 1988.

Дмитриева Е. В. (dmitrievaEV@rusgeology.ru), Стороженко А. А., Васильев Н. Ф., Роговский Е. О., Прохорова М. А.
АО «Сибирское ПГО», г. Красноярск

ОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕНЕГИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

В пределах Тенегинской площади в Центральной части Енисейского кряжа выявлены протяженные высококонтрастные вторичные ореолы рассеяния свинца и цинка, канавами вскрыты окисленные полиметаллические руды, установлена приуроченность полиметаллического оруденения к метаизвестнякам позднерифейской иончихинской толщи вблизи субвулканических тел метариолитов орловского комплекса.

Ключевые слова: Енисейский кряж, Тенегинская площадь, серия, свита, комплекс, полиметаллическое оруденение.

АО «Сибирское ПГО» «Росгеология» проводит поиски полиметаллических руд на Тенегинской площади, в Центральной части Енисейского кряжа на северо-западе Каитьбинского синклинория, в пределах Тенегинского свинцово-цинкового рудного узла Ангарского свинцово-

цинкового рудного района [2]. Рудный узел выделен на активной окраине Сибирского кратона, осложненного позднерифейскими рифтогенными структурами [7]. Тенегинская площадь охватывает зону тектонического сочленения аллохтонных пластин, сложенных породами сухопитской серии и автохтонных пород орловской серии.

Объектом-аналогом свинцово-цинковых проявлений Тенегинской площади может служить Сухопитское проявление полиметаллов с ресурсами более 5 млн т металлов. Руды Сухопитского объекта выявлены в пачке доломитов позднерифейской иончихинской толщи орловской серии. Для рудовмещающего разреза характерно наличие доломитовых брекчий и известковистых конгломератов в пачке карбонатных пород, руды локализованы вблизи субвулканических тел метариолитов и метариолит-порфиров орловского комплекса, рудные тела расположены по слоистости во вмещающих породах [3].

Тенегинская площадь одна из самых перспективных на свинцово-цинковые руды площадей Центральной части Енисейского кряжа. Впервые вторичные ореолы свинца и цинка здесь выявлены при геолого-съемочных работах масштаба 1 : 200 000 [1] и масштаба 1 : 50 000 [6]. Более детальные поисковые работы непосредственно на Тенегинском проявлении проведены в 1961–1963 гг. [5]. В процессе этих работ пройдены сотни шурфов и десятки ручных канав, проведена литохимическая съемка по редкой сети. В результате работ выявлены зоны окисленной минерализации мощностью 1–15 м, протяженностью от десятков до сотен метров с содержаниями свинца – 0,1–3 % и цинка – от 1,0 до 10 %. Первичные руды подсечены не были.

С 2024 г. поисковые работы на площади проводит АО «Сибирское ПГО». Предполагается, что рудовмещающие толщи, занимающие центральную часть площади, сложены породами иончихинской толщи орловской серии, а контактирующие с ними с запада толщи сухопитской серии слагают аллохтонные пластины.

В составе сухопитской серии выделяются породы нижней и средней подсвит **удерейской свиты**. Нижняя подсвита (450–500 м) сложена темно-серыми углеродистыми сланцами, метаалевролитами и метапесчаниками; средняя подсвита (550–600 м) представлена зеленоцветными хлорит-серицитовыми сланцами с точечной вкрапленностью карбонатных минералов и магнетита. Для удерейской свиты характерно наличие горизонтов (0,1–0,3 м) кремнистых конкреций с текстурой «cone-in-cone». Породы удерейской свиты слагают аллохтонные пластины, которые надвинуты на породы орловской серии, контакты ее с окружающими породами – тектонические.

Орловская серия сложена метаморфизованными в хлоритовой субфации зеленосланцевой фации позднерифейскими породами конкинской и иончихинской свит [4].

Конкинская свита залегает с угловым несогласием на подстилающих породах. Сложена ритмично-слоистыми сланцами (метапелитами) темно-серыми, зеленовато-серыми, переслаивающимися с метаалевроаргиллитами, метаалевролитами, кварцевыми метапесчаниками. Мощность свиты 400–700 м.

Иончихинская толща согласно залегает на породах конкинской свиты, является рудолокализующей для свинцово-цинкового оруденения. В разрезе толщи предварительно можно выделить 3 подтолщи. Нижняя – зеленоцветная пелитовая хлорит-кварц-серицитовая и темноцветная серицит-углеродистая с линзами и прослоями известняков. Средняя – карбонатная, сложенная известняками и доломитами с прослоями черных сланцев. Верхняя – вулканогенно-пелитовая, сложенная зеленоватыми хлорит-серицитовыми метапелитами, с пластами и линзами метариолитов, метаандезитов и метабазальтов и их туфов. Мощность каждой подтолщи порядка 1000–1100 м. Толща вмещает субвулканические тела орловского комплекса.

Орловский субвулканический комплекс риолит-лейкобазальтовый, является комагматом вулканитов иончихинской толщи. Представлен небольшими по размерам штокообразными и линзообразными телами, силлами, дайками с полого секущими контактами тел. Тела сложены метариолитами, метадацитами, метадолеритами и метабазальтами. Образования комплекса наиболее распространены на участке Каменском, где вулканиты слагают примерно третью часть площади. Распределение тел гранит-порфиров, лавовых потоков различного состава и пластов туфов позволяет предполагать здесь наличие вулканического аппарата центрального типа.

Широкое, практически повсеместное развитие кор выветривания на Тенегинской площади в значительной степени определяло методику поисковых работ. В 2024 г. на Тенегинской площади проведено литохимическое опробование по сети 200 × 20 м, наземная магнитная съемка всей площади (86 км^2) по сети 100 × 10 м, электроразведка ВП-СГ по сети 200 × 20 м на детальных участках, через 200 м пройдены две экскаваторные канавы длиной по 400 м, отобраны бороздовые пробы. По результатам выполненных работ, на Тенегинском и Верхнекаменском участках выявлены протяженные (более 1200 м) вторичные ореолы рассеяния свинца и цинка (содержания от 0,01 до 0,3 %), меди, серебра, мышьяка. Ореолы Pb и Zn на Тенегинском участке пересечены двумя канавами. В каждой канаве выделены окисленные полиметаллические руды с содержанием Pb + Zn – 1–11 %. Распределение рудных интервалов свидетельствует об этажности рудных зон и тел, линзовидном характере распределения минерализации, резких и постепенных контактах минерализованных зон.

Предварительная обработка геофизических материалов свидетельствует о том, что рудные тела не выделяются в магнитном поле и характеризуются очень слабыми аномалиями (2–3 %) вызванной поляризации. По результатам магнитной съемки составлен геолого-поисковый план площади.

В канавах на Тенегинском участке окисленные полиметаллические руды глинисто-лимонитового состава выявлены в пачке карбонатных пород (иногда с прослоями сланцев), в которых широко проявлены доломитизация, анкеритизация, жильно-прожилковое окварцевание, серицитизация. Мощность рудных тел изменяется от 1–2 до 17 м. Наиболее мощное тело (канавная мощность 17 м) выделено в верхах разреза карбонатной пачки. Среднее содержание суммы свинца и цинка в рудном теле составляет 4,97 % (максимальное – 11,2 %), при преобладающем соотношении Pb : Zn как 1 : 5, 1 : 3; содержание Cu – 0,01–0,09 %, Ag – 0,1–1,4 г/т, Mn – 0,05–1,1 %, Ba – 0,003–0,02 %. Кроме этого рудного тела выделяется ряд рудных интервалов шириной 1–2 м с содержанием Pb + Zn 1–3 %. В толще карбонатных пород выделены две дайки оруденелых лимонитизированных метадолеритов мощностью 1–3 м. В дайке резко повышается содержание свинца – до 2,8–4 %, цинка – 1,6–2 %, характерно повышенное содержание серебра 8,6–17,2 г/т, меди – 0,12 %, бария – 0,004 %, кадмия – 0,005 %.

Набор рудных элементов (Pb, Zn, Ag), морфология рудных тел, значительная протяженность рудных зон позволяют (по предварительным данным) относить проявления Тенегинской площади к SEDEX-типу с выраженными наложенными более поздними метасоматическими процессами.

Повышенное содержание меди (до 0,05 %) и молибдена (до 0,0064 %) во вторичных ореолах над вулканогенными породами требуют проверки Тенегинской площади на возможное наличие рудных объектов порфирового типа.

Положительные результаты поисковых работ на Тенегинской площади позволят прогнозировать наличие полиметаллических объектов в северо-западном и юго-восточном направлениях от площади, в бассейнах рек Каитьба, Гремиха, Каменка, Орловка. Основным поисковым критерием наличия свинцово-цинкового оруденения для этого района можно считать присутствие в разрезе карбонатных пород, лав и туфов кислого состава, штоков и даек метариолит-порфиров, метадолеритов и гранит-порфиров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Лист О-46-IX. Объяснительная записка / Сост. Ю. А. Озерский. – 1966.
2. Государственная геологическая карта РФ, масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская, лист О-46 / Сост. В. К. Зуев, Л. К. Качевский, Г. И. Качевская [и др.] – СПб., 2009.
3. Дмитриев Г. А., Васильев Н. Ф., Стороженко А. А. [и др.] Отчет «Поисковые работы на свинцово-цинковые оруденение в пределах Морянихинской площади Ангарского рудного района (Красноярский край). Красноярский филиал ФБУ «ТФГИ СФО» № 33768.
4. Качевский Л. К. Легенда Енисейской серии Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (второе издание). – Т. 1, 2. – Красноярск, 1998. – Фонды АО «Сибирское ПГО», №384Б.

5. Казаров В. И. Свинцово-цинковые рудопроявления бассейна среднего течения р. Каменки (правый приток р. Б. Пит). Результаты поисковых работ Тенегинской партии за 1961–1963 гг. Мотыгино, 1965. – Красноярский филиал ФБУ «ТФГИ СФО», №13926.
6. Лисин В. А. [и др.] Отчет о геологическом строении бассейнов рр. Каменки, Орловки, Каитьбы (отчет о результатах геолого-съемочных работ масштаба 1 : 50 000, проведенных Орловской партией в 1961–1963 гг.). – Мотыгино, 1964. – Красноярский филиал ФБУ «ТФГИ СФО», №13471.
7. Стороженко А. А. Геологическое доизучение масштаба 1 : 200 000 в центральной части Енисейского кряжа на Олимпиадинской площади (листы О-46-III, О-46-IV). – Красноярск, 2003. – Красноярский филиал ФБУ «ТФГИ СФО», №28214.

Дорофеева Е. С. (dorofeeva@tsnigri.ru), Гурьев В. А. (gurevva@ya.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОБЗОР ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Работа посвящена комплексному исследованию ресурсов, содержащих открытые пространственные данные геологической, геофизической и топографической направленности. Рассмотренные в работе ресурсы полезны геологам, геофизикам, картографам, экологам. Рассмотрены 15 источников с описанием их характеристик.

Ключевые слова: открытые пространственные данные, геология, геофизика, массивные данные, цифровая модель рельефа, инфраструктура, рельеф.

Открытыми пространственными данными (ОПД) являются данные о пространственных объектах и их наборах, составляющие основу информационного обеспечения геоинформационных систем, при этом имеющие статус свободно распространяемых.

Одним из популярных источников открытых данных для ГИС-исследований является OpenStreetMap (далее OSM) – некоммерческий веб-картографический проект по созданию силами сообщества пользователей Интернета подробной, свободной и бесплатной географической карты мира. OSM использует топологическую структуру данных, состоящую из объектов: node (точка), way (линия), relation (отношение), tag (тег).

Далее будут приведены известные и используемые авторами открытые источники пространственных географических, геологических и геофизических данных.

Плагины QGIS – OSMInfo, QuickOSM, OpenTopography DEM Downloader. С помощью первых двух плагинов удобно получать данные об административных границах территории, населенных пунктах, транспортной и жилой инфраструктуры, особо охраняемых природных территориях, водных объектах и землепользовании. Последний плагин предназначен для выгрузки цифровой модели рельефа по всему миру.

Overpass Turbo [14] – веб-инструмент анализа и извлечения данных для OSM, который работает через запросы Overpass API и показывает результаты на интерактивной карте. Данный инструмент эффективно использовать для выгрузки и фильтрации массивных данных, например, границ Арктической зоны РФ, населенных пунктов субъекта РФ/федерального округа посредством сформированного Overpass-запроса.

Geofabrik [8] – веб-ресурс, предлагающий бесплатные пространственные данные из необработанных данных OSM для различных стран по всему миру. Данные доступны в виде файлов osm.pbf и shp.zip. Наиболее удобен в использовании при выгрузке данных об административных границах и инфраструктуры на большие территории, таких так Российская Федерация, несколько субъектов РФ.

Natural Earth [12] – картографический каталог данных с атрибутивной информацией, включающих в себя: базовые карты (подложки) с рельефом, слои административных границ стран

разных уровней, различные географические объекты, батиметрические данные, городская и транспортная инфраструктура, подписи стран на разных языках.

Геопортал Высшей школы экономики (ВШЭ) [1] – онлайн-каталог Центра геоданных и авторов геопроектов ВШЭ, в котором представлены пространственные слои муниципальных образований, субъектов, федеральных округов РФ на основе данных OSM и Росстата на 01.01.2021 г., площадь криолитозоны на территории России, регионы Крайнего Севера и др.

ArcticDEM [4] – тематический набор растровых данных в виде трехмерной поверхности сухопутной части Арктики. В основе ArcticDEM лежат оптические стереоизображения, получаемые со спутников DigitalGlobe WorldView-1, -2, -3 с разрешением до 2 м. Данные ArcticDEM покрывают всю территорию Земли севернее 60° С.Ш. В дополнении к этому покрытию входят территории Гренландии, Аляски и Камчатского полуострова.

CGIAR-CSI GeoPortal [9] – веб-ресурс для свободной выгрузки данных радарной топографической съемки рельефа международного проекта по созданию цифровой модели высот Земли SRTM. Съемка охватила около 80 % суши Земли (от 56° Ю.Ш. до 60° С.Ш.).

GEBCO Gridded Bathymetry Data Download [7] – веб-сайт, предоставляющий доступ к непрерывной глобальной модели рельефа океана и суши с пространственным разрешением 15 угловых секунд для любой задаваемой пользователем прямоугольной области.

Единый фонд геологической информации о недрах (ЕФГИ). Реестр первичной и интерпретированной информации [3] – веб-ресурс Российского федерального геологического фонда, осуществляющий сбор, хранение и предоставление в пользование геологической информации, созданной геологическими организациями СССР и РФ.

База данных активных разломов Евразии и прилегающих акваторий (AFEAD) Лаборатории неотектоники и современной геодинамики Геологического института Российской академии наук [2] интегрировала в едином формате более 20 000 географически привязанных объектов – разломов, зон разломов и связанных с ними структурных форм с признаками последних перемещений в позднем плейстоцене и голоцене. Масштаб 1 : 500 000.

International Centre for Global Earth Models (ICGEM) [10] – Международный центр глобальных моделей Земли, основная задача которого сбор и архивирование всех существующих статических и временных моделей глобального гравитационного поля, а также их интерактивные онлайн-расчеты и визуализация.

Bureau Gravimetrique International (BGI) [6] – Международное гравиметрическое бюро, основная задача которого: сбор, валидация и распространение всех измерений гравитации, полученных на поверхности Земли для научных целей, включая разработку программного обеспечения для обработки гравитационных данных.

Earth Magnetic Anomaly Grid 2-arc-minute resolution vrsion 3 (EMAG2v3) [13] – глобальный грид магнитных аномалий Земли с разрешением 2 угловые минуты и высотой над геоидом 4 км, составленный на основе спутниковых, воздушных и корабельных магнитных измерений и свободно предоставляемый на различных геомагнитных веб-ресурсах.

British Geological Survey (BGS). Geomagnetism [5] – Геомагнитное подразделение Британской геологической службы, сфера деятельности которой включает в себя измерение, регистрацию, моделирование и интерпретацию колебаний магнитного поля Земли. Результаты своей деятельности подразделение свободно предоставляет посредством своих веб-ресурсов, в том числе IGRF, 14th Generation Calculator – 14 версия Международного геомагнитного аналитического поля, а также WMM 2025 – Модель геомагнитного поля мира 2025 года.

Global Heat Flow Database (GHFDB) [11] – глобальная компиляция данных о тепловых потоках в мире с 1939 г. и до наших дней, над которой с момента своего основания в 1963 г. работает Международная комиссия по тепловым потокам.

В заключение хотелось бы отметить, что большинство вышеперечисленных открытых источников пространственных геоданных являются зарубежными, несмотря на вклад отечественных специалистов в создание и наполнение некоторых из них. В условиях стремительно меняющейся международной ситуации, в том числе с технической точки зрения, с целью обеспечения устойчивого функционирования и развития российской науки и производства необходимо создание собственных ресурсов, предоставляющих доступ к пространственным

данным, содержащим в себе, в том числе, географическую, геологическую и геофизическую информацию. ФГБУ «ЦНИГРИ», как один из передовых геологоразведочных российских институтов, мог бы принять участие в реализации государственных программ по созданию и наполнению открытых отечественных источников данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геопортал Высшей школы экономики (ВШЭ) [Электронный ресурс]. – URL: https://geoportal.hse.ru/portal/apps/sites/#/geodata/pages/geodata (дата обращения: 10.01.2025)
2. ГИН РАН. Лаборатория неотектоники и современной геодинамики. AFEAD [Электронный ресурс]. – URL: http://neotec.ginras.ru/database.html (дата обращения: 10.01.2025)
3. ЕФГИ. Реестр первичной и интерпретированной информации [Электронный ресурс]. – URL: https://new.efgi.ru/#/registry/search (дата обращения: 10.01.2025)
4. ArcticDEM [Электронный ресурс]. – URL: https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/ (дата обращения: 10.01.2025)
5. BGS. Geomagnetism [Электронный ресурс]. – URL: https://geomag.bgs.ac.uk/ (дата обращения: 10.01.2025)
6. BGI [Электронный ресурс]. – URL: https://bgi.obs-mip.fr/ (дата обращения: 10.01.2025)
7. GEBCO Gridded Bathymetry Data Download [Электронный ресурс]. – URL: https://download.gebco.net/ (дата обращения: 10.01.2025)
8. Geofabrik [Электронный ресурс]. – URL: https://download.geofabrik.de/ (дата обращения: 10.01.2025)
9. CGIAR-CSI SRTM – SRTM 90 m DEM Digital Elevation Database [Электронный ресурс]. – URL: https://srtm.csi.cgiar.org/ (дата обращения: 10.01.2025)
10. ICGEM [Электронный ресурс]. – URL: https://icgem.gfz-potsdam.de/home (дата обращения: 10.01.2025)
11. IHFC. Global Heat Flow Database [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ihfc-iugg.org/products/global-heat-flow-database (дата обращения: 10.01.2025)
12. Natural Earth [Электронный ресурс]. – URL: https://www.naturalearthdata.com/ (дата обращения: 10.01.2025)
13. NOAA. NESDIS. NCEI. Geomagnetism [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ncei.noaa.gov/products/earth-magnetic-model-anomaly-grid-2 (дата обращения: 10.01.2025)
14. Overpass Turbo [Электронный ресурс]. – URL: https://overpass-turbo.eu/ (дата обращения: 10.01.2025)

Ежков Ю. Б. (ejkovyuriy@gmail.com), Тошметов У. Х. (toshmetovubaydullo88@gmail.com), Холиёров А. Т. (xoliyorovanvar@gmail.com)

ГУ «ИМР» г. Ташкент

К ГЕОХИМИИ МОЛИБДЕНА В ДОКЕМБРИЙСКИХ УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ

В верхнепротерозойских черносланцевых метаморфитах Центральных Кызылкумов концентрации молибдена и рения достигают соответственно 0,9 % и 3,9 г/т. Концентрация молибдена обязана воздействием восходящих термальных вод на осадочные и осадочно-вулканогенные образования, обогащенные углеродистым веществом и главное комплексом редких металлов, создающих рудные тела в пологозалегающих трещинных зонах. Увеличение содержаний рения проходит уже в условиях пострудного метасоматоза (или метаморфизма).

Ключевые слова: Центральный Кызылкум, молибден, рений, редкий металл, осадочные, осадочно-вулканогенные, углеродистые-вещество, метаморфизм.

В изученных нами и предыдущими исследователями верхнепротерозойских формациях от юга Тамдытау (Бельтау) до юга Ауминзатау в углеродистых метаморфических образованиях

установлен высокий кларк концентрации молибдена и рения. Первый из них представлен собственными минералами – молибденитом, йордизитом и ильземанитом, а второй – изоморфной примесью к молибдену.

Особенно высокие содержания молибдена отмечаются в углеродисто-кремнистых сланцах (от 0,003 до 0,09 %, максимально 6 %, в среднем 0,011 %; средний кларк его концентрации 55, средний кларк молибдена в сланцах по А. П. Виноградову 0,0002 %). Кроме собственных минералов молибден представлен повышенными концентрациями в углеродистом веществе (до 0,006 %, кларк концентрации – 30). Накопление молибдена происходило в процессе сингенеза осадков и последующего эпигенетического перемещения его.

Содержание рения, изоморфного с молибденом, в углеродисто-силицитовой формации достигает 0,00039 %, в тонкопелитовой сланцевой – до 0,00044 %, кларк концентрации колеблется максимально в пределах 33–37 при кларке, по К. К. Турекиану и К. Х. Ведеполю [4] 0,000012 %. Отношения содержаний рения и молибдена колеблются в значительных пределах – от 1 : 0,6 до 1 : 2700, в среднем 1 : 300. Подобные сравнительно высокие отношения указывают на осадочное происхождение концентраций рения.

Молибденит в углеродистых кремнистых и филлитовых сланцах верхнего протерозоя (ауминзинская, тасказганская и др. свиты) Центральных Кызылкумов (горы Ауминзатау, Даугызтау, Джетымтау, Бельтау, Джамантау, Тамдытау, Мурунтау и др.) находится в виде микроскопически видимой вкрапленности чешуек. Рассеянные пластинки молибденита и их густые скопления преимущественно расположены по слоистости пород. Минерал в отраженном свете сильно анизотропный, белый, хорошо заметен лишь при больших увеличениях (больше 300). Некоторые сланцевые прослои особенно обогащены тонкодисперсным молибденитом, приуроченным к углеродистому веществу, с которым находится в теснейшем взаимопроникающем срастании. По этой причине молибден в большом количестве (до 2 %) содержится в легкой фракции протолочек. Молибденит часто дает также совместные сростки со сфалеритом, патронитом (образует включения в краевой части более крупных выделений последнего).

Молибденита в породах сравнительно много, столько же, сколько сфалерита или несколько меньше, но значительно меньше, чем пирита и пирротина.

Молибденит (как и сфалерит) является более ранним, чем пирротин. Кроме вышеотмеченных минералов молибденит парагенетически ассоциирует с сульфидами других тяжелых металлов – бравоитом, арсенопиритом, кобальтином, никелином, галенитом, халькопиритом, а также селенидом меди – умангитом, магнетитом, хромитом и другими минералами.

Молибден и рений сконцентрированы в верхнепротерозойских углеродисто-кремнистых сланцах и филлитах в совместной парагенетической ассоциации с ванадием, селеном, таллием, цинком, кадмием, серебром, медью, мышьяком, кобальтом, никелем и другими халькофильными элементами, также отмечающимися в повышенных содержаниях.

Известно [1], что в углисто-глинистых сланцах, обогащенных органическим веществом, концентрация молибдена может достигать 0,1 %, что уже сравнимо с его содержанием в рудах гидротермальных месторождений промышленного значения.

В аналогичных нашим черных сланцах Мансфельда молибден также находится в сульфидной форме в виде мельчайших чешуек молибденита.

Анализ распределений молибдена в осадочных породах показывает, что он не накапливается в терригенных и хемогенных отложениях, а концентрируется в породах путем адсорбции его коллоидными соединениями алюминия (глины) и особенно коллоидами гидратов окислов железа и адсорбции его из вод в восстановительной органической среде (углистое вещество).

Концентрация редких металлов в районе исследований, по-видимому, происходила за счет самих метаморфизующихся осадочных и осадочно-вулканогенных пород в результате эпигенетического перемещения их под воздействием нагретых метаморфогенных вод, возникших при перекристаллизации минералов в процессе регионального метаморфизма пород и последующего отложения в благоприятных (восстановительных) средах. В условиях повышенных температур и давлений вода, освобождавшаяся из минералов, была способна раство-

рять, переносить и отлагать в породах различные сое-динения. Выделение их происходило вдоль согласных и секущих слоистость трещинок в породах или же путем метасоматического замещения.

В.Ф. Савельев и др. [2] отмечают, что горячие воды могли быть фреатическими, то есть связанными с метаморфизмом и дегидратацией осадочных формаций складчатого основания, а также с вадозными, например, нефтяными водами.

Все эти восходящие воды связывалась между собою и с еще менее глубинными артезианскими водами в единой цепи миграции, обнимаемой представлением о водонапорных системах.

Д. И. Щербаков [3] подчеркнул, что восходящие термальные воды, в том числе ювенильные и даже генерируемые в виде паров магмой и застывающими интрузиями и эффузиями, сами по себе могут быть стерильными. Но они способны выщелачивать рудные компоненты из боковых пород по путям своего движения. При этом наибольший эффект дает выщелачивание дисперсных осадочных, туфоосадочных и туфогенных формаций, обладающих гораздо большей проницаемостью и большей реагирующей с ними поверхностью, чем магматические породы.

Таким образом, рассмотрение проблемы генезиса «телетермальных» руд в осадоч-ных формациях косвенно возвращают ее (хотя бы частично) к позициям сингенетично-эпигенетичного осадочного рудогенеза.

Эта позиция подтверждается тем, что у определенных типов таких руд нередко устанавливается их сопряженность с определенными типами осадочных формаций (например, в ванадиевых и частью молибденовых и рениевых эпигенетичных рудопроявлениях с углеродистыми формациями, в частности при образовании мелких поперечных «лестничных» роскоэлит-кварцевых прожилков, секущих только алевролитовые слои в нижнекембрийской углеродисто-сланцевой формации Баласаускандыка в хр. Карату).

Теория эпигенеза в осадочных породах впервые в мировой литературе была обоснована ещё А. С. Уклонским на примере нефтяного эпигенеза (парагенезис нефтяных битумов и руд серы, ванадия, меди, урана и др. элементов).

В теории нефтяного эпигенеза уже содержалось признание восходящей миграции нефтяных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежков Ю. Б., Рахимов Р. Р., Рустамжонов Р. Р., Холиёров А.Т., Тошметов У.Х. Геохимическая специализация домезозойских углеродистых формаций горнорудных районов Центральных Кызылкумов // Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», 3–5 апреля 2019. – М., 2019. – С. 1–4.
2. Савельев В. Ф., Магдиев Р. А., Абдуллаев Э. Т., Каримов Х. К., Шаисламова М. А. К геохимии докембрийских осадочно-метаморфических пород Западного Узбекистана // Земная кора Узбекистана (по геолого-геофизическим и геохимическим данным). – Ташкент : ФАН, 1974. – С. 177–188.
3. Щербаков Д. И. Новое о происхождении гидротермальных месторождений. – М. : Знание, 1966. – 166 с.
4. Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // Bull. Geol. Soc. America. – 1961. – V. 72, № 2. – 175 p.

Енгалычев С. Ю. (Svatoslav_Engalychev@karpinskyinstitute.ru)
ФГБУ «Институт Карпинского», г. Санкт-Петербург

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕНИЙСОДЕРЖАЩИХ ФОРМАЦИЙ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Растущий спрос на редкий металл рений активизировал поиски как традиционных, так и новых сырьевых источников. В результате проведенных исследований в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы выделены и охарактеризованы ренийсодержащие формации, а также определены основные пространственно-временные закономерности их размещения.

Ключевые слова: рений, Восточно-Европейская платформа, металлогения, осадочный чехол.

Редкий рассеянный химический элемент рений (Re) находит все более широкое применение в производстве современного высокотехнологичного оборудования. Сочетание химических и физических свойств этого металла определяет значительный интерес к его использованию в областях техники, где требуются материалы, обладающие износостойкостью, жаропрочностью и кислотоустойчивостью. Основным направлением его использования является производство высококачественных сплавов, состоящих из тугоплавких металлов (W, Ta, Mo) с добавкой (1,5–2,5 %) рения. Он используется как катализатор при глубокой переработке нефти.

Рений не образует самостоятельных месторождений, а входит в состав комплексных ренийсодержащих рудных объектов различных типов. Кларк рения в земной коре составляет 7·10–8 %. Рений крайне редко образует самостоятельные минералы. Достоверно известны несколько минералов рения: джезказганит $(Cu,Pb,Re)S_2$, рениит ReS_2. Рений как изоморфная примесь присутствует в составе более 50 минералов-носителей: наиболее часто в молибдените, борните, халькопирите, иордизите, пирите. Его минералами-носителями преимущественно являются сульфиды. В настоящее время основные источники этого остродефицитного металла – молибденовые и медно-молибденовые порфировые месторождения, медистые песчаники, а также эпигенетические гидрогенные месторождения урана зон пластового окисления [16]. По геохимическим данным рений установлен в составе ряда углеродистых сланцев, углей и угленосных отложений, тяжелых нефтей и битумов и вулканических фумарол (вулкан Кудрявый, Южные Курилы) [4, 5, 14, 15, 17]. Растущий спрос на Re, а также ограниченность доступных для освоения месторождений активизировали исследования по поискам как традиционных, так и альтернативных сырьевых источников этого металла в мире и в России [17]. В Российской Федерации рений внесен в перечень основных видов стратегического минерального сырья наряду с нефтью, природным газом, U, Cr, Au, Pt, алмазами, а также в перечень приоритетных видов стратегического минерального сырья. В связи с чем развитие сырьевой базы этого металла является актуальным и приоритетным направлением исследований. В Российской Федерации Государственным балансом запасов рассеянных элементов по состоянию на 01.01.2023 запасы рения учтены в рудах девяти коренных месторождений: Брикетно-Желтухинское Re-Mo-U гидрогенное эпигенетическое (Рязанская область); Сорское молибденовое (Республика Хакасия); Южно-Шамейское вольфрам-молибденовое (Свердловская область); Агаскырское молибденовое (Республика Хакасия); Ак-Сугское медно-порфировое (Республика Хакасия); Песчанка медно-порфировое (Чукотский автономный округ); Михеевское медно-порфировое (Челябинская область); Коклановское вольфрам-молибденовое (Курганская область); Мало-Ойногорское молибденовое (Республика Бурятия). Запасы по кат. $A + B + C_1$ – 9 т, C_2 – 301 т. Забалансовые – 141,9 т. Добыча рения велась в Челябинской области и Республике Хакасия. Кроме того, в Сахалинской области известны динамические запасы рения кат. C_2 в количестве 36,7 т/год по рудопроявлению Вулкан Кудрявый на о. Итуруп, не учитываемые Государственным балансом запасов. Общая низкая изученность территории России на рений и отсутствие современной прогнозно-металлогенической оценки страны на этот стратегический металл делает актуальной задачу проведения системных исследований, ориентированных на оценку рениеносности отдельных регионов страны. При этом

особое внимание исследователей, в контексте вовлечения объектов в промышленный оборот, привлекают регионы с развитой инфраструктурой. В качестве такового рассматривается область развития осадочного чехла Восточно-Европейской платформы (ВЕП). В последние годы в связи с ростом аналитических возможностей были получены новые данные о рениеносности ряда осадочных пород и руд осадочного чехла Восточно-Европейской платформы: диктионемовых сланцев нижнего ордовика, развитых на северо-западе Русской плиты [4, 12, 13], Бельского и Брикетно-Желтухинского Re-Mo-U месторождений и ряда проявлений в центральной части Русской плиты [2, 8, 11], а также органогенно-фосфатных уран-редкометалльных месторождений в майкопских отложениях вала Карпинского [4]. Для ряда рениеносных объектов предложена и апробирована технология отработки [9, 10]. В последнее время в рамках исследования рениеносности региона были подготовлены обобщающие монографии [4, 12]. Они базируются как на данных ранее выполненных исследований, первичных опубликованных и фондовых материалах, так и на новом обширном авторском фактическом материале. В анализ были вовлечены данные по геологическому строению региона, истории геологического развития, рудоносности и нефтегазоносности осадочного чехла ВЕП. В работе использованы материалы по территории вала Карпинского, находящегося на границе ВЕП и Скифской плиты. Эта геологическая структура, как и Складчатый Донбасс и Днепровский грабен, входит в состав единой крупной Припятско-Доно-Мангышлакской палеорифтовой системы, осложняющей южную периферию ВЕП.

На основе анализа опубликованных, фондовых и авторских материалов, характеризующих вещественный состав комплексного с рением оруденения в породах и рудах осадочного чехла ВЕП, характер его локализации, условия формирования, были выделены девять ренийсодержащих рудных формации: ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, горючих сланцах, молибденовая в пестроцветных отложениях, каменноугольная, урановая в угленосных отложениях, битумная уран-ванадий-карбонатная и терригенно-карбонатная, медистых песчаников и сланцев, урановая терригенная палеодолин, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом. Анализ авторских и литературных данных позволил установить вариации содержания рения в ренийсодержащих формациях осадочного чехла ВЕП. Приняты следующие градации руд по содержанию в них Re: убогие (0,1–0,5 г/т), бедные (0,5–1 г/т), рядовые (1–2 г/т), богатые (2 г/т и более). Таким образом, впервые в разновозрастных образованиях осадочного чехла ВЕП выделены девять ренийсодержащих рудных формаций, используемых при региональном металлогеническом анализе и выделении прогнозных площадей. При этом наибольшее промышленное значение имеют четыре формации: урановая в угленосных отложениях, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом, ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, каменноугольная. Анализ материалов показал, что в разрезе осадочного чехла ВЕП наиболее разнообразный комплекс ренийсодержащих формаций приурочен к верхнепалеозойским (карбон–пермь) отложениям [4]. При выявлении региональных закономерностей размещения ренийсодержащих объектов в анализ вовлечены многочисленные материалы, характеризующие геологическое строение осадочного чехла и кристаллического фундамента, а в качестве значимого критерия рассматривается разнообразное влияние фундамента платформы на формирование осадочного чехла. В фундаменте ВЕП располагается система рифейских авлакогенов, долгоживущих региональных погребенных палеорифтогенных структур. Большинство авлакогенов расположено над древними подвижными поясами, разделяющими геоблоки дорифейского фундамента платформы – Фенноскандию, Волго-Уралию и Сарматию. На палеозойском и мезозойском этапах развития ВЕП авлакогены испытали структурное преобразование. К краевым (периферийным) зонам осадочного чехла ВЕП приурочено размещение большинства ренийсодержащих рудных формаций. Так, ренийсодержащие рудные формации ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах и горючих сланцев связаны с областями распространения углеродистых сланцев (битуминозных и горючих), развитыми на северо-западе (Прибалтийский бассейн) и востоке Русской плиты (Волжский, Центральный, Сысольский, Яренгский, Пешский бассейны и примыкающий к нему с востока Тимано-Печорский бассейн). Ренийсодержащая формация медистых песчаников и сланцев, приуроченная к площадям распространения меденосных площадей и меденосных геологичес-

ких формаций пермского возраста, установлена в восточной части ВЕП в Приуральской, Вятско-Камской и Южно-Уральской меденосных зонах (полосах), а также на западе ВЕП в Балтийской синеклизе, где располагается краевая (восточная) часть пермского цехштейнового бассейна, основная территория которого располагается в северной Европе. В краевой по отношению к центральной части ВЕП протяженной Припятско-Доно-Мангышлакской складчатой зоне палеозойского возраста приурочены ренийсодержащие угли Донецкого угольного бассейна (ренийсодержащая каменноугольная формация), Балковское месторождение урана (ренийсодержащая формация урановая терригенная палеодолин) в низовьях палео-Дона и комплексные органогенно-фосфатные урано-редкоземельные месторождения Калмыкии (фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом) в майкопской серии (поздний олигоцен – ранний миоцен) [4]. К краевым частям ВЕП приурочены объекты ренийсодержащей формации битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная. Типичным объектом является Репьевское уран-битумное месторождение в Среднем Поволжье (Жигулевский вал на юго-западе Волго-Уральской провинции). Менее изученное Адамовское уран-битумное месторождение располагается в складчатой зоне Донбасса.

Анализ площадного распределения ренийсодержащих объектов показал наличие их пространственной связи с рифейскими палеорифтогенными структурами и палеозойской рифтовой системой. В центральных районах ВЕП такое влияние проявлено особенно отчетливо. К центральным частям ВЕП приурочены объекты ренийсодержащей формации урановой в угленосных отложениях. Они локализованы в угленосных отложениях южной части Подмосковного угольного бассейна нижнего карбона и представлены двумя комплексными Re-Mo-U месторождениями Бельское и Брикетно-Желтухинское и рядом проявлений [2, 4, 8, 10]. Практически все выявленные Re-Mo-U объекты проецируются на межблоковые шовные зоны в кристаллическом фундаменте [10, 11, 16]. В структуре осадочного чехла Re-Mo-U объекты расположены в унаследованной от фундамента фанерозойской структуре – Калужской ступенчатой моноклизе. Наличие структурного контроля в локализации рениевых объектов может указывать на участие глубинных металлоносных флюидов в их формировании при поступлении последних в осадочный чехол по проницаемым субвертикальным разрывным нарушениям. Другая типичная ренийсодержащая формация центральных районов ВЕП молибденовая в пестроцветных отложениях представлена Печорским Re-Mo-U на западе Псковской области [4, 6]. Другим примером данной формации является Находское проявление в Новгородской области [4, 7].

Таким образом, в центральных районах ВЕП установлены своеобразные комплексные месторождения, проявления и пункты минерализации, содержащие в своем составе Re, относящийся к рудным формациям – урановая в угленосных отложениях и молибденовая в пестроветных отложениях, которые имеют многоэтапную историю формирования (с активным участием эпигенетических процессов) и приурочены к краевым зонам погребенных рифейских авлакогенов, а также участкам и зонам тектонических нарушений в осадочном чехле, которые часто подчеркнуты неоднородностями в строении осадочной толщи чехла (палеодолины, резкие переходы фаций одновозрастных отложений и др.). Пространственная приуроченность рениевых объектов к надрифтовым впадинам, вероятно, определяется их тектоническим, а главное «флюидным» режимом. Она обусловлена такими особенностями, как повышенная проницаемость чехла, повышенная тектоническая активность относительно более стабильных соседних блоков. Эти тектонические нарушения влияют на местный режим миграции флюидов, особенности проявления гидрогенных эпигенетических процессов, характер проявления эрозионных палеоструктур – палеодолин, благоприятных для размещения ренийсодержащего оруденения. Совмещение рудных объектов, расположенных на различных уровнях разреза, позволяет выявить новые, ранее не известные закономерности размещения оруденения. Так, на примере урановых объектов европейской части России, приуроченных к породам осадочного чехла, была показана возможность выделения многоуровневых урановорудных районов [1]. Установлено, что в осадочном чехле региона ренийсодержащее оруденение располагается на нескольких стратиграфических уровнях, а в пределах некоторых районов имеет место многоуровневый характер размещения (центральная часть Волжского района, Кал-

мыкский район, Донецко-Шахтинский район, а также, вероятно, Лужский район и Вятско-Оренбургский район) [3]. Это свидетельствует о слабой изученности территории на рений, а также о возможности выявления новых рудных объектов ниже по разрезу. Вероятно, и на территории других платформ со сходным геологическим строением высока вероятность обнаружения рениевого оруденения на нескольких уровнях разреза осадочного чехла. Таким образом, на основании системного анализа опубликованных, фондовых и авторских материалов выявлены ренийсодержащие рудные формации. Анализ материалов по вещественному составу, особенностям локализации и условиям формирования ренийсодержащих рудных формаций в осадочном чехле ВЕП, геологическим, структурным и историко-геологическим данным позволил выявить основные региональные пространственно-временные закономерности размещения ренийсодержащих формаций. Полученные результаты могут быть использованы для локализации перспективных площадей в пределах осадочного чехла Восточно-Европейской платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Енгалычев С. Ю. Многоуровневые урановорудные районы европейской части России // Региональная геология и металлогения. – 2012. – № 49. – С. 101–106.
2. Енгалычев С. Ю. Новые данные о минеральном составе уникальных рениевых (U-Mo-Re) руд Брикетно-Желтухинского месторождения Подмосковного бассейна // Докл. РАН. – 2019. – Т. 485, № 4. – С. 464–467.
3. Енгалычев С. Ю. Новые данные о многоуровневом характере размещения рениевого оруденения в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы и вала Карпинского // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2019. – № 3. – С. 55–63.
4. Енгалычев С. Ю. Рениеносность осадочного чехла Восточно-Европейской платформы / Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 359. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. – 288 с.
5. Енгалычев С. Ю. Рений и селен в верхнеюрской сланцевой толще разреза «Городищи» в центральной части Волжского сланцевого бассейна // Литосфера. – 2019. – Т. 19, № 5. – С. 704–716.
6. Енгалычев С. Ю. Эпигенетические молибден-урановые новообразования в девонских отложениях запада Псковской области: состав, структурная позиция и условия формирования // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 46. – С. 61–66.
7. Енгалычев С. Ю., Вербицкий И. В., Бутаков П. М. Уран-молибден-рениевое оруденение в верхнедевонских отложениях нижнего течения реки Ловать на юго-востоке Главного девонского поля // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 90–97.
8. Енгалычев С. Ю., Пуговкин А. А., Лебедева Г. Б. Геолого-структурные критерии локализации уран-молибден-рениевого оруденения в восточной части Подмосковного бассейна // Региональная геология и металлогения. – 2015. – № 62. – С. 97–104.
9. Кайлачаков П. Э., Дойникова О. А., Белоусов П. Е. Уникальное месторождение рения в угленосных песках карбона Русской плиты. Сообщение 2. Минералогия руд // Литология и полезные ископаемые. – 2020. – № 4. – С. 337–370.
10. Карась С. А., Кременецкий А. А., Орлов С. Ю. Брикетно-Желтухинское месторождение рения – новый геолого-промышленный тип гидрогенных месторождений: особенности геологического строения и технология подземного выщелачивания // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 11. – С. 20–26.
11. Кременецкий А. А., Лунева Н. В., Куликова И. М. Бельское Re-Mo-U месторождение: минералого-геохимические особенности, условия формирования, технология извлечения рения // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 6. – С. 33–41.
12. Панова Е. Г., Енгалычев С. Ю., Фадин Я. Ю. Благородные металлы и рений в черных сланцах Прибалтийского палеобассейна. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2022. – 152 с.
13. Панова Е. Г., Енгалычев С. Ю., Фадин Я. Ю. Черные сланцы – нетрадиционный источник благородных металлов и рения // Записки Горного института. – 2024. – Т. 269. – С. 789–802.
14. Рифовые, соленосные и черносланцевые формации России / Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 355. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2015. – 619 с.

15. Самойлов А. Г., Зозырев Н. Ю., Енгалычев С. Ю. Рений в отложениях волжского яруса центральной части Волжского сланцевого бассейна // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Науки о Земле. – 2017. – Т. 17, Вып. 1. – С. 58–61.
16. Трач Г. Н., Бескин С. М. Ресурсный потенциал рения территории России // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 6. – С. 26–33.
17. Трошкина И. Д., Шиляев А. В., Абдрахманов Т. Г., Майборода А. Б. Рений в нетрадиционном сырье: распределение и возможность извлечения // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 6. – С. 87–90.

Ефанова Л. И. [1] (gmin2004@mail.ru), Ковальчук Н. С. [1] (kovalchuk@geo.komisc.ru), Майорова Т. П. [1, 2] (mayorova@geo.komisc.ru)

[1] ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар; [2] СГУ им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПИРИТА ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ КАК ИНДИКАТОРЫ ПРИРОДЫ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ (ХРЕБЕТ МАНИТАНЫРД, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

В Манитанырдском золоторудном районе Полярного Урала установлена индикаторная роль элементов-примесей в пирите, указывающая на особенности их связи с различными промышленно важными типами минерализации. В пирите из золото-сульфидно-кварцевых жил установлена положительная корреляция Au с рудогенными примесями (Ag, Zn, Cd, Pb, Cu, Bi). В пирите из зон развития вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализации (тип минерализованных зон) Au не имеет связи с рудогенными элементами. Результаты исследований представляют большой интерес при проведении литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния и дают ключ к разбраковке аномалий по типу ожидаемого скрытого оруденения, что имеет важное практическое значение для выбора стратегии поисковых работ на коренное золото в этом районе.

Ключевые слова: золото-сульфидно-кварцевая минерализация, минерализованные зоны, пирит, тонкодисперсное золото, Манитанырд, Полярный Урал.

В Манитанырдском районе расположено месторождение золота Верхнениюское-2, несколько рудопроявлений и многочисленные пункты минерализации, размещение которых контролируется протяженной зоной разломов СВ простирания. Месторождение Верхнениюское-2 относится к жильному золото-сульфидно-кварцевому типу, Au–As (арсенопиритовому) подтипу. Вмещающими породами являются вулканиты основного состава бедамельской серии позднего рифея–венда. Руды представлены преимущественно пиритом и арсенопиритом с тонкодисперсным золотом, второстепенные минералы – самородное золото, сфалерит, халькопирит, галенит, редко блеклые руды и минералы висмута. Содержание сульфидов в жилах колеблется от 1–2 до 70 %. Среднее содержание Au 4,8 г/т.

Рудопроявления Верхнениюское-1, Нияхойское-1 и Нияхойское-2, Ягодное относятся к типу минерализованных зон с вкрапленной сульфидной, преимущественно пиритовой минерализацией (содержание сульфидов 1–2 %, Au – первые г/т) с немногочисленными, маломощными сульфидно-кварцевыми жилами (среднее содержание Au 7,38 г/т). Руды размещаются в вулканогенно-осадочных отложениях енганэпейской свиты позднего венда–раннего кембрия.

Для всех золоторудных объектов района характерна однотипная золото-мышьяковая (арсенопирит-пиритовая) минерализация с второстепенной золото-халькопирит-галенит-сфалеритовой ассоциацией, проявленных в разной степени. На рудопроявлениях до глубины 15–60 м, реже до 150–190 м развита зона окисления и дезинтеграции, в которой руды в разной степени окислены, вмещающие породы гидротермально изменены, катаклазированы и милонитизированы.

В зоне рудоконтролирующих разломов выявлен целый ряд геохимических аномалий по вторичным ореолам рассеяния, оконтуривающих как известные рудопроявления, так и зоны

рассеянной минерализации. Почти все золотоносные аномалии сопровождаются комплексом элементов: Au (0,006–1,5 г/т), Ag (0,1 г/т), Zn (150 г/т), Pb (30 г/т), Cu (100 г/т), As (100 г/т), а также Mo, Sn, Bi, Ba, Sr. Комплексный набор элементов во вторичных ореолах рассеяния соответствует минералого-геохимическим особенностям руд известных рудопроявлений, поэтому при прогнозе типа скрытого оруденения, сопряженного с аномалиями, предполагается наличие аналогичной минерализации с полиминеральным составом руд. Однако практика заверки аномалий показывает, что этот прогноз не всегда подтверждается, поэтому выявление природы геохимических аномалий по вторичным ореолам рассеяния является актуальной задачей поисков новых рудных объектов в районе. Ключом к пониманию природы этих аномалий могут служить свойства пирита, который является главным или доминирующим минералом как в жильных, так и минерализованных зонах. В связи с этим нами проанализированы 25 монофракций пирита из рудопроявлений района.

Изучение состава пирита проводилось на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMH (Tescan, Чехия) с энергодисперсионным спектрометром X-Max 50 (Oxford Instruments, Oxford, UK), определение микропримесей по монофракциям пирита выполнено методом ICP-MS на масс-спектрометре Agilent 7700x (Agilent Technologies, USA). В результате анализа в пирите установлен широкий набор микропримесей с вариациями содержаний от 0,n до $n \times 10^4$ ppm. Среди них выделены следующие группы элементов: *рудогенные* (Cu, Zn, Pb, Bi, Mo, W, Au, Ag), *петрогенные* (Mn, V, Cr), *редкие и рассеянные* (Li, Be, Sc, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Hf, Ta, Th, U), *редкоземельные* (от La до Lu) [1]. Полученные данные обработаны методом многомерной статистики, включающим корреляционный и иерархический кластерный анализы. Основное внимание уделено группе рудогенных микропримесей как элементов-спутников золота в пирите, рудах и литогеохимических аномалиях.

По результатам ICP-MS анализа установлено повышенное содержание золота в пирите: из сульфидно-кварцевых жил (Верхнениюское-2, Верхнениюское-1) от 8 до 83 г/т, из минерализованных зон (Ягодное, Ниюхойское-2) от 3,8 до 28 г/т. Набор микропримесей один и тот же, но для пирита жильных образований характерно высокое содержание рудогенных элементов (г/т): Ag (5,7–36), Zn (12–28 488), Cd (3–236), Pb (114–7462), Cu (287–3107), Bi (2,7–407); для вкрапленного пирита минерализованных зон оно ниже: Ag (2,6–15), Zn (8,4–131), Cd (1,5–2,7), Pb (5,7–800), Cu (129–581), Bi (5,8–54). Между элементами-примесями выявлена высокая положительная связь (в скобках значение r – коэффициента корреляции): Au–Ag (0,75), Au–Pb (0,86), Au–Zn (0,56), Zn–Pb (0,84), Ag–Pb (0,72), Cu–Bi (0,92) (см. рисунок).

По данным микрозондового анализа, типичными элементами-примесями в пирите являются As (0,22–5,29 мас.%), Ni (0,09–0,82 мас.%) и Co (0,25–1,97 мас.%). В пирите сульфидно-кварцевых жил и минерализованных зон установлено присутствие микровключений самород-

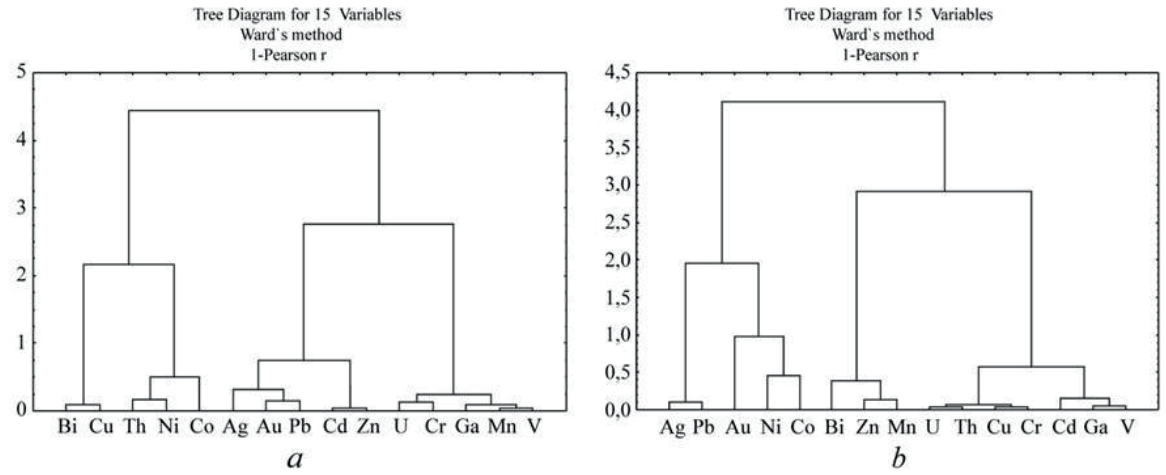


Рисунок. Дендрограммы элементов-примесей в пирите:
a – в жилах (рудопроявления Верхнениюское-1, Верхнениюское-2), b – в минерализованных зонах (рудопроявления Ягодное, Ниюхойское-2)

ного золота размером от 1 до 20 мкм и от 1 до 10 мкм соответственно. Пирит из сульфидно-кварцевых жил постоянно содержит микровключения других сульфидов – галенита, сфалерита, халькопирита, арсенопирита – размером от 10 до 200 мкм. Для пирита минерализованных зон характерно большое количество включений – реликтов породообразующих минералов: биотита, калиевого полевого шпата, амфибола, альбита, титанита, рутила размером до 100 мкм. Реже встречаются микровключения рудных минералов – халькопирита, галенита, сфалерита и теллуридов висмута.

В заключение можно сделать следующие выводы: 1) установленный набор рудогенных элементов-примесей в пирите как из сульфидно-кварцевых жил, так и минерализованных зон соответствует комплексу элементов в литогеохимических аномалиях золота по вторичным ореолам рассеяния; 2) присутствие рудогенных микропримесей (Zn, Pb, Cu, Bi) и золота в пирите обоих типов объектов обусловлено наличием микровключений сульфидов (сфалерита, галенита, халькопирита, минералов висмута) и самородного золота (Au, Ag); 3) As является типичной изоморфной примесью пирита обоих типов объектов, либо его присутствие обусловлено микровключениями арсенопирита; 4) повышенные содержания рудогенных элементов, As и Au в пирите вполне достаточны для образования вторичных ореолов рассеяния над зонами пиритизации; 5) в пирите минерализованных зон все корреляционные связи Au с подавляющим большинством рудогенных элементов отсутствуют, следовательно, комплексные аномалии элементов Pb, Zn, Cu, Bi могут развиваться в отрыве от аномалий золота; 6) незаверенные комплексные геохимические аномалии Au и сопутствующих элементов, развитые над точками минерализации, могут быть обусловлены не только полиминеральными рудами, но и зонами пиритизации с золотоносным пиритом.

Полученные данные дают критерии к разбраковке литогеохимических аномалий по типу ожидаемого скрытого оруденения – жильное золото-сульфидно-кварцевое или золото-сульфидное минерализованных зон, что имеет важное практическое значение при выборе стратегии поисков золотого оруденения на территории исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефанова Л. И., Ковальчук Н. С., Майорова Т. П. Микропримеси в пирите золоторудных проявлений хребта Манитанырд (Полярный Урал). // Руды и металлы. – 2024. – № 2. – С. 36–62. – DOI : 10.47765/0869-5997-2024-10017

Житков В. Г. [1, 2] (vlgitkov@yandex.ru), Ананьев Ю. С. [1] (ananyevys@mail.ru), Поцелуев А. А. [1, 3] (poceluevaa52@mail.ru), Логутов Б. Б. [4] (perm193xp@gmail.com)

[1] НИТПУ, г. Томск; [2] НИТГУ, г. Томск;

[3] ООО «КосмоГеопро», г. Томск; [4] ООО «Инвест-Строй», г. Томск

ТУРУНТАЕВСКАЯ ЗОНА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В МАТЕРИАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

Изучены структуры Турунтаевской зоны полиметаллической минерализации по космоматериалам Landsat 7–8, Aster, Sentinel-2 и цифровой модели рельефа по данным SRTM и AsterGDEM. Установлено широкое развитие линейных разрывных, ряда кольцевых и дуговых структур. Выделены рудоконтролирующие зоны. Сформулирован комплекс критериев оруденения.

Ключевые слова: Турунтаевская зона, полиметаллическое (цинк) оруденение, мультиспектральные космические снимки, геолого-структурная схема, критерии рудоносности.

Турунтаевская зона полиметаллической минерализации расположена в 65 км от Томска, у села Турунтаево и представляет собой минерализованную зону метасоматически измененных пород. Зона прослежена скважинами по простиранию на 12 км и на глубину до 500 м. Оруденение приурочено к крутопадающим разрывным нарушениям северо-западного (Кузнецко-Алатауского) направления. В наиболее богатой части зоны минерализация локализуется в области

контакта черных филлитовидных сланцев и метаморфизованных андезибазальтов единисской свиты.

Район имеет слабо всхолмленный рельеф с абсолютными отметками поверхности 120–160 м, расчлененный сетью логов и речек. Относительные превышения местности не более 40–50 м. Все склоны пологие, задернованные. Обнажений коренных пород нет. Палеозойский фундамент залегает на глубине 80 м.

Основой для составления структурных схем площади послужили материалы спектрозональных космических съемок Landsat ETM+ (1999 г.), Aster (2005 г.), Sentinel-2 (2018 г.). В качестве дополнительных источников информации использованы цифровые модели рельефа по данным радарных съемок SRTM и AsterGDEM.

Одним из основных методических факторов является то, что в материалах космических съемок, охватывающих единой сценой значительные площади, происходит генерализация мелких «второстепенных» деталей, которые фиксируют слабо проявленные геологические образования (в том числе рудоносные зоны). Это, в свою очередь, определяет и их повышенную глубинность – «проявленность» на современной «дневной» поверхности слепых и погребенных геологических тел. Это обусловлено геофизическим и геохимическим (подвижные формы и соединения элементов) влиянием тел на элементы ландшафта, спектральные характеристики перекрывающих рыхлых отложений, почв и растительности [1 ,2, 3, 7].

Исследования показали, что в пределах изученной площади отчетливо проявлены структуры линейной и кольцевой (дуговой) морфологии (рисунок).

Турунтаевское рудопроявление расположено в зоне сопряжения крупных систем региональных разломов:

- северо-западных (аз. 290–295°), связанных с Восточно-Саянскими структурами;
- север-северо-западных (аз. 325–330°) – ответвлений Кузнецко-Алатауского разлома.

Эти системы разломов свидетельствуют о возможном влиянии (связи) оруденения Турунтаевской зоны с крупными металлогеническими поясами, имеющими отличную рудную специализацию [4].

На площади выявлены кольцевые структуры диаметром 16–40 км, интерпретируемые как фактор влияния глубинных флюидно-магматических очагов, которые оказывают влияние на формирование крупных эндогенных месторождений [5, 6, 8, 9].

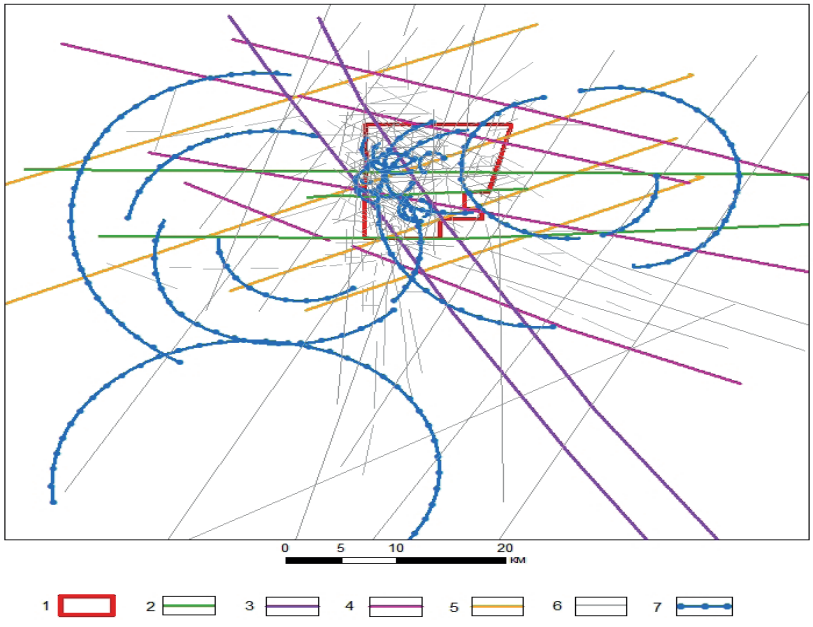


Рисунок. Схема основных структур района Турунтаевского рудопроявления:
1 – участок Турунтаевского рудопроявления; 2 – субширотные разрывные нарушения; 3 – север-северо-западные Кузнецко-Алатаусские разломы; 4 – северо-западные Восточно-Саянские разломы; 5 – северо-восточные нарушения; 6 – локальные разломы; 7 – кольцевые и дуговые структуры

Выделяются три группы сложно построенных телескопированных структур: условно центральная, северная и южная. Они приурочены к краевой части крупной региональной кольцевой структуры (восточной), формируя систему «подшипникового» типа (рисунок).

Центральная группа структур охватывает наиболее изученную часть Турунтаевской зоны. Северная группа кольцевых структур состоит из двух концентрических объектов диаметрами 4 и 6 км. Южная группа состоит также из двух концентрических колец диаметрами около 2,5 и 3,5 км.

В результате исследований установлены региональные и локальные критерии цинкового оруденения. К региональным отнесены северо-западные разломы Восточно-Саянского направления и крупные кольцевые структуры диаметром 16–40 км. Локальные факторы включают узлы сопряжения разрывных нарушений и небольшие кольцевые структуры (диаметром 2–6 км), входящие в состав более крупных очаговых структур.

Полученные данные позволили оптимизировать методику геологоразведочных работ и скорректировать обоснование прогнозных ресурсов Турунтаевского рудопроявления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев Ю. С., Житков В. Г., Поцелуев А. А. Прогнозно-поисковая модель эпитермальных Au-Ag месторождений кислотно-сульфатного типа по данным дешифрирования современных космических снимков (на примере рудного поля Светлое, Хабаровский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 5. – С. 84–92.
2. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под. ред. А. В. Перцова. – СПб. : Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. – 316 с.
3. Гаврилов Р. Ю., Соболев И. С. и др. Апробация снежной и атмогеохимической съемок для картирования ореолов рассеяния погребенной полиметаллической минерализации на примере Турунтаевского рудопроявления (Томская область) // Известия Томского политехнического университета. – 2023. – № 1. – С. 126–135.
4. Дистанов Э. Г., Борисенко А. С., Оболенский А. А. и др. Особенности металлогении полиаккреционной Алтае-Саянской орогенной области // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 12. – С. 1257–1276.
5. Житков В. Г., Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С. Структурно-вещественные модели рудных районов Алтая по материалам современных космических съемок // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции (12–15 апреля 2022 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 71–73.
6. Маракушев А. А. Рудоносность взрывных кольцевых структур // Геология рудных месторождений. – 1996. – Т. 38, № 6. – С. 500–511.
7. 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.-мин. наук, проф. А. А. Поцелуева. – 3-е изд. – Томск : 2019. – 192 с.
8. 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.
9. 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.

Зайниддинов Ф. А. (zayniddinovfazliddin93@gmail.com)
ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент, Республика Узбекистан

СПЕКТРАЛЬНЫЕ СИГНАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН

В работе приведены данные о диапазонах обнаружения доступных минералов и приема космических снимков каждого канала с помощью материалов дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: спектральная сигнатура, дистанционного зондирования, диапазон, мультиспектральных каналов, LWIR, NIR, SWIR, Земля.

Спектральная съемка для дистанционного зондирования наземных объектов возникла как альтернатива системам спутниковой съемки с высоким пространственным разрешением и большой апертурой. Ранние применения спектральной визуализации были ориентированы на классификацию почвенного покрова, разведку полезных ископаемых и решение задач сельского хозяйства, используя небольшое количество тщательно подобранных спектральных полос, расположенных в видимой и инфракрасной областях электромагнитного спектра. Улучшенные версии ранних мультиспектральных датчиков продолжают использоваться и сегодня. Со временем появился новый класс датчиков – гиперспектральные тепловизоры, использующие сотни смежных полос для обнаружения и идентификации различных природных и искусственных материалов. В данном информационном отчете представлены основные элементы спектральной съемки с спектрорадиометром для обнаружения и классификации спектральной характеристики рудных зон.

Оптико-электронный вид аппаратуры на спутниках дистанционного зондирования позволяет получать информацию об объекте без физического контакта с этим объектом. Панхроматические (т.е. в оттенках серого) и цветные (т.е. красный, зеленый, синий) системы визуализации доминируют в оптическом зондировании в видимой области электромагнитного спектра. Длинноволновое инфракрасное изображение (LWIR), которое сродни панхроматическому изображению, для создания изображения использует тепловое излучение объектов в сцене, а не отраженный свет.

Совсем недавно пассивная съемка эволюционировала, включив в себя не только одну панхроматическую полосу или три цветовые полосы, охватывающие видимый спектр, но и множество полос – несколько сотен или более, охватывающих видимый спектр, а также ближний инфракрасный (NIR) и коротковолновый инфракрасный (SWIR) диапазоны. Эволюция в пассивной визуализации является результатом достижений в технологии фокальной плоскости и направлена на использование отражательных свойств материалов. Давно известно, что материалы, из которых состоят различные объекты, отражают, рассеивают и поглощают электромагнитное излучение способами, характерными для их молекулярного состава и их размеров, структуры и формы. Если излучение, поступающее на датчик, измеряется на многих длинах волн в достаточно широком спектральном диапазоне, результирующая спектральная сигнатура, или просто спектр, может использоваться для идентификации материалов и определения различных классов материалов.

В то время как измерения излучения на многих длинах волн могут предоставить больше информации о материалах, результирующие изображения не поддаются простой визуальной оценке. Сложная обработка изображений требуется для извлечения всей соответствующей информации, содержащейся во множестве спектральных диапазонов.

В случае солнечного освещения спектральное излучение света, достигающего атмосферы, достаточно хорошо определяется. Многие явления окружающей среды и восприятия могут усложнить восстановление спектров отражения. Например, несмотря на то, что спектр солнечного излучения, достигающего атмосферы, хорошо определяется, спектр солнечного излучения, достигающего земли, изменяется в зависимости от времени и географически из-за распространения солнечного излучения через постоянно меняющуюся атмосферу Земли. Такие эффекты атмосферной модуляции должны быть учтены для надежного восстановления спектров отражения материалов на земле в освещенной солнцем сцене (рис. 1).

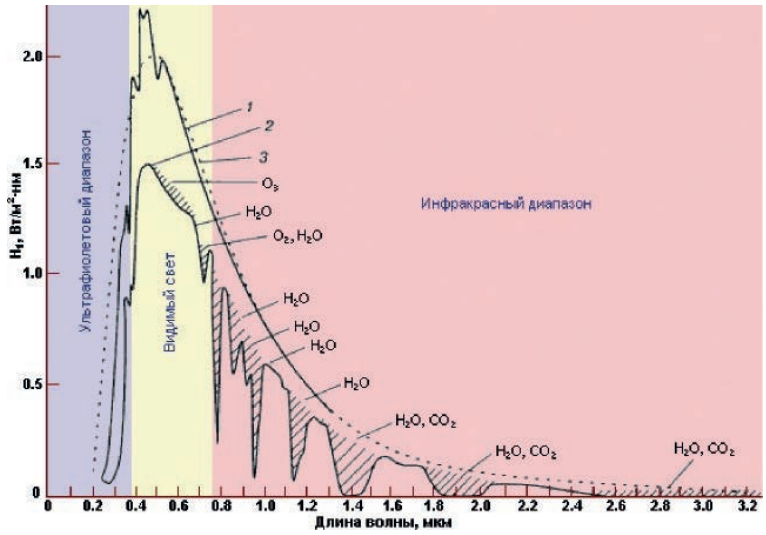


Рис. 1. Интенсивность падающего на Землю солнечного излучения в зависимости от длины волны

Ошибки датчика могут еще больше затруднить восстановление спектров отражения, искажая и загрязняя необработанные изображения. Например, вибрация в фокальной плоскости может привести к перекрестному загрязнению соседних спектральных полос, что приведет к искажению наблюдаемого спектра.

Исходными данными в проводимой работе являлись различные мультиспектральные космические снимки (Aster, Landsat-7, -8), спектральные библиотеки, имеющиеся в программном обеспечении ERDASIMAGINE (Aster, JPL, USGS) и (или) полученные из других источников.

Библиотеки сигнатур спектров минералов использовались стандартные, встроенные в программное обеспечение ERDASIMAGINE (рис. 2–5).

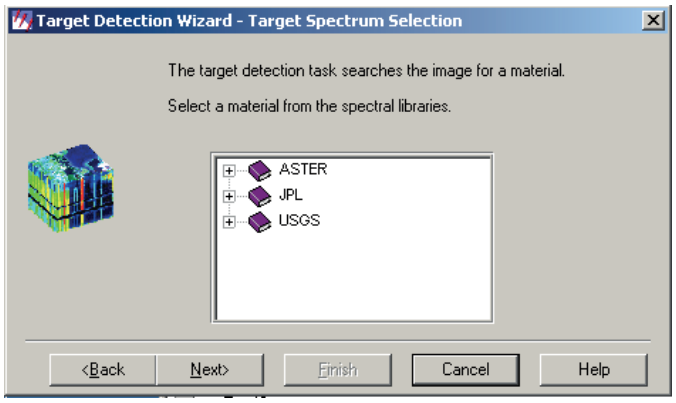


Рис. 2. Библиотека сигнатур минералов ПО ERDASIMAGINE

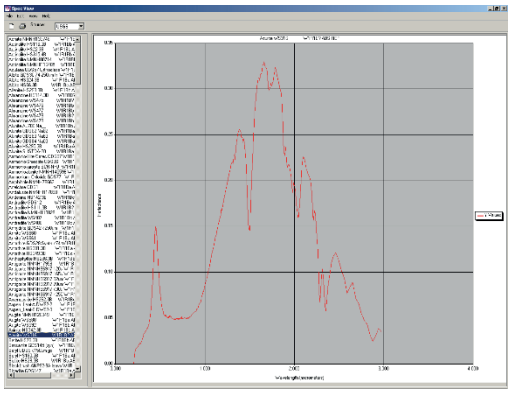


Рис. 3. Библиотека сигнатур минералов USGS

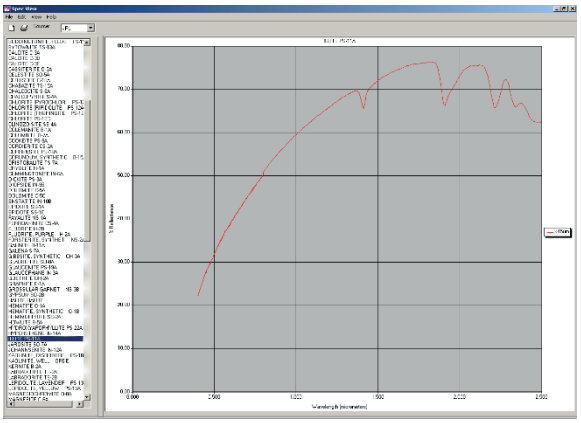


Рис. 4. Библиотека сигнатур минералов JPL

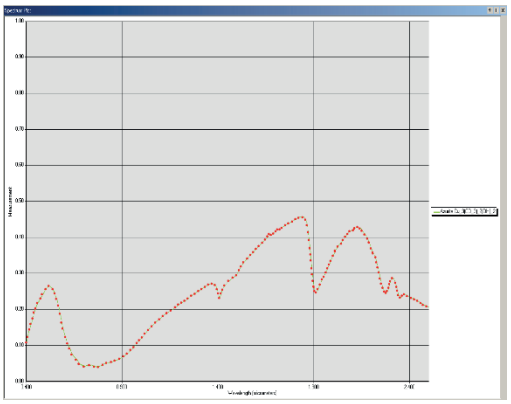


Рис. 5. Сигнатура спектра отражения минерала из библиотеки ASTER

Наряду со структурными, литологическими и тектоническими факторами, являющимися одними из важных в локализации и прогнозе месторождений, необходимо выполнение проекта по созданию предварительной основы карт разломов и минеральных изменений по изучаемой территории. Выполнение таких методов позволяет выделить данные критериев рудолокализации совместно с наложенными вторичными изменениями.

Для поиска территорий, выделенных с помощью эталонных сигнатур, применялось программное обеспечение ERDASIMAGINE-2014 со встроенными спектральными библиотеками и соответствующими модулями. Работа не претендует на 100 % совпадение и представляет лишь метод, который в дальнейшем будет уточняться и детализироваться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии. – М. : Мир, 1998. – 343 с.
2. Рудные месторождения Узбекистана. – Ташкент : ГИДРОИНГЕО, 2001. – 611 с.
3. ArcGISDesktop Help [Электронный ресурс] – URL: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/.
4. Erdas Imagine. Help Geospatial Tools. Principal Components Analysis [Электронный ресурс] – URL: http://www.gi.leica-geosystems.com/.

Звездов В. С. (zvezdov@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИЕ ПОЯСА И МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ СИСТЕМЫ НОВОГВИНЕЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Описаны геотектоническая позиция вулкано-плутонических поясов Новой Гвинеи, строение и металлогения принадлежащих им медно-порфировых рудно-магматических систем. На основе анализа палеотектонических построений, петрологии и возраста рудоносных интрузивов, вещественного состава руд установлено, что формирование крупнейших в мире Au-(Mo)-Cu- и Au-Cu-порфировых и сопряженных с ними скарновых и эпитермальных месторождений связано со становлением магматических формаций окраинно-континентального андезитоидного и более позднего рифтогенного поясов. Показаны различия в метасоматической и рудно-формационной зональности медно-порфировых систем этих поясов. Рассмотрены факторы возникновения гигантских месторождений.

Ключевые слова: вулкано-плутонические пояса, геодинамические обстановки, медно-порфировые месторождения, металлогения, рудно-магматические системы, магматические серии, формации.

Медно-порфировые месторождения (МПМ) сосредоточены в вулкано-плутонических поясах (ВПП). Крупные и гигантские объекты этого типа, как правило, локализованы во внутренних (осевых) зонах комплексных медно-порфировых рудно-магматических систем (КМП РМС), во фланговых и периферийных частях которых присутствуют месторождения других рудно-формационных типов (РФТ). Изучение таких систем необходимо для совершенствования прогнозно-поисковых моделей рудных районов (узлов) и полей, без чего невозможно повышение эффективности поисков новых объектов. Определенный интерес в этом отношении представляют кайнозойские пояса Новогвинейской металлогенической провинции с самыми молодыми и крупнейшими в мире Au-(Mo)-Cu-порфировыми (Голпу и Фрида Ривер в Папуа–Новая Гвинея), Au-Cu-порфировыми (Ок Теди – там же, Грасберг в Индонезии) и сопряженными с ними (генетически связанными с едиными магматическими очагами) скарновыми и эпитермальными месторождениями, поскольку они обладают «полным» набором элементов строения в отличие от мезозойских и особенно палеозойских и докембрийских объектов, где они затушеваны или отсутствуют из-за более поздних преобразований и эрозии.

Названная провинция, охватывающая северную и центральную (осевую) части о. Новая Гвинея, представляет собой орогенно-складчатую область, в которой J. Dewey, J. Bird, D. Dow, R. Findlay, H. Davies, A. Williamson, K. Hill, S. Gibbins, J. Woodhead, J. Rinne и др. выделяют до 32 террейнов континентального и океанического происхождения. Они могут быть объединены в три крупные структурно-формационные (металлогенические) зоны (с севера на юг): аккретированной к северной окраине Австралийской платформы Новогвинейской островной дуги (ОД), Мобильного метаморфического и Папуасского складчато-надвигового поясов. Известные на сегодняшний день КМП РМС, эквивалентные рудным районам, расположены во второй (Уафи–Голпу, Фрида Ривер–Нена) и третьей (Грасберг–Эрцберг, Ок Теди) зонах, где распространены магматические комплексы известково-щелочной и шошонитовой серий, участвующие в строении двух ВПП – миоценового (20–9 млн лет) окраинно-континентального (дуга Маримуни) и позднемиоцен-плейстоценового (7 млн лет–н/в) внутриконтинентального рифтогенного.

Геотектоническая эволюция рассматриваемого региона в кратком виде: рифтогенез северной оконечности Австралийского кратона в *юре*; пологая субдукция под нее Каролинской океанической плиты в *позднем мелу–миоцене;* образование Новогвинейской ОД (базальтоидного ВПП) в *эоцене*; ее столкновение с северным выступом кратона в *олигоцене,* которое при направленном на юг сжатии, продолжившемся до *среднего миоцена,* привело к аккреции и надвигу островодужных структурно-вещественных комплексов (СВК) на платформенные, складчатости и метаморфизму терригенных и карбонатных отложений (образование Мобильного пояса) и возникновению тылового прогиба с накоплением кайнозойских шельфовых карбо-

натных формаций – Новогвинейской на западе и Дарай на востоке острова; формирование в тот же период магматической дуги Маримуни – андезитоидного пояса в результате тектономагматической активизации окраины платформы при субдукции под нее Каролинской плиты; транспрессия СВК аккретированной ОД и Мобильного пояса по системам активизированных внутридуговых и трансформных разломов на комплексы кратона с формированием Папуасского пояса складчато-надвиговых деформаций и задугового бассейна, отделяющего о. Папуа Новая Гвинея от Австралийского континента, в результате дрейфа Тихоокеанской плиты на запад, начавшегося в *позднем миоцене* и продолжающегося до настоящего времени; быстрое поднятие складчато-надвигового пояса в *позднем плиоцене–плейстоцене* со сменой режима сжатия растяжением, рифтогенезом и проявлением шошонитового магматизма – формирование пояса многофазных плутонов, «наложенного» на комплексы предшествующего андезитоидного ВПП.

T. McMahon, D. Muller, D. Groves, J. Hronsky, R. Loucks, G. Begg, С. Г. Соловьевым формирование порфировых, скарновых и эпитермальных месторождений Новогвинейской провинции связывается с шошонитовым магматизмом позднеколлизионного периода эволюции описываемой орогенно-складчатой области, когда режим сжатия сменился растяжением, сопровождаемым локальным рифтогенезом. Главным источником рудоносных магм считается верхняя мантия, в виде диапиров достигавшая подошвы литосферы и даже проникавшая в ее нижний слой через разрывы сплошности, которые возникали при замедлении или полной остановке субдуцировавшей океанической плиты под континентальную и деламинации земной коры (ЗК). Присутствие в КМП РМС (рудных районах) Грасберг–Эрцберг и Ок Теди комплексов предшествующей известково-щелочной серии наряду с шошонитовой объясняется дифференциацией магмы в глубинных очагах и периферийных очагах-сателлитах. При этом главным условием генерации металлоносных флюидов считается появление шошонитовых магм.

Изучение этого вопроса с привлечением опубликованных в последнее десятилетие сведений (S. Large, A. Quadt, P. Pollard, R. Jongens, H. Stein, M. Rinne, D. Cooke, A. Harris, M. Van Dongen, R. Weinberg A. Tomkins и др.) по геолого-структурной позиции, петрологии, рудно-метасоматической и рудно-формационной зональности, вещественному составу руд вышеназванных КМП РМС, изотопному датированию циркона и молибденита (U-Pb и Re-Os методами, с учетом предшествующих работ А. И. Кривцова, И. Ф. Мигачева, В. С. Попова, R. Bamford, R. Hall, R. Britten, D. Henry), позволило предположить, что формирование комплексных систем Уафи–Голпу и Фрида Ривер–Нена связано со становлением многофазных плутонов миоценового андезитоидного ВПП (дуги Маримуни). Эти интрузивные массивы сложены габбро, диоритами и кварцевыми диоритами. Последние два члена ряда по химическому составу на диаграммах ($Na_2O + K_2O$) vs.SiO_2 «попадают» также в поля гранодиоритов, реже монцодиоритов, а на диаграммах K_2O vs. SiO_2, P_2O_5/Al_2O_3 vs. K_2O/Al_2O_3 и Th vs. Co – в поле известково-щелочной серии, в основном высококалиевой. Интрузивов шошонитовой серии на этих объектах нет, а руды порфировых месторождений отличаются значимыми содержаниями Mo (в сравнении с Грасбергом и Ок Теди). Все это позволяет предположить, что источниками рудоносных магм и флюидов были как глубинные очаги на границе астеносферы с ЗК, которые возникали при дегидратации субдуцировавшей под окраину кратона Каролинской океанической плиты с частичным расплавлением ее СВК, металлоносных морских осадков и вышележащего мантийного слэба, подвергавшегося метасоматическому преобразованию, так и промежуточные очаги в верхнем гранитном слое литосферы на гипабиссальных или субвулканических глубинах, появлявшиеся при анатексисе его комплексов под воздействием восходящего теплового потока.

По данным A. Issel, I. Edgar, E. Seymour, C. Leys, A. Schwarz, M. Cloos, S. Widodo, R. Kyle, J. Sirait, S. Gibbins, J. Rubin, J. Kyle и др. многофазные интрузивные массивы КМП РМС Грасберг-Эрцберг и Ок Теди плиоцен-плейстоценового рифтогенного пояса сложены в основном породами монцонитоидного ряда от монцодиоритов до кварцевых монцонит-порфиров (сиенит-порфиров), принадлежащими шошонитовой серии, что отчетливо отразилось на петрохимических диаграммах. Однако ранние фазы этих плутонов – диориты и монцониты комплексов Гаджа Тидур и Далам в первой из названных систем и габбро, диориты и монцодиориты комплекса Маунт Иан во второй – по составу могут быть отнесены к калиевой известково-щелочной серии, то есть рассматриваемые РМС являются полиформационными.

Приведенные в работах F. McDowell, T. McMahon, H. Warren, K. Prendergast, G. Clarke, N. Pearson, K. Harris, C. Leys, A. Schwarz и др. данные по взаимоотношениям магматических пород, околорудных метасоматитов и оруденения, определению их изотопных возрастов U-Pb методом по циркону, 40Ar/39Ar и 40K/40Ar – по биотиту, мусковиту и флогопиту, Re-Os – по молибдениту, послужили основанием выделения в рудном районе Грасберг-Эрцберг пяти интрузивных комплексов: Гаджа Тидур, Далам, Грасберг, Кали и Эрцберг. С первыми двумя из них сопряжены убогие штокверковые и жильные (Mo)-Cu руды, а на ЮЗ фланге Cu-скарновые залежи (Кусинг Лайэр и Лембах Тембаг) системы Гаджа Тидур, с третьим – наложенные на них высокосортные Au-Cu штокверковые руды системы Мэйн Грасберг, образовавшейся приблизительно на 170–250 тыс. лет позднее (составляют основные запасы месторождения Грасберг), с пятым – Au-Cu-скарновые залежи рудных полей Эрцберг (Гунунг Биджих) и Восточный Эрцберг (EESS, DOM, Биг Госсан) на юго-востоке КМП РМС, сформированные еще на 450–550 тыс. лет позднее.

Возрастная разница между названными интрузивными комплексами составляет сотни тысяч лет, что может быть объяснено дифференциацией магмы изначально шошонитового состава в глубинном и промежуточных очагах. В КПМ РМС Ок Теди ситуация иная. Здесь по данным SHRIMP U-Pb датирования циркона и Re-Os-го молибденита (M. Van Dongen, R. Weinberg, P. Pollard, R. Jongens, H. Stein, M. Fanning и др.) временной разрыв между многофазными плутонами комплексов Маунт Иан (возраст – 12–13 млн лет) и Ок Теди (2,6–1,1 млн лет) оценивается не менее, чем в 10 млн лет, а продолжительность периода отложения Au-Cu-порфировых руд и сопряженных скарновых залежей (Голд-Коста, Берлин, Таранаки) месторождения Ок Теди, связанного со становлением второго из них, не более чем в 100 тыс. лет. Это свидетельствует о том, что дифференциаты интрузивного массива Маунт Иан с проявлением более ранней медно-порфировой минерализации Таунсиилл в брекчиевой трубке принадлежат калиевой известково-щелочной серии миоценового андезитоидного ВПП, а плутона Ок Теди с одноименным месторождением – шошонитовой плиоцен-плейстоценового рифтогенного пояса.

Различия в геотектонической позиции ВПП, петрологии их магматических комплексов, а также литологии вмещающих осадочных формаций, отразились в метасоматической и рудноформационной КМП РМС. В верхних и периферийных частях (аргиллизитовой зоне) систем миоценового андезитоидного пояса с Au-(Mo)-Cu-порфировыми месторождениями Голпу и Фрида-Ривер присутствуют эпитермальные Au и Au-Ag месторождения HS и IS типов – Уафи и Нена, а скарновых на флангах РМС из-за отсутствия карбонатных отложений, естественно, нет. Наоборот, в КМП РМС с Au-Cu-порфировыми месторождениями Грасберг и Ок Теди плиоцен-плейстоценового ВПП из-за «бронирующего» воздействия толщи малопроницаемых мраморизованных известняков формаций Дарай и Новогвинейской платформенного чехла аргиллизитовых «шляп» и эпитермальных благороднометалльных объектов нет, но на флангах систем широко распространены скарновые залежи с Au-Cu минерализацией.

Гигантские запасы (Cu – в миллионы–десятки млн т, Au – в сотни–тысячи т) высокосортных (ср. сод.: Cu – от 0,52 до 1,02 %; Au – от 0,31 до 1,58 г/т) порфировых, скарновых и эпитермальных руд КМП РМС Новогвинейской провинции обусловлены несколькими факторами: *геодинамическим режимом латерального сжатия с подавлением вулканизма* на ранней стадии эволюции обоих описанных ВПП, который способствовал возникновению крупнообъемых «материнских» магматических очагов и флюидных плюмов; *благоприятными структурно-петрофизическими обстановками их разгрузки* в период орогенеза; наличием толщ, игравших роль *геохимических барьеров* для металлоносных флюидов; многостадийным рудоотложением.

Для комплексных систем Грасберг-Эрцберг и Ок Теди рифтогенного плиоцен-плейстоценового пояса наличие над рудоносными интрузивами толщи мраморизованных известняков с аномально низкими пористостью и проницаемостью, при высоких температурах и давлении склонных к пластическим деформациям, препятствовало возникновению трещинных структур и подъему в верхние части систем легкой газовой фазы с Au и Ag, которая в обычных обстановках отделялась от высококонцентрированных рассолов, отлагавших в эндо-экзоконтактовых зонах порфировых штоков штокверковые руды. Влияние структурно-петрофизи-

ческого «экрана» способствовало рудоконцентрации. Этим можно объяснить исключительно высокие содержания металлов в рудах месторождений Грасберг и Ок Теди: Cu – до 3–5 и выше % (в среднем 1,02 и 0,64 %), Au – до 2–5 г/т (в среднем 0,63 и 0,78 г/т). Развитые по известнякам богатые Fe магнетитсодержащие скарны являлись геохимическими барьерами для рудоносных растворов. Для них также характерны аномально высокие содержания Cu и Au.

В составе многофазных интрузивных массивов, с которыми ассоциируют эти РМС, установлены дифференциаты шошонитовой серии рифтогенного пояса, а также известково-щелочной более древнего андезитоидного. Интегральное рудонакопление, связанное с их становлением, выразилось в многочисленных рудных минеральных ассоциациях (на Грасберге их выделено более 30) и колоссальных запасах высокосортных руд.

Для КМП РМС Уафи-Голпу андезитоидного окраинно-континентального ВПП причины возникновения огромных запасов Au-Cu руд с высокими содержаниями иные. Важной среди них, помимо наличия мощного рудоносного магматического очага, явилось мультистадийное рудонакопление, обусловленное многократным телескопированием расплава и металлоносных флюидов по сравнительно узкому трубообразному каналу с совмещением в геологическом пространстве многочисленных минеральных ассоциаций Au-(Mo)-Cu-порфирового (Голпу) и наложенного на него эпитермального Au-Ag месторождения (Уафи). Не исключено, что при образовании этого объекта рудное вещество отчасти было заимствовано из СВК аккретированного к окраине Австралийской платформы островодужного базальтоидного Новогвинейского ВПП, что отразилось в повышенной золотоносности руд.

Рассмотренные геодинамические, структурно-петрофизические и геохимические факторы формирования гигантских медно-порфировых и сопряженных скарновых и эпитермальных благороднометалльных месторождений Новогвинейской металлогенической провинции могут быть использованы для совершенствования геолого-генетических моделей рудообразующих медно-порфировых РМС и построенных на их основе прогнозно-поисковых моделей рудных районов (узлов) и полей.

Зинчук Н. Н. (nnzinchuk@rambler.ru), Бардухинов Л. Д. (koner@mail.ru)
Западно-Якутский научный центр АН РС (Я), Мирный, Россия

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КИМБЕРЛИТОВЫХ АЛМАЗОВ В ДРЕВНИХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩАХ

Приведены типоморфные особенности алмазов перспективных территорий Сибирской платформы (СП) и предложена возможность их использования при прогнозировании коренных и россыпных месторождений на стадиях региональных и среднемасштабных исследований, а также при локальном прогнозе.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, локальный прогноз.

Алмаз – минерал с широким комплексом физико-химических и кристалло-морфологических особенностей, отражающих своеобразие термодинамических и геохимических условий его образования [1–4], различающихся в отдельных кимберлитовых телах. В россыпях и кимберлитовых телах Сибирской платформы (СП), с применением минералогической классификации, предложенной Ю. Л. Орловым [5], по которой выделяются 11 генетических разновидностей алмазов, накоплен громадный фактический материал по типоморфным особенностям минерала из кимберлитовых диатрем и разновозрастных вторичных коллекторов. Изучение типоморфных особенностей алмазов из россыпей и проявлений СП позволило определить [6–8], что формирование этих продуктивных толщ происходило за счет размыва четырех типов первоисточников: а) I тип характерен для богатых кимберлитовых тел, в которых преобладали ламинарные алмазы октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов, а также индивиды с оболочкой IV, серые кубы III и поликристаллические агрегаты

VIII–IX разновидностей; б) II тип – алмазы кимберлитового генезиса, характерные для тел с низкой алмазоносностью и жил с превалированием додекаэдроидов с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» облика, типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа и бесцветных кубоидов I разновидности; в) III тип – алмазы невыясненного генезиса, характерные для россыпей северо-востока СП, где их коренные источники до настоящего времени не установлены и представлены графитизированными ромбододекаэдрами V, сложными двойниками и сростками додекаэдроидов VII с легким ($\delta^{13}C$ = -23,60 ‰) изотопным составом углерода и равномерно окрашенными кубоидами II разновидности с изотопным составом углерода промежуточного состава, образующими ассоциацию эбеляхского (нижнеленского) типа; г) IV тип взрывных кольцевых структур импактного генезиса, алмазы которого сложены поликристаллами типа карбонадо с примесью гексагональной модификации углерода-лонсдейлита (якутит). Алмазы I типа первоисточника преобладают в кимберлитовых диатремах и россыпях Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции (ЦСАСП) пермского и юрского возрастов. В пределах Анабаро-Оленекской алмазоносной области алмазы I типа первоисточника превалируют в нижне- и верхнекарбоновых, нижнепермских и пространственно связанных с ними современных отложениях Кютюнгдинского и Молодо-Далдынского полей россыпной алмазоносности, а также в россыпи р. Улаах-Муна. Преобладают алмазы I типа первоисточника в нижнекарбоновых отложениях тычанского коллектора Красноярского края на западе Тунгусской синеклизы (Байкитская область), свидетельствующие [9, 10] о присутствии в данном регионе среднепалеозойских продуктивных кимберлитовых тел. Проведено *региональное минералогическое районирование* территорий, при котором на СП выделено четыре алмазоносные субпровинции: Центрально-Сибирская (ЦСАСП), Лено-Анабарская (ЛААСП), Тунгусская (ТАСП) и Алданская (ААП). ЦСАСП охватывает центральную часть СП. Алмазы I типа первоисточника преобладают в россыпях ЦСАСП. В пределах *Мирнинского кимберлитового поля* (МКП) выявлено семь кимберлитовых трубок и одна не связанная с трубками дайка А-21. Известные в МКП кимберлитовые трубки и дайки приурочены к трем разломам. В зоне Западного разлома локализованы трубки Таежная, Амакинская, имени XXIII съезда КПСС, дайка А-21, а также серии даек, сочленяющимися с этими трубками. В МКП выделяются три группы кимберлитовых тел, различающихся по типоморфным особенностям алмазов, связанные с тремя разделенными во времени фазами кимберлитового магматизма (I – жила А-21, II – трубки Таежная и Амакинская и III – трубки Мир, Интернациональная, имени XXIII съезда КПСС, Дачная и Спутник). *Моркокинский алмазоносный район* (МАР) охватывает левобережье среднего течения р. Вилюй и бассейна р. Моркока в пределах Сюгджерской седловины. Россыпей и кимберлитовых тел промышленного значения здесь пока не установлено, за исключением слабо алмазоносной тр. Моркока. Для этой территории охарактеризованы [3–5] алмазы пяти пространственно разобщенных ореолов: Дьюкунахский, Хатырыкский, Ыгыаттинский, Чагдалинский и Нижнеморкокинский, каждый из которых обладает [1–3] комплексом типоморфных особенностей алмазов, характерных для богатых кимберлитовых тел фанерозойского возраста СП. В *Далдыно-Алакитском алмазоносном районе* (ДААР) обнаружены как многочисленные кимберлитовые диатремы, так и россыпные проявления алмазов ближнего сноса. *Алакит-Мархинское кимберлитовое поле* (АМКП) находится в юго-западной части ДААР, где открыто более 70 кимберлитовых тел. Многие кимберлитовые диатремы сопровождаются дайками, сочленяющимися с трубками. Из большинства открытых в АМКП диатрем повышенным содержанием алмазов характеризуются трубки Айхал, Сытыканская, Юбилейная, Комсомольская и Краснопресненская. Здесь обычно повышенное количество окрашенных кристаллов II, III и IV разновидностей [5] с нормальным тангенциальным и волокнистым механизмом роста, преобладанием ламинарных ромбододекаэдров, а также окрашенных комбинационных многогранников IV разновидности, высокое содержание двойников и сростков. Нередко (трубки Айхал, Сытыканская, Юбилейная и др.) отмечается существенное различие в соотношениях кристалломорфологических форм алмаза от фаз внедрения кимберлитов. *Далдынское кимберлитовое поле* (ДКП) расположено в северо-восточной части ДААР и включает около 60 трубчатых тел и 7 даек. Локализуются кимберлитовые трубки в ДКП кучно в пределах Далдыно-Оленекской кимберлитоконтролирующей зоны. Лидерами в ДКП является эксплуатируемая

на протяжении нескольких десятилетий трубка Удачная и Зарница, существенно отличающиеся по типоморфным свойствам алмазов. Для кимберлитов трубки Удачная характерно повышенное содержание кубов II и III разновидности, близких по своим особенностям к алмазам из глубинных включений эклогитов. В диатреме Зарница преобладают кристаллы ромбододекаэдрического габитуса I разновидности при максимальном для ДААР содержании типичных округлых алмазов. ДААР характеризуется незначительными масштабами россыпной алмазоносности и только трубки Удачная и Айхал образуют промышленные россыпи ближнего сноса (ручьи Пироповый и Мелкоильмени-товый). В *Среднемархинском алмазоносном районе* (СМАР) успешно эксплуатируются трубки Ботуобинская и Нюрбинская, являющиеся вместе с телом Майским, продуктивными образованиями *Накынского кимберлитового поля* (НКП). Типоморфными особенностями алмазов кимберлитов СМАР являются [7]: преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов I разновидности при сравнительно высоком содержании бесформенных осколков и практическом отсутствии типичных округлых алмазов. Для кристаллов из диатрем района характерно существенное значение окрашенных алмазов с оболочкой IV разновидности. В СМАР установлены россыпи алмазов в юрских, современных и палеоген-неогеновых отложениях. *Верхнемунское кимберлитовое поле* (ВМКП) выделено в пределах Муно-Тюнгского алмазоносного района, где открыто 16 трубок и 4 дайки, сгруппированных в две цепочки северо-западного простирания [9]. Выделяется несколько морфологических групп кимберлитовых тел: а) изометрические почти округлые (Зимняя, Легкая, 325 лет Якутии, Верхняя, Малая); б) удлиненные (Комсомольская-Магнитная, Поисковая); в) тела сложной конфигурации (Новинка, Заполярная). Среди алмазов ВМКП преобладают бесцветные и окрашенные в дымчато-коричневые цвета различной интенсивности кристаллы I разновидности различной морфологии при заметном (до 6 %) содержании поликристаллических сростков VIII и низком количестве алмазов с окрашенной оболочкой IV и серых кубов III разновидностей. В ВМАР находится россыпь р. Улаах-Муна.

Лено-Анабарская алмазоносная субпровинция (ЛААСП) охватывает северо-восточную часть СП и совпадает с полем развития докембрийских и нижнепалеозойских пород Анабарской антеклизы (АА) и Оленекского поднятия, обрамленных выходами пермских, триасовых, юрских и меловых отложений. Здесь находятся современные россыпи алмазов Анабарского района, характеризующиеся преобладанием индивидов III типа первоисточника невыясненного генезиса (ассоциация эбеляхского типа) с превалированием кристаллов кубического и тетрагексаэдрического габитусов, полуокруглых октаэдроидов, а также округлых алмазов во всех возрастных и генетических типах отложений [10]. Масштабы проявления россыпной алмазоносности значительны по сравнению с другими районами провинции. ЛААСП разделена на две алмазоносные области – Кютюнгдинскую и Анабаро-Оленекскую, заметно различающиеся как по истории геологического развития, так и по типоморфным особенностям алмазов. Своеобразие последних из нижнекаменноугольных отложений *Кютюнгдинской области* заключается в преобладании (до 90 %) кристаллов кимберлитового генезиса (тип I) и присутствии (около 10 %) округлых алмазов, при полном отсутствии характерных для россыпей северо-востока СП кристаллов III типа. Выделена ассоциация алмазов кютюнгдинского типа, доминирующими для которой являются кристаллы октаэдрического и переходного от него к ромбододекаэдрическому габитусов (более 50 %) при заметном содержании полуокруглых ромбододекаэдров с блоковой скульптурой, а также алмазов с оболочкой. *Анабаро-Оленекская область* состоит из трех алмазоносных районов: Анабарский, Средне- и Нижнеоленекский. Здесь установлены тысячи пунктов с находками алмазов, группирующихся в ряд россыпных полей: Нижнеэбеляхское, Майат-Уджинское, Верхнеуджинское, Анабаро-Попигайское, Куонапское (Анабарское), Беенчимэ-Куойское и др. Общим для них является низкое (10–15 %) суммарное содержание кристаллов октаэдрического и переходного от него к ромбододекаэдрическому габитусов при переменных значениях округлых алмазов, серых ромбододекаэдров и близких к ним сложных двойников додекаэдроидов, а также желто-оранжевых кубоидов и поликристаллов типа карбонадо (якутит). Алмазы из россыпей Анабаро-Оленекской области однообразны и близки к кристаллам из окаймляющих с востока и севера АА вторичных коллекторов среднетриасового

и ранневолжского возраста. Для них характерно низкое (10–15 %) содержание алмазов I типа первоисточника, повышенный механический износ, увеличивающийся от краевых частей АА в сторону Анабарского кристаллического массива.

В пределах *Тунгусской алмазоносной субпровинции* (ТАСП) по типоморфным особенностям алмазов выделяют две заметно различающиеся области: Байкитскую (северная часть Енисейского края и Байкитская антеклиза) и Саяно-Тунгусскую. В пределах *Байкитской области* установлено преобладание октаэдров (Большепитский, Северо-Енисейский и Нижневельминский алмазоносные районы). Для каменноугольных отложений *Тычанской площади* характерным является преобладание индивидов из кимберлитового первоисточника мирнинского типа (более 50 %), представленных кристаллами октаэдрического и переходного от него к ромбододекаэдрическому габитусов. Присутствуют также ромбододекаэдры далдано-алакитского типа с занозистой штриховской, додекаэдроиды уральского типа (близкие к ингашинским) и встречены своеобразные равномерно окрашенные октаэдроиды, аналогичные этой группе алмазов Дьюкунахского участка ЦСАСП. По комплексу типоморфных признаков и спектру кристаллов отдельных морфологических групп (разновидности, габитус и морфологические типы) алмазы каменноугольного коллектора Тычанской площади и Байкитской области в целом не имеют аналогов среди известных кимберлитовых тел и россыпей СП, что позволяет предполагать наличие собственных продуктивных коренных источников среднепалеозойского возраста. Алмазы *Саяно-Тунгусской области* характеризуются сравнительно небольшой крупностью (5–10 мг, в среднем 9,4 мг). По количеству резко преобладают кристаллы класса -2+1 мм при сравнительно небольших, примерно равных количествах классов -4+2 и -1+0,5 мм (по 5–10 %) и единичных находках более крупных индивидов класса -8+4 мм. Превалируют округлые алмазы уральского типа (более 50 %) при заметном содержании поликристаллических образований типа баллас (до 10 %). На долю кристаллов октаэдрического и переходного от него к ромбододекаэдрическому габитусов приходится около 25 %. Анализ типоморфных особенностей алмазов Байкитской и Саяно-Тунгусской областей ТАСП подтверждает различную роль коренных источников отдельных эпох кимберлитового магматизма в формировании алмазоносных отложений. В этом плане более благоприятной для поисков богатых коренных источников алмазов среднего палеозоя является территория Байкитской области. Наибольшее влияние на формирование россыпей алмазов Саяно-Тунгусской области имеют кимберлиты докембрия в Присаянье и других подобных структурах южного обрамления СП, откуда эти кристаллы сносились в Иркутский амфитеатр. В пределах *Анабарской алмазоносной субпровинции* (ААСП) известны единичные находки алмазов.

Исходя из этого, на этапе ранних стадий региональных поисковых тематических и научно-исследовательских работ сначала необходимо исследовать типоморфные особенности всех обнаруженных алмазов на изученной территории, выделить их крупную ассоциацию и проанализировать совместно с материалами структурно-формационного строения изученной территории. При *среднемасштабном районировании* также используются структурно-тектнические и минералогические критерии (выделение ассоциаций алмазов). В основу этого районирования положены минералогические признаки, свидетельствующие о своеобразии термодинамических и геохимических условий образования алмазов. Результаты комплексного исследования типоморфных особенностей алмазов из россыпей позволяют выделять алмазоносные субпровинции, области, районы и поля, для которых можно прогнозировать тип первоисточников, уровень их потенциальной алмазоносности и качество алмазного сырья. По результатам сравнительного исследования типоморфных особенностей алмазов четко оконтурен локальный *район Кютюнгдинского грабена* и прилегающих к нему с юго-запада территорий Молодо-Далдыно-Толуопского междуречья общей площадью 350 км^2, перспективный на открытие богатых кимберлитовых тел с алмазами кютюнгдинского типа, имеющими в качестве индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) классические пиропы алмазной ассоциации с высоким содержанием кнорринговитового компонента. В *МБАР* на этапе среднемасштабного районирования все россыпные проявления и россыпи алмазов сгруппированы в три россыпных поля: Ирелях-Маччобинское (с разделением на Центральный и Юго-Западный ореол), Чуоналыр-Курунг-Юряхское (с разделением на Северо-Западный и Лапчанский ореол) и Бах-

чинское. Комплекс особенностей алмазов по морфологии, окраске, твердым включениям, внутреннему строению, фотолюминесцентным особенностям, а также примесному составу свидетельствует о множественности первоисточников алмазов из россыпей и наличии в пределах района новых, еще не открытых кимберлитовых тел. Результаты сравнительного изучения алмазов междуречья рек Моркока и Вилюй свидетельствуют о высокой перспективности этой территории на поиски высокоалмазоносных кимберлитовых тел фанерозойского возраста. Анализ типоморфных особенностей алмазов *Среднемархинского района* свидетельствует о полигенности их россыпных ореолов, коренным источником которых являются высокоалмазоносные (по морфологическому критерию алмазоносности) кимберлитовые тела среднепалеозойского возраста. Можно предположить, что в СМАР, по аналогии с МБАР, существует не менее двух групп или кустов трубок, резко различающихся по типоморфным особенностям алмазов

В основу *локального районирования* нами положен анализ соотношения отдельных морфологических групп алмазов в разных фациях пород, что позволяет по их типоморфным особенностям выделять отдельные участки россыпей и рудные столбы кимберлитовых тел или сами тела с резко специфическими характеристиками. На этой основе уверенно прогнозируются новые коренные источники в различных частях исследованной территории. По индивидуальным типоморфным особенностям алмазов также выделяются отдельные трубки или их рудные столбы. Анализ многолетнего опыта комплексного изучения алмазов подтверждает необходимость детальных минералогических исследований алмазов комплексом современных методов с геологической привязкой находок в трех направлениях. Во-первых, это фундаментальные комплексные исследования минералогии, кристаллографии и физических свойств алмазов, а также твердых включений в них для выяснения условий генезиса. Во-вторых, это использование информации, полученной разными методами при комплексном исследовании алмазов для решения прикладных вопросов, непосредственно связанных с практикой геологоразведочных работ. К ним относятся установленные связи вещественного-индикационных параметров кимберлитового магматизма различной алмазоносности и геолого-структурного положения кимберлитовых тел. Отдельным направлением комплекса минералогических исследований алмазов, развивающихся на стыке минералогии и технологии минерального сырья, являются разработка рекомендаций, направленных на создание наиболее рациональных схем переработки руды и обеспечивающих кристаллосберегающие технологии, а также уточнение областей применения алмазов с учетом их реальной структуры и физических особенностей и выявление объектов с повышенным качеством алмазного сырья. Использование типоморфных особенностей алмазов имеет важное значение для геологоразведочных работ, в частности, для прогнозирования типов первоисточников, уровня их потенциальной алмазоносности и качества минерального сырья, а также для восстановления экзогенной истории алмазов на пути от коренных источников до мест современного нахождения, для палеогеографических реконструкций распространения древних алмазоносных отложений и направлений сноса материала. Выполнение комплекса минералогических исследований алмаза и минерагеническое районирование территорий по алмазам необходимо как для рационального определения направления геологоразведочных работ, так и для повышения их качества и эффективности. Это будет способствовать открытию новых месторождений алмазов и приросту запасов алмазного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Минерагения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 90–96.
2. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Харькив А. Д., Соколов В. Н. Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерагения зоны гипергенеза. – М. : ИГЕМ АН СССР, 1980. – С. 45–54.
3. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Логвинова А. М., Зинчук Н. Н. [и др.] Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 12. – С. 1729–1741.

4. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н. Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
5. Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений : специальность 04.00.20 «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений, металлогения» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-минерал. наук / Василий Иванович Коптиль. – Новосибирск : ИГМ СО РАН, 1994. – 25 с.
6. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
7. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
8. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
9. Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. – М. : Недра, 2001. – 198 с.
10. Rosen O. M., Serenko V. P., Spetsius Z. V., Manakov A. V., Zinchuk N. N. Yakutian kimberlite position in the Sibirian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. – 2002. – V. 43, № 1. – P. 3–26.

Зинчук Н. Н. (nnzinchuk@rambler.ru), Зинчук М. Н.
Западно-Якутский научный центр АН РС(Я), г. Мирный

О НЕКОТОРЫХ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ КИМБЕРЛИТОВ

Приведены некоторые особенности вещественного состава кимберлитов. Особое внимание уделено вопросам становления и дальнейшего формирования кимберлитовых тел, слагающих их пород и минералов, а также преобразованию их в постмагматических и гипергенных условиях.

Ключевые слова: кимберлиты, постмагматическое и гипергенное преобразование пород.

Вопросам внедрения кимберлитовой магмы, становления и последующего изменения кимберлитовых пород посвящены многочисленные опубликованные работы. При этом незаслуженно малая роль отводится исследованию цементирующей массы [1–4]. В кимберлитовых породах, в которых сохранилось реликтовое строение, цементирующая масса представлена [5, 6, 8]: а) субмикроскопическим серпентином, б) пелитоморфным карбонатом, в) стекловатым веществом. Многие исследователи считают, что серпентин цемента представляет собой апостекло, хотя в свежем виде они никем и никогда не описывались. Одни исследователи считают, что основой их являются кристаллиты (то есть участки с упорядоченной структурой), другие, что стекло состоит из беспрерывной беспорядочной сети, в связи с чем внутренняя энергия стекла больше, чем в кристаллическом веществе [8–10]. Последняя теория удовлетворительно объясняет многие свойства стекол. В целом в стеклах: а) существует ближняя и отсутствует дальняя упорядоченность, б) превалирует один из мотивов ближнего порядка, обладающий определенным составом. Относительно их связей можно отметить, что в условиях образования самих стекол соединения между кристаллами осуществляются между атомами одинаково. Дело только в разных размерах кристаллов (микролитов) и кристаллитов. Более мелкие частицы имеют малый размер элементарных ячеек и отдельных полиэдров SiO_4^{4-} и AlO_4^{5-}. В кимберлитах присутствуют все три типа частиц. Преобразование стекла в кристалл сопровождается

уменьшением объема. Как следует из анализа природных стекол, приуроченных к основным и ультраосновным породам, в них содержится мало магнезии. Причиной тому являются химические свойства самого магния и влияние его на ход кристаллизации магмы. Оксид магния является своего рода затравкой, возникающей по мере охлаждения расплава; ее появление обусловливается сближением в первую очередь кислорода с магнием, что вызвано свойствами атомов последнего. Выделение MgO делает расплав более богатым остальными породообразующими компонентами – щелочами, известью и кремнеземом, из которых в зависимости от *PT*-условий могут кристаллизоваться монтичеллит, пироксен или образоваться стекло, химический состав которого не будет отвечать исходной ультраосновной магме. Стеклообразованию в процессе консолидации магмы в подобных условиях может содействовать железо. Благодаря изменчивости его валентности (а значит и размера ионов) вносится определенная дестабилизация в процесс упорядоченности ионов и образования кристаллического вещества. Поэтому при избытке в остаточном расплаве железа стекло может возникнуть и при сравнительно небольшом содержании кремнезема. При этом образуется другой вид стекла, который обладает более низкой твердостью, заметной растворимостью в кислотах и более низкой температурой плавления, чем стекло, богатое кремнеземом [7, 9, 10].

Поскольку многие исследователи считают, что исходной была однородная карбонатно-силикатная магма, то и образование стекла тоже должно было происходить не без участия карбонатов, тем более что существует мнение о первичности карбонатной массы. С проблемой кимберлитов тесно связан вопрос о карбонатитах, которыми выполнены трубки взрыва, из-за чего эти образования некоторыми исследователями тоже отождествляются с кимберлитами. Общеизвестно, что карбонатная магма существует. Споры возникают обычно вокруг состава подобного расплава. Современные излияния представлены расплавом карбонатов щелочных элементов, которые впоследствии замещаются кальцием с образованием кальцита. Карбонат кальция и натрия (шортит) присутствует в кимберлитовых телах. Кальцит также был получен и непосредственно из искусственных расплавов, где в качестве исходного материала взяты карбонаты щелочей, хлорит кальция и силикаты. При консолидации этого находящегося под давлением карбонат-силикатного расплава возникла колонка, верхняя часть которой сложена кальцитом, а нижняя – силикатным стеклом. Ликвация карбонатного расплава предполагается также для кимберлитовой магмы. Однако карбонатное стекло не образуется ни под давлением, ни тем более в открытом пространстве. Несмотря на то, что при выплавке обычного стекла в состав шихты входят карбонат щелочей и кальцит, конечный продукт не содержит карбонатного иона. Поскольку из находящегося под давлением карбонатно-силикатного расплава образуется кальцит (то есть кристаллическая фаза), то карбонатного стекла не должно быть ни в условиях «закалки», когда под давлением содержащая CO_2 карбонатная магма быстро остывает у контакта с холодными вмещающими породами, ни тем более в условиях выполнения центральной части трубки, где резкий спад температуры (необходимое условие для образования стекла) обусловлен резким спадом давления (вслед за «прострелом» давление в трубке настолько падает, что проваливаются вышележащие породы). В данных условиях карбонат кальция неустойчив и еще до понижения температуры до 700 °С диссоциирует с выделением CO_2. Что касается стекла, зафиксированного в минералах в виде включений, то анализы с целью обнаружения в нем CO_3^{2-} не проводились. Из сказанного следует, что образование карбонат-силикатного стекла (то есть гомогенного вещества) в процессе застывания кимберлитового расплава не имело места. Это тем более правильно, что и сам силикатный расплав претерпевает некоторое разделение, в связи с чем получается неоднородное стекло. Находящиеся в расплаве при более высоких давлениях ионы CO_3^{2-} в случае сравнительно медленного снятия напряжения кристаллизуются с образованием карбоната [5, 6, 8]. В случае сохранения щелочной среды CO_2 может вновь соединяться с Са с образованием карбоната, но это уже является вторичным процессом. А карбонатсодержащее стекло и в данном случае возникнуть не может. Будучи остаточным после кристаллизации силикатов, щелочной карбонатный состав в присутствии летучих компонентов тем не менее отделяется и, находясь под давлением в момент «прострела», способен выполнить всякого рода трещины (до мелких включительно) и в них выкристаллизоваться, захватив при этом частично и силикатный расплав. Какая-то часть карбонатного расплава за-

хватывалась силикатными расплавами. Однако в обоих случаях происходит полная кристаллизация (или распад) карбоната без образования им стекла. Следует при этом отметить, что если существование карбонатно-силикатного расплава возможно, то в процессе остывания «сухой» или «мокрой» магмы идет кристаллизация карбоната, а силикат может превратиться в стекломассу, причем кристаллическая фаза силиката (в частности, слюды) присоединяется к раскристаллизованному карбонату, а не к аморфному силикату (что мы и наблюдаем в кимберлитах). Кальцит, являющийся главной составной частью кимберлитов, мог возникнуть из карбонатного расплава-раствора, в котором карбонатный ион $(CO_3)^{2-}$ не распался благодаря повышенной щелочности среды и (или) высокому давлению. Никакого карбонатного (ни тем более карбонат-силикатного) стекла не было, поскольку в любых условиях карбонатный расплав кристаллизуется или происходит его распад, а от силикатного расплава он отделяется. Поэтому карбонат основной массы не может являться продуктом кристаллизации стекла, тем более, что он отделился от силикатного еще до внедрения последнего в осадочные толщи. На невозможность существования карбонатного стекла указывают многие исследователи твердых включений в минералах кимберлитов. Невозможность образования карбонатного стекла в какой-то мере подтверждает мнение о ликвации первичного расплава с отделением карбонатного составного, которое, являясь более легким и менее вязким, всплыло и потом оттеснилось к периферии кимберлитовых провинций с образованием щелочно-ультраосновных кимберлитовых ассоциаций. На мелких объектах это подтверждено для меймечитов, а также доказано экспериментально по синтезу слюдистых карбонатных образований. Конечно, полного разделения не могло произойти. Определенная, незначительная часть силикатной магмы была захвачена карбонатным расплавом и, наоборот, карбонатный расплав силикатным, о чем свидетельствуют глобулы карбонатов в кимберлитах базальтического типа. В процессе кристаллизационной дифференциации любой магмы, содержащей определенное количество воды (независимо от того, каким образом она в нее попала), в конечной стадии консолидации появляются многоводные, преимущественно аморфные (и даже рентгеноаморфные) образования, которые описаны под различными названиями – палагонит, гизингерит, хлорофеит и др. Все подобного рода образования обычно именуют коллоидными минералами. Они возникли как в процессе эволюции расплава на глубине, так и при излиянии его на дневную поверхность, особенно в водные бассейны, на ледяную поверхность или внедрения в любые образования. Наиболее характерны подобные образования для основных пород. Палагонит – совокупность богатых водой аморфных или слабоокристаллизованных образований, которые возникли при охлаждении богатого водой расплава и в период формирования магматического тела ведут себя как флюидонасыщенная жидкость. Палагонит ассоциирует со стеклом, а в слабораскристаллизованных породах занимает место последнего. В стекле он находится в виде включений округлой формы с резкими границами. К палагониту иногда бывают приурочены рудные минералы и апатит. Глобули палагонита в стекле бывают однородные изотропные или слабо анизотропные, концентрически зональные. Палагонит нередко имеет вид сморщенного при усыхании гелеобразного вещества с системой трещин, которые разбивают его на полигональные участки. Палагонит и гизингерит являются аморфными минералами и представляют собой затвердевший силикатный гель, возникший вследствие сближения и взаимодействия между собой кристаллитов.

К постмагматическим преобразованиям кимберлитов относятся изменения, которые претерпели магматические породы в пневматолитово-гидротермальную стадию метаморфизма. Верхней температурной границей считается 600 °С, то есть температура, при которой от магматического расплава отщепляется флюид, а нижней можно условно считать температуру кипения воды, хотя некоторые минералы возникают и при более низких температурах. В этом интервале температур возникли все основные вторичные образования и в первую очередь главный минерал кимберлитов Сибирской и Африканской платформ – серпентин. Наряду с автометаморфическими процессами, которые протекают в обстановке близкой к изохимической, в кимберлитовых телах довольно широко распространен метасоматоз (автометасоматоз). К последним следует отнести хлоритизацию слюд и полевых шпатов ксенолитов, которая сопровождается выносом щелочей и кальция. При бруситизации оливина происходит удаление кремнезема. Отталькование серпентина предусматривает привнос SiO_2, а окварцевание серпен-

тина – вынос всех остальных компонентов. К метасоматическим также относится замещение серпентином карбонатов и, наоборот, замещение карбонатом силикатов. Главным реагентом в этих процессах является вода; важнейшую роль играет степень ее диссоциации на H^+ и OH^-, то есть pH раствора, который в значительной мере определяется количеством в нем сильных оснований (Na, K, Ca и др.). При этом в зависимости от конкретных условий имеет место «перекрытие» температур образования высокотемпературных минералов [6–8]. Поскольку остаточный расплав магнезией не обогащается, то образование серпентина происходит в основном за счет оливина. Кроме того, определенное ее количество заимствуется также в карбонатах (в частности, в ксенолитах доломита). Следовательно, прежде чем возникает серпентин, должен разрушиться оливин (как наименее устойчивый из силикатов и наиболее распространенный). Серпентин из псевдоморфоз цементирующей массы и выделения серпофита обязаны коллоидному первоначальному образованию с последующим преобразованием в гель и его кристаллизацией (возможно даже не полной). Об этом свидетельствуют трещины синерезиса, которые разбивают затвердевший гель на полигональные фигуры. В низкотемпературных серпофитах эти трещины сохранились, а у псевдоморфоз вместо них появились агрегаты из параллельно-чешуйчатых индивидов, образующих секториальногаснущую (секториальную) структуру. Последняя обычно возникает в процессе быстрого роста множества кристаллов с четырех сторон. Рост заканчивается в центре или на определенном расстоянии от него. Это стало возможным потому, что напряжение было снято не полностью, поскольку порода в целом находилась под давлением. Во многих случаях петельчатая структура также имеет элементы секториальной. Слепые прожилки в срезе дают в шлифе ленты, объединенные в каркас-петельчатые картины. Агрегаты из субмикроскопических индивидов псевдоморфоз чаще перекристаллизованы, чем выделения серпофита, количество которого в кимберлитовых телах кверху увеличивается. Причиной тому является уменьшение общего (статического) давления пород в верхних горизонтах кимберлитовых трубок [9, 10].

Таким образом, сформировавшийся в процессе кристаллизационной дифференциации остаточный расплав-раствор базитов и ультрабазитов не обогащен, как считают некоторые исследователи, магнезией, а сложен преимущественно железом и кремнеземом, и развитие по нему серпентина возможно как по любому другому силикату, независимо от состава последнего. Образование палагонита нельзя объяснить только гидратацией вулканического стекла (пусть даже сильно железистого), так как в подобных случаях обычно (даже в процессе выветривания) происходит гидролиз и возникает кристаллическая фаза, представленная смектитом (монтмориллонитом, железистым сапонитом или нонтронитом). Поэтому появление аморфной (в том числе и рентгеноаморфной) фазы может быть связано с процессом быстрого выпадения геля из раствора с последующим его высыханием. При этом наиболее подходящими компонентами служат состав и форма размещения палагонита, так же как и близкого к нему гизингерита. А последний встречен не только (и не столько) в базальтах, но и в габбро, и даже в метаморфических образованиях. Возникновение аморфных веществ, основу которых составляют кристаллиты слоистых силикатов (куда входят и субизотропный серпентин и серпофит) возможно при низком давлении. Увеличение давления содействует образованию кристаллических веществ, поскольку при этом уменьшается объем породы. Однако с увеличением давления уничтожается также реликтовая структура породы. Сохранившаяся в кимберлитах реликтовая структура в значительной мере связана со сравнительно низким давлением в процессе серпентинизации. Основные выводы по поводу отдельных вопросов становления и дальнейшего формирования кимберлитовых тел и слагающих их минералов и пород: а) в процессе происходящего вслед «за прострелом» осадочных толщ резкого падения давления и вызванного этим такого же спада температуры в верхней части может образоваться только бедное магнезией железистое стекло, которое в связи со значительным ограниченным количеством кремнезема является малоустойчивым и может разрушаться наравне с оливином (однако от изобилия воды в остаточном расплаве процесс до образования стекла не доходит); б) карбонатная составляющая общего расплава обособляется еще до затвердения силикатной части и в зависимости от конкретных условий или кристаллизуется (при падении температуры), или разлагается (при падении давления) с удалением CO_2; в) большое значение для мобильности карбонатного расплава имеют щелочи

и в первую очередь натрий, который впоследствии образует собственное соединение (шортит) или, обладая (в отличие от калия) положительной энергией гидратации, легко выносится поствулканическими растворами, уступая место кальцию; г) разрушение наименее устойчивого соединения – главного минерала кимберлитов оливина проходит под влиянием углекислоты одновременно по всему объему породы с последующей (вызванной гидролизом) аморфизацией и переходом в коллоидное состояние с дальнейшей кристаллизацией и перекристаллизацией серпентина; д) кристаллизация серпентина происходит быстро главным образом по краям бывших зерен с формированием псевдоморфоз, вдоль трещин синерезиса и по наименее плотным участкам геля, а также по трещинам оливина в частично разрушенном кимберлите.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Елисеев А. П., Надолинный В. А., Зинчук Н. Н. [и др.] Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов У и УП разновидностей (по классификации Ю. Л. Орлова) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2000. – № 5. – С. 79–97.
2. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Минерагения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 90–96.
3. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Харькив А. Д., Соколов В. Н. Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерагения зоны гипергенеза. – М. : ИГЕМ АН СССР, 1980. –С. 45–54.
4. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Логвинова А. М., Зинчук Н. Н. [и др.] Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41. – № 12. – С. 1729–1741.
5. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н. Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
6. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
7. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
8. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
9. Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. –М. : Недра, 2001. – 198 с.
10. Rosen O. M., Serenko V. P., Spetsius Z. V., Manakov A. V., Zinchuk N. N. Yakutian kimberlite position in the Sibirian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. – 2002. – V. 43, № 1. – P. 3–26.

Зубова Т. П. (zubova@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОБИРНОГО АНАЛИЗА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ГРАВИТАЦИОННЫМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ ЗОЛОТА В ГЛИНИСТЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Сравнение содержаний золота в глинистых золотоносных корах выветривания, полученных разными видами пробирного анализа: традиционным с атомно-абсорбционным окончанием и с предварительным гравитационным концентрированием. Предложенный вид анализа более точный, так как учитывает присутствие золота разной размерности.

Ключевые слова: золото, кора выветривания, пробирный анализ.

На основе работ, проводимых ЦНИГРИ при поисках золотоносных кор выветривания (ЗКВ) в разных регионах России (Урал, Кузнецкий Алатау, Забайкалье, Бурятия), был собран материал по определению содержаний золота в коре выветривания пробирным анализом с атомно-абсорбционным окончанием и с предварительным гравитационным концентрированием. По всем пробам, включенным в выборку (43 пробы), был выполнен минералогический анализ. Полученные аналитические данные часто резко отличались между собой.

Во многих пробах присутствовало самородное золото от 1 до 420 знаков, преимущественно размером от 0,05 до 0,25 мм, единичные зерна достигали 0,4–3,5 мм.

По результатам пробирного анализа с атомно-абсорбционным окончанием, содержания золота > 0,5 г/т были установлены лишь в трех пробах, корреляция этих значений от количества знаков золота в пробе не выявлена. В пробе с содержанием золота 0,96 г/т знаки золота отсутствовали, в пробе с содержанием 1,22 г/т присутствовала одна частица размером 0,1 мм, в пробе с содержанием 4,6 г/т – 26 знаков, размером 0,05–0,25 мм. В пробах, содержащих от 100 до 400 золотин размером 0,05–0,25 мм, значения пробирно-атомно-абсорбционного анализа составляли 0,037–0,05 г/т.

Данное несовпадение можно объяснить неравномерным распределением самородного золота в коре выветривания, в связи с чем возможно непопадание его частиц в навеску пробирного анализа, либо погрешностью самого анализа. Последнее может быть вызвано следующими причинами:

- пробоподготовкой, когда глинистый материал пробы из коры выветривания не досушен и при истирании происходит закатывание золотин в глинистую оболочку, что затрудняет их вскрытие и в итоге занижает результаты пробирного анализа;
- временем плавки пробы для перевода всех частиц золота разной размерности в сплав (королек).

Как видно из вышесказанного, традиционный метод определения содержаний золота в глинистых корах выветривания, когда золото в них часто присутствует в самородной форме, может вызывать сомнения в достоверности полученных результатов.

Для решения этой проблемы на нескольких объектах с глинистой золотоносной корой выветривания в разных регионах РФ сотрудниками ЦНИГРИ для определения содержаний золота был применен пробирный анализ с предварительным гравитационным концентрированием («Бегущая волна»), разработанный ранее в ЦНИГРИ для определения содержаний золота в высокоглинистых россыпях с мелким и тонким золотом [3]. Суть данного метода заключается в обработке отобранных проб массой 4–6 кг (можно от 1 кг и более 6 кг), включающей дробление до фракции -0,1 мм всей пробы, с последующей промывкой материала на установке «Бегущая волна» (ПКЦ–300). Установка состоит из контактного чана с механической мешалкой и центробежного концентратора с устройством для механического отбора пульпы хвостов гравитации. Пробирному анализу с весовым окончанием подвергались гравитационный концентрат и две-три навески, отобранные из хвостов гравитации, после предварительного обезвоживания и высушивания. Содержания золота в пробе рассчитываются по формуле с учетом баланса всех продуктов разделения. Особенность предложенного метода состоит в том,

что он учитывает все возможные формы нахождения золота в пробе: как гравитационного класса крупности, так и тонкого, концентрирующегося в алевро-пелитовой фракции.

В 23 пробах (53 %) содержания золота по результатам пробирного анализа с предварительным гравитационным концентрированием были выше полученных пробирным анализом с атомно-абсорбционным окончанием (рисунок). В 19 пробах (45 %) содержания остались на том же уровне и лишь в одной пробе (2 %) оказались ниже (возможно за счет присутствия тонкого золота в виде включений в обломках пород).

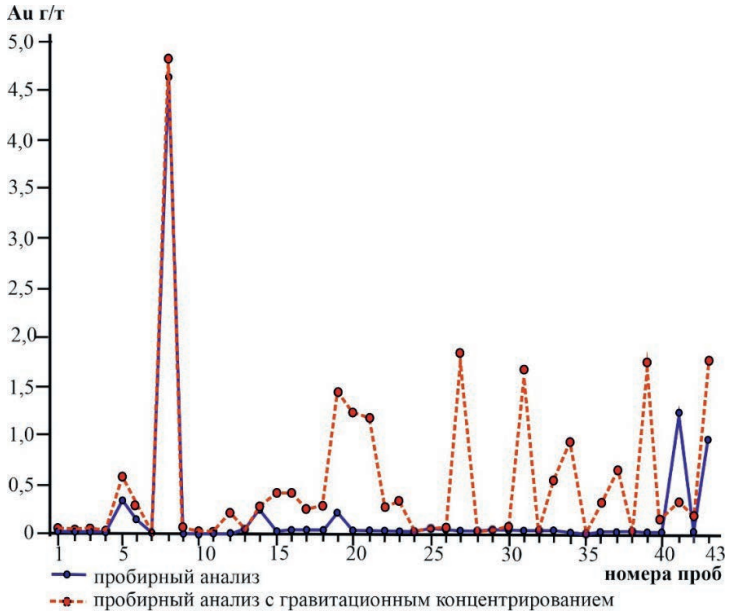


Рисунок. Сравнение результатов пробирных анализов на золото с атомно-абсорбционным окончанием и с предварительным гравитационным концентрированием

Применение рассматриваемого анализа позволило по 15 пробам (35 %) получить содержания золота > 0,5 г/т (в отличие от традиционного метода (0,05–0,18 г/т)).

Хотя пробирный анализ с предварительным гравитационным концентрированием и был разработан для россыпей с мелким и тонким золотом, он успешно был применен для определения содержаний золота в коренных рудах с крупным золотом [1, 2]. Среди проанализированных нами проб в одной также присутствовали зерна размером 0,3–3,3 мм (16 знаков массой 174 мг). По результатам пробирно-атомно-абсорбционного анализа, содержание золота в ней составило 0,05 г/т, по пробирному анализу с предварительным гравитационным концентрированием – 1,83 г/т.

Пробирный анализ с предварительным гравитационным концентрированием является более дорогим и трудоемким по сравнению с традиционным. Применять его для определения содержаний золота по всем бороздовым и керновым пробам, отобранным из коры выветривания, нецелесообразно, т. к. это сильно повысит затраты на лабораторно-аналитические исследования. Для выявления случаев, когда необходимо применение этого анализа, было проведено сопоставление его результатов с количеством и размером частиц золота, выделенного из минералогических проб. Четких закономерностей установлено не было. Пробирный анализ с предварительным гравитационным концентрированием показывал содержания золота более 1 г/т и при 4, и при 400 знаках золота. На количество золота, извлекаемого из шлиха, может оказывать влияние качество промывки, морфология и размерность частиц золота, а также «эффект самородков». Тонкие уплощенные, чешуйчатые золотины обладают плавучестью и часто смываются в шламовую фракцию.

Тем не менее предложенный анализ целесообразно применять в следующих случаях:

• если при документации канав и керна скважин в коре выветривания присутствуют остаточные дезинтегрированные прожилки кварца либо обломки окварцованных пород, поскольку

с окварцеванием часто связано присутствие самородного золота, которое при выветривании высвобождается из первичных руд и переходит в свободное состояние;

• если происходит расхождение результатов пробирного и минералогического анализов: низкие содержания золота по результатам пробирного анализа при наличии самородного золота в пробах;

• если в минералогических пробах присутствует весьма мелкое и тонкое золото (< 0,25 мм) в количестве более 20 знаков;

• если в минералогических пробах присутствует золото крупнее 0,25 мм, даже в виде нескольких знаков.

Проведение пробирного анализа с предварительным гравитационным концентрированием позволяет существенно увеличить точность определения содержаний золота в пробах и может быть использовано при оценке прогнозных ресурсов золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романчук А. И, Богомолов В. А, Никитенко Е. М. и др. Сравнительная оценка достоверности определения содержания золота в рудах Дегдеканского рудного поля традиционным пробирным анализом и по методике с предварительным гравитационным концентрированием свободного золота // Недропользование XXI век. – 2013. – № 3 (28). – С. 58–63.
2. Романчук А. И., Жарков В. В., Богомолов В. А. Оценка методов определения содержания Au в рудах с крупным золотом // Руды и металлы. – 2013. – № 4. – С. 61–68.
3. Романчук А. И., Никулин А. И., Жарков В. В. Опробование россыпи, содержащей мелкое и тонкое золото // Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 44–46.

Иванов А. И.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

В юго-восточной части Байкало-Патомской металлогенической провинции в пределах Додыхтинско-Уряхского рудного района в процессе поисковых работ за средства федерального бюджета выявлены новые перспективные рудопроявления золота Ветвистое и Довгакитское (Додыхтинский рудный узел), а также обоснована промышленная значимость Джалагунского рудопроявления золота (Чаянгринский рудный узел). От золоторудных месторождений Бодайбинского рудного района, расположенного севернее (Сухоложское, Вернинское и др.), эти объекты отличаются составом вмещающих оруденение комплексов, хотя общие закономерности формирования золотого оруденения этих двух рудных районов близки.

Ключевые слова: Байкало-Патомская металлогеническая провинция, Додыхтинско-Урях-ский рудный район, Бодайбинский рудный район, Право-Мамаканский глубинный разлом, рудопроявления золота Ветвистое, Довгакитское, Джалагунское, минерализованные зоны, рудные зоны, прогнозные ресурсы золота.

В последние годы в юго-восточной части Байкало-Патомской металлогенической провинции в пределах Додыхтинско-Уряхского рудного района [1, 2], контролируемого зоной динамического влияния Право-Мамаканского глубинного разлома (разделяет северную часть Байкальской складчатой области, где развиты интенсивно деформированные карбонатно-терригенные рифейско-вендские отложения и Байкало-Муйский пояс, сложенный разновозрастными вулканогенными, терригенными, интрузивными образованиями), выявлены новые потенциально-промышленные золоторудные объекты Ветвистый, Довгакитский [3], а также обоснована промышленная значимость Джалагунского рудопроявления золота [4].

Рудопроявления Ветвистое и Довгакитское выявлены в 2015–2017 гг. при проведении поисковых работ за средства федерального бюджета (ЗАО «Сибирская геологическая компания»)

в юго-западной части Додыхтинского рудного узла (Икибзякское рудное поле), их суммарные апробированные прогнозные ресурсы золота категорий P_1 и P_2 составили 32 т.

На Джалагунском рудопроявлении, расположенном в юго-западной части Чаянгринского рудного узла (Джалагунское рудное поле), в 2012–2014 гг. за средства федерального бюджета проведены поисковые работы (ЗАО «Сибирская геологическая компания»), локализованы протяженные рудные жильно-прожилковые зоны (ранее были известны только отдельные жилы), оценены и апробированы прогнозные ресурсы категорий P_1 и P_2 в количестве 54 т.

Икибзякское рудное поле приурочено к «провесу кровли» в Байкало-Витимском «батолите» («ареал-плутоне»), образованном верхнепалеозойскими гранитоидами конкудеро-мамаканского комплекса [1, 2, 3]. В его пределах вскрываются осадочно-вулканогенные метаморфизованные породы усть-килянской толщи, прорванные базитами таллаинского и гранитоидами бамбукойского комплексов. Последние слагают Довгакитский массив, являющийся рудовмещающим. В условиях взбросо-сдвиговых деформаций в рудноподготовительный этап в пределах массива сформировались зоны интенсивного рассланцевания, смятия и брекчирования пород с проявлением метасоматических преобразований березит-лиственитового ряда. Березитизация проявлена в гранитоидах, лиственитизация – в телах метабазитов.

Граниты при березитизации мусковитизируются как по массе, так и с формированием зонок мусковитового, кварц-мусковитового, анкерит-хлорит-мусковитового состава, отрывные трещины обычно выполнены кварц-анкеритовым или анкеритовым агрегатом. Метабазиты в зонах рассланцевания лиственитизируются – превращаются в кварц-мусковит-хлоритовые сланцы с интенсивной железо-магнезиальной карбонатизацией (брейнерит). И березиты, и лиственициты характеризуются повышенной золотоносностью до сотых долей г/т.

В рудный этап при активизации зон рассланцевания в пределах березит-лиственитовых гидротермально-метасоматических ореолов формируются золотоносные жильно-прожилковые рудные зоны. Жилы и прожилки имеют кварцевый, анкерит-кварцевый состав в березитах, хлорит-брейнерит-кварцевый – в лиственитах и содержат вкрапленную, пирротиновую, халькопиритовую и пиритовую минерализацию.

В пределах Довгакитского рудопроявления наиболее изучена рудная зона Рыжая. Она представляет собой жильно-прожилковую зону в березитах и березитизированных гранитах. Жилы и прожилки интенсивно деформированы, разлинзованы, отмечаются фрагменты замковых частей складок. Они имеют анкерит-кварцевый состав, отмечается вкрапленность пирита, содержание которого не превышает нескольких процентов, и видимое золото.

В пределах Ветвистого рудопроявления наиболее изучена рудная зона Центральная, представляющая собой зону жильно-прожилкового окварцевания. Жилы и прожилки имеют (анкерит, брейнерит)-кварцевый состав, характерна убогая сульфидная минерализация, представленная пиритом, халькопиритом, галенитом, часто отмечается видимое самородное золото. Жилы и прожилки интенсивно деформированы: смяты в складки, будинированы и разлинзованы. Тонкопрожилковая брейнерит-кварцевая минерализация характерна для лиственитов по метабазитам, анкерит-кварцевая – по березитам.

Рудные зоны в пределах и Довгакитского и Ветвистого рудопроявлений представляют собой сульфидно-кварцевый жильно-прожилковый тип золотого оруденения, подобный таковым Бодайбинского рудного района.

Джалагунское рудное поле занимает южную часть Чаянгринского рудного узла, выделенного в пределах «провеса кровли» крупного гранитоидного массива верхнепалеозойского конкудеромамаканского комплекса [1, 2, 4]. «Провес кровли» представляет собой обособленную юго-восточную часть Мамско-Бодайбинского синклинория, «отрезанную» от его основной части гранитным массивом на расстояние 25–30 км. Вскрывающиеся в нем рифейские карбонатно-терригенные отложения смяты в сложные разнопорядковые линейные складки, региональнометаморфизованы в условиях амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций и прорваны целой серией штокообразных массивов гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса.

Рудовмещающими являются породы джалагунской свиты (является возрастным аналогом хомолхинской свиты, вмещающей месторождения Сухой Лог, Высочайшее и др. в Бодайбинском

рудном районе), представленные в нижней части углеродистыми сланцами и алевросланцами, переслаивающимися с темно-серыми и серыми в той или иной степени углеродистыми мелкозернистыми и среднезернистыми песчаниками, слагающими около 20 % разреза. Отмечаются пласты мраморизованных известняков, доломитов и кварцитов. Выше залегают метаморфизованные туфогенно-осадочные породы – зеленые хлоритовые сланцы, в том числе магнетитсодержащие, среди которых отмечаются пластовые тела рассланцованных метаэффузивов среднего состава.

В Джалагунском рудном поле как в его пределах в целом, так и непосредственно в пределах минерализованной зоны установлены многочисленные дайки гранитов, гранит-порфиров, плагиогранитов, гранодиоритов, гранодиорит-порфиров, диоритов, диоритовых порфиритов, монцодиорит-порфиров, авгитовых порфиритов. Дайки установлены в ряде пробуренных скважин, они субсогласны сланцеватости или косо секут ее, их стволовая мощность составляет 1–15 м.

Рудоконтролирующей структурой в пределах Джалагунского рудного поля является зона складчато-разрывных деформаций (ЗСРД), в пределах которой в рудноподготовительный этап на фоне интенсивного рассланцевания проявилась золотоносная железо-магнезиальная карбонатизация (бурошпатизация). Бурошпатизированные породы характеризуются повышенной золотоносностью до сотых долей г/т.

В рудный этап в центральной части ЗСРД сформировалась золотоносная минерализованная зона, характеризующаяся проявлением интенсивных гидротермально-метасоматических процессов: кварцевой жильно-прожилковой минерализации, бурошпатизации, мусковитизации, сульфидизации. В пределах минерализованной зоны выявлены три рудных зоны, наиболее изученной из которых является Рудная зона № 1. Она отчетливо выделяется по геологическим признакам: характеризуется относительно повышенной деформированостью пород, интенсивной бурошпатизацией, пиритизацией и значительным (10–20 %) объемом жильно-прожилкового материала. Вмещающие породы интенсивно рассланцованы вплоть до полной переработки слоистой текстуры и преобразованы в кварц-анкерит-мусковитовые метасоматиты. Рудная зона представляет собой сульфидно-анкерит-кварцевый жильно-прожилковый тип золотого оруденения, подобный таковым Бодайбинского рудного района.

Резюме. Особенности золоторудных объектов Икибзякского и Джалагунского рудного полей относительно других золоторудных объектов Байкало-Патомской металлогенической провинции заключаются только в некоторых моментах. Так, в Икибзякском рудном поле главным отличием от месторождений Бодайбинского рудного района является формирование золотого оруденения не в терригенно-карбонатных отложениях, а в гранитоидах (с ксенолитами базитов) с «классическим» проявлением рудноподготовительных процессов березит-лиственитового ряда и формированием сульфидно-анкерит-кварцевых жильно-прожилковых зон в рудный этап.

В Джалагунском рудном поле различия проявились в составе рудовмещающих отложений: карбонатно-терригенные отложения формировались в основном в пришельфовой обстановке, а не в условиях континентального склона, как в Бодайбинском рудном районе. Значительным отличием разреза рудовмещающей джалагунской свиты от такового хомолхинской свиты является наличие в верхах разреза вулканогенно-осадочных пород и вулканитов, свидетельствующих о проявлении вулканизма южнее в Байкало-Муйской зоне. Кроме того, в завершающий этап рудообразования в гидротермально-измененные породы минерализованной зоны внедрились дайки «пестрого» состава – от диоритов до гранитов.

В то же время установлено, что по этапности рудообразования, характеру проявления гидротермально-метасоматических процессов, строению рудных жильно-прожилковых зон Довгакитское, Ветвистое и Джалагунское рудопроявления близки типовым золоторудным месторождениям Бодайбинского рудного района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А. И., Лившиц В. И., Перевалов О. В. [и др.] Докембрий Патомского нагорья. – М. : Недра, 1995. – 353 с.
2. Иванов А. И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ФГУП ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.

3. Иванов А. И., Агеев Ю. Л., Мезенцев А. В., Молочный В. Г., Конкин В. Д. Золотое оруденение в гранитоидах в Икибзякском рудном поле – новая веха в исследовании золотоносности Байкало-Патомской металлогенической провинции // Отечественная геология. – 2021. – № 2. – С. 4–18.
4. Иванов А. И., Агеев Ю. А., 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.

Иванов А. С. [1] (Ivanov_AS6@pers.spmi.ru), Специус З. В. [2] (spetsiuszv@gmail.com), Ащепков И. В. [3] (igora57@mail.ru)
[1] Горный университет, г. Санкт-Петербург; [2] ИГАБМ СО РАН, г. Якутск, [3] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

ТРЕНДЫ ОСНОВНЫХ ОКИСЛОВ И ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВОВ ПИРОПОВ КАК ПОКАЗАТЕЛИ АЛМАЗОНОСТИ КИМБЕРЛИТОВ

Химические составы пиропов давно используются в практике проведения поисково-оценочных работ на алмазы и расшифровке процессов и условий кимберлито- и алмазообразования. Содержания химических элементов в пиропах изучают различными аналитическими приборами. Наиболее распространен метод анализа составов минералов с использованием электронного микрозонда (ЕРМА). Менее доступны для исследователей более чувствительные методы анализов: ионные, протонные зонды и другие аналитические приборы. На сегодняшний день уже накоплены огромные банки данных составов пиропов из различных по продуктивности кимберлитов. Возникла необходимость раскрыть основные проблемы для исследователей составов пиропов. В работе построено по две диаграммы для основных и примесных элементов в составах пиропов из разных по алмазоносности кимберлитов Якутии (Россия) и Анголы. Рассмотрены и показаны особенности распределения пиропов в 6 кимберлитовых трубках (по три из каждой провинции).

Ключевые слова: кимберлиты, индикаторные минералы, элементы-примеси в пиропах.

Введение и методика исследований. Химические составы гранатов из кимберлитов, в первую очередь пиропов, давно используются в практике проведения поисково-оценочных работ на алмазы и при расшифровке процессов и условий кимберлито- и алмазообразования. Содержания химических элементов в пиропах изучаются различными аналитическими приборами. Наиболее распространен метод анализа составов минералов с использованием электронного микрозонда (ЕРМА). Менее доступны для исследователей более чувствительные методы анализов: ионные, протонные зонды и другие аналитические приборы. Полученные данные позволили установить основные закономерности присутствия и распределения различных по составам групп пиропов в кимберлитовых трубках с различным содержанием алмазов. На сегодняшний день уже накоплены огромные банки данных по составам пиропов из различных по продуктивности кимберлитовых трубок. Это дало возможность раскрыть взаимосвязь состава пиропов, присутствующих в той или иной кимберлитовой трубке, с содержанием и даже качеством присутствующих в ней алмазов. В данной работе построены и приведены по две диаграммы для основных и примесных элементов в составах пиропов из разных по алмазоносности кимберлитовых трубок Якутии (Россия) и Анголы. В целом рассмотрены и показаны особенности распределения пиропов в шести кимберлитовых трубках (по три из каждой провинции). Соответственно, по две диаграммы из неалмазоносных (Толуопская и Шандонго), среднеалмазоносных (Дальняя и Луаши 33) и высокоалмазоносных (Мир и Луэле) кимберлитовых трубок.

Результаты. В соответствии с опубликованным ранее критерием алмазоносности кимберлитов [1] составы пиропов из неалмазоносных кимберлитов не попадают в центр температурной мишени, и они не формировались одновременно с алмазами. На основании графического анализа представленных ниже диаграмм (рисунок) предлагается дополнительный критерий

оценки промышленной алмазоносности кимберлитов с использованием треугольных диаграмм, демонстрирующих не только распределение пиропов в кимберлитах по содержанию основных окислов в их составе, но также с учетом содержания в пиропах примесных элементов Mn, Na и Ti.

Для алмазоносных кимберлитов (рисунок, б) характерен цельный тренд, который взаимно перекрывается по близким соотношениям натрия, марганца и титана во всех кластерных группах (КГ) пиропов [2]. Составы пиропов из неалмазоносных кимберлитов такого перекрытия не демонстрируют (рисунок, а); тренды для каждой кластерной группы составов пиропов обособлены или фиксируется преобладание одного парагенезиса над другими, что не характерно для сходных параметров не только давления и температур, но и для соотношений пиропов в общем протокимберлитовом расплаве, который не только транспортировал алмазы к поверхности при формировании кимберлитовых трубок, но и был ответственен за сохранность алмазов, в том числе крупных и дорогих кристаллов.

В процессе захвата глубинным перидотитовым (протокимберлитовым) расплавом менее глубинных слоев и линз – вебстеритов и эклогитов, который происходил при понижении *PT* параметров, процесс перекристаллизации (или его можно назвать гибридизации) сопровождался высвобождением углерода из более железистых расплавов, происходящим при *PT* параметрах, соответствующих благоприятным условиям сохранности алмазов или даже росту внешних оболочек на отдельных кристаллах, которые были захвачены протокимберлитовыми глубинными расплавами из мантийного субстрата.

Выводы. Нами построены характерные диаграммы для составов пиропов из кимберлитовых трубок с различным содержанием алмазов (от неалмазоносных до высокоалмазоносных) с учетом содержания в них примесных элементов – Mn, Na и Ti. На диаграммах из алмазоносных кимберлитов средние значения по примесным элементам в каждом кластере имеют близкие соотношения и сходные распределения, что указывает на вероятную гибридизацию и смешивание при взаимодействии глубинного перидотит-протокимберлитового расплава с вебстерито-

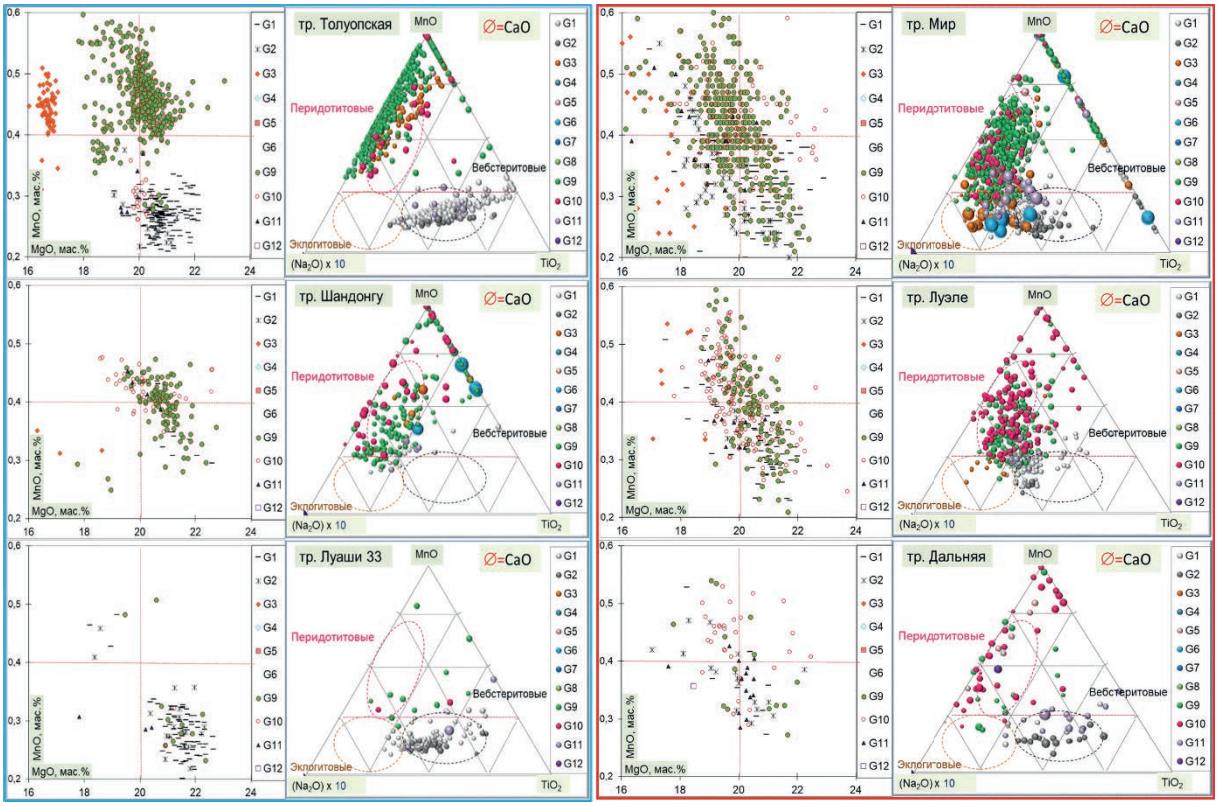


Рисунок. Диаграммы по основным окислам и примесным элементам (по две в ряд, для трех типов кимберлитов: (а) слева – для составов пиропов из неалмазоносных и (б) справа – для составов пиропов из алмазоносных кимберлитов**.**

вым и эклогитовым субстратами. При этом образуется совместный расплав. Соотношения при смешивании расплавов для элементов примесей во всех КГ пиропов становятся одинаковыми, вероятно, оптимальными для сохранности транспортируемых алмазов. Предполагается, что из более железистых фракций расплава высока вероятность высвобождения излишков углерода. Повышенные содержания углерода, который растворялся и интенсивно концентрировался в расплаве, в свою очередь, обеспечивали благоприятные условия для сохранности алмазов. *PT* параметры при этом соотношении и смешивании расплавов соответствовали алмазному коридору. Диаграммы с учетом содержания примесных элементов в пиропах, несомненно, могут использоваться в качестве дополнительного критерия оценки алмазоносности кимберлитов при проведении поисково-разведочных работ на алмазы.

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FUFG-2024-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А. С. Новый критерий алмазоносности кимберлитов // Труды XII Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской сессии. – Апатиты : КНЦ РАН, 2015. – С. 268–270.
2. Dawson J. B., Stephens W. E. Statistical classification of garnets from kimberlites and xenoliths // J. Geol. – 1975. – V. 83, № 5. – P. 589–607.

Иванов Д. В. [1] (IvanovDV@alrosa.ru), Толстов А. В. [2] (Tols61@mail.ru)
[1] АК «АЛРОСА» (ПАО), п. Айхал, [2] ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИМК КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ И БЛИЗЛЕЖАЩИХ ОРЕОЛОВ УЧАСТКА ПЕРЕВАЛЬНЫЙ-СЕВЕР (ЯАП)

Приведены сведения об индикаторных минералах кимберлита (ИМК) участка Перевальный-север (Алакит-Мархинское кимберлитовое поле (АМКП), Якутская алмазоносная провинция (ЯАП) и ИМК кимберлитовых тел, дана их характеристика.

Ключевые слова: кимберлиты, трубка, поле, индикаторные минералы кимберлита, парагенезис, химизм ИМК.

Объемы работ. Изучение минералогии и химсостава ИМК участка Перевальный-север, сравнения их с ИМК кимберлитов тел Январское, Структурное, трубки Чукукская выполнены по 710 шлиховым пробам и 1200 минералогическим и микрозондовым анализам.

Минералогические исследования. В 2016 г. при поисковых работах в АМКП на участке Перевальный-север (16 км к северо-востоку от п. Айхал в междуречье р. Чукука и руч. Перевальный) выделен шлиховой **ореол ИМК 4**. Его размеры 2,8 × 2,5 км, содержания ИМК достигают тысяч зерен на шлиховую пробу, в том числе ИМК 0-I класса с примазками кимберлитового материала [1]. ИМК имеют широкое развитие на площади, основная часть их находится вблизи западной границы с увеличением их количества с юга на север, включая и рост содержаний ИМК хорошей сохранности [2, 3].

Присутствие в пробах одновременно пикроильменита и в меньшей степени пиропа различной степени механического износа (Рис. 1, а), значительная часть которых представлена ИМК ближайшего сноса, связано, скорее всего, с благоприятными структурными условиями для их накопления и присутствием в этом районе новых коренных источников [2, 4, 5].

В зоне влияния Комсомольского рудовмещающего разлома выявлен **Ореол 5,** вытянутый в северо-восточном направлении. Находится он в непосредственной близости от кимберлитовых тел Чукукская, Январское, Кексовая, размеры его 0,3–0,5 × 0,8 км [1]. ИМК присутствуют в ураганных количествах, достигая вблизи кимберлитовых тел десятков тысяч зерен на шлиховую пробу. Отмечаются зерна с примазками кимберлитового материала (Рис.1, б).

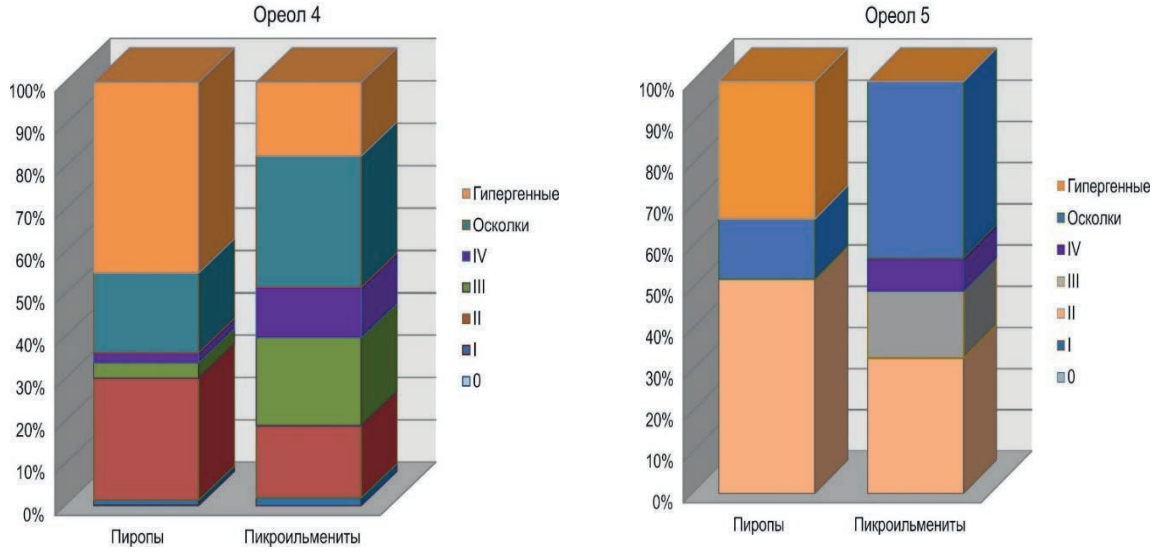


Рисунок. Распределение пиропов и пикроильменитов на участке Перевальный-север по сохранности первичной поверхности; а – Ореол 4, б – Ореол 5**.**

Результаты микрозондовых анализов. Химизм ИМК участка отличается своеобразием.

Гранаты из шлиховых ореолов участка Перевальный-север, кимберлитовых трубок Комсомольская, Чукукская, тел Структурное и Январское имеют как сходства, так и различия:

- по дунит-гарцбургитовой составляющей гранаты ореола 4 и северной части участка Перевальный-север идентичны трубке Чукукская [1, 6];
- лерцолитовая составляющая гранатов восточной части ореола 4 и северной части участка Перевальный-север близки со сравниваемыми трубками, но отличаются от ореола 5;
- по верлитовой составляющей гранаты восточной части ореола 4 и северной части участка Перевальный-север идентичны с телом Структурное;
- содержания основных оксидов в минералах не имеют существенных отличий.

По количеству зерен алмазной ассоциации восточная часть ореола 4 (16,9 %) и северная часть (20,4 %) участка Перевальный-север превышают все сравниваемые объекты. По тренду распределения хромистости наблюдаются отличия сравниваемых объектов за исключением северной части участка с трубкой Чукукская и кимберлитовым телом Январское [1].

Пикроильмениты восточной части шлихового ореола 4 участка Перевальный-север по распределениям гематитового минала весьма близки к телу Структурное. По распределению магнезиальности существенные отличия не выявлены, пикроильмениты участка Перевальный-север, как и в сравниваемых трубках, в основном локализованы в интервале 9–12 мас.%. По содержаниям основных химических элементов различия не выявлены.

Хромшпинелиды объектов имеют отличия по химизму и содержанию оксидов. По количеству алюмохромитов (23 и 23 %) и количеству зерен алмазной ассоциации (3 и 3 %) наблюдается сходство хромитов шлихового ореола 4 и кимберлитового тела Январское.

Таким образом, сходство химизма ИМК, гипсометрическое положение ореолов относительно известных кимберлитов, Sr-Nd характеристики примазок материала на ИМК [7], другие особенности ИМК [8] свидетельствуют о том, что в ореолы они поступали за счет дезинтеграции кимберлитовых трубок Комсомольская, Чукукская, тел Структурное и Январское. Однако выявленные отличия в химизме ИМК позволяют предполагать наличие в пределах данных ореолов других невыявленных кимберлитовых тел.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГАБМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Д. В., Толстов А. В., Иванов В. В. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитового тела Январское (Далдыно-Алакитский алмазоносный район) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2018. – № 5. – С. 39–43.

2. Иванов Д. В., Толстов А. В., Иванов В. В. Роль пликативных структур как прогнозных критериев на алмазоносные кимберлиты в Алакит-Мархинском поле // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 6–13.
3. Афанасьев В. П. [и др.] Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 2. – С. 120–127.
4. Проценко Е. В., Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 14–23.
5. Мальцев М. В., Толстов А. В., Фомин В. М., Старкова Т. С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2016. – № 3. – С. 86–94.
6. Симоненко В. И., Толстов А. В., Васильева В. И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. С. 108–112.
7. Lapin A. V., Tolstov A. V., Antonov A. V. Sr and Nd isotopic composition of Kimberlites and associated Rocks of the Siberian craton // Doklady Earth Sciences. – 2007. – V. 414, № 1. – P. 557–560.
8. Sobolev N. V. [et al.] Unique compositional peculiarities of olivine phemocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokuonapskaya kimberlite pipe, Yakutia // Doklady Earth Sciences. – 2015. – V. 463, № 2. – P. 828–832.

Иванова И. И.
АО «СНИИГГиМС», г. Новосибирск

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В АРГИЛЛИЗИТАХ И КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ ТЫРГАНСКОЙ ПЛОЩАДИ САЛАИРСКОГО КРЯЖА

В пределах Тырганской площади в 2021–2024 гг. выполнены геологоразведочные работы на выявление золотоносных кор выветривания. Результат комплексной обработки информации, полученной в ходе работ, показал, что содержащие золото породы относятся не только к образованиям кор выветривания, но и к низкотемпературным метасоматитам аргиллизитового типа.

Ключевые слова: аргиллизит, Салаир, факторный анализ, искусственный интеллект, золото.

Геологическое строение участка работ. В геологическом строении района работ принимают участие образования нижнего и среднего кембрия, а также верхнего мел-палеогена и четвертичной системы. *Отложения нижнего кембрия* представлены существенно карбонатными и карбонатно-вулканогенными образованиями, состоящими из андезитовых порфиритов, липаритовых порфиров, туфов и туфопесчаников. К *образованиям верхнего мела* предшественниками отнесены рыхлые образования кор химического выветривания. Наиболее распространенными являются линейные коры выветривания, приуроченные к зонам дробления и гидротермальной проработки пород на контакте силикатных и карбонатных толщ, глубина которых достигает 300 м. *Четвертичная система* развита повсеместно, мощностью от 10 до 50 м.

Интрузивы и субвулканические породы в пределах северо-восточного Салаира выделяются как комплексы дайковых тел диабазов, габбро-диабазов, диабазовых порфиритов. Отдельные исследователи [1, 3] также выделили субвулканические тела кварцевых порфиров, гранодиорит-порфиров, плагиогранит-порфиров, являющихся субвулканической или жерловой фацией эффузивов печеркинской свиты, внедрившихся в основном на завершающем этапе нижнекембрийского вулканизма. Породы данной фации представлены крупнопорфировыми разностями с постоянным присутствием четко оформленных «бипирамидальных» порфировых выделений кварца. Прослои таких гипабиссальных пород встречены при документации керна Порфирового участка (рис. 1, Е).

Методы исследования. Статистическая обработка результатов анализов выполнена методом главных компонент (PCA), являющимся разновидностью факторного анализа. Он позволяет выделить ведущие факторы, влияющие на дисперсию исследуемых параметров, в нашем случае на содержание полезных компонент. Так как PCA основан на многомерном нормальном распределении, то данные для анализа предварительно проверены на соответствие данному признаку. В качестве исходных данных использовано более трех тысяч измерений содержаний полезных компонентов по данным ICP-AES и ПКСА из керновых проб с Тырганской площади.

Первичные аналитические данные проверены на предмет выбросов. При содержании элемента ниже порога обнаружения использовалось половина значения порога.

В результате анализа выделены четыре основных группы пород. Пробы с максимальными значениями золота в группе связаны с четвертым фактором. В его структуру с высокими нагрузками помимо золота входят ртуть и серебро. Во всех пробах, где содержание ртути повышено, содержание золота также на несколько порядков превышает среднюю концентрацию по участку. Образцы пород, относящихся к четвертому фактору, дополнительно изучены под микроскопом. В них отчетливо выделяются неокисленные зерна пирита (см. рис. 1, A, B, D), а также кристаллы киновари (см. рис. 1, C).

Из чего следует, что породы, содержащие высокие содержания золота, представлены не только корами выветривания, но и низкотемпературными метасоматитами (аргиллизитами), которые на данной территории ранее не выделяли. Однако похожие выводы для кор выветривания получены в Егорьевском районе Салаира [2]. Там авторы также относят «коры выветривания и покровные суглинки» к низкотемпературным приповерхностным гидротермальным образованиям – аргиллизитам.

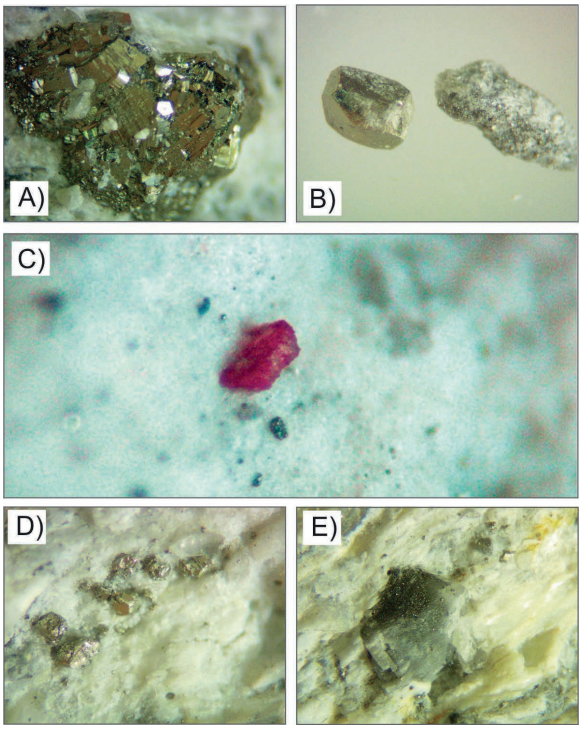


Рис. 1. Фотографии минералов образцов пород Тырганской площади

Для ряда проб с повышенным содержанием золота в исходной пробе выполнено гравитационное обогащение, реализованное по рекомендациям ФГБУ «ЦНИГРИ», после чего пробирным анализом измерено содержание золота в тяжелой фракции. Результаты измерений также подтверждают, что существует минимум два типа золота на данном участке. Из зависимости содержания золота в гравитационном концентрате от золота в исходной пробе (рис. 2, I) видно, что отчетливо выделяются две группы пород: в первой – гравитационное обогащение не дает увеличения содержания золота, вторая группа – увеличивает содержание более чем на порядок. Фотографии золота, выполненные под электронным микроскопом, также показывают,

что золото коры выветривания в среднем в три раза меньше по размерам, чем золото с примесью серебра и ртути, которое является гравитационно более обогатимым и, по-видимому, относится к аргиллизитовой формации. Отличается и пробность золота по данным технологического опробования. В первой пробе, которая содержит самородное золото из коры выветривания, элементы-примеси отсутствуют (золото высокопробное Au = 100 мас. %). Во второй пробе золото средней и низкой пробности, присутствуют примеси серебра и ртути (Au = 400–870 мас. %).

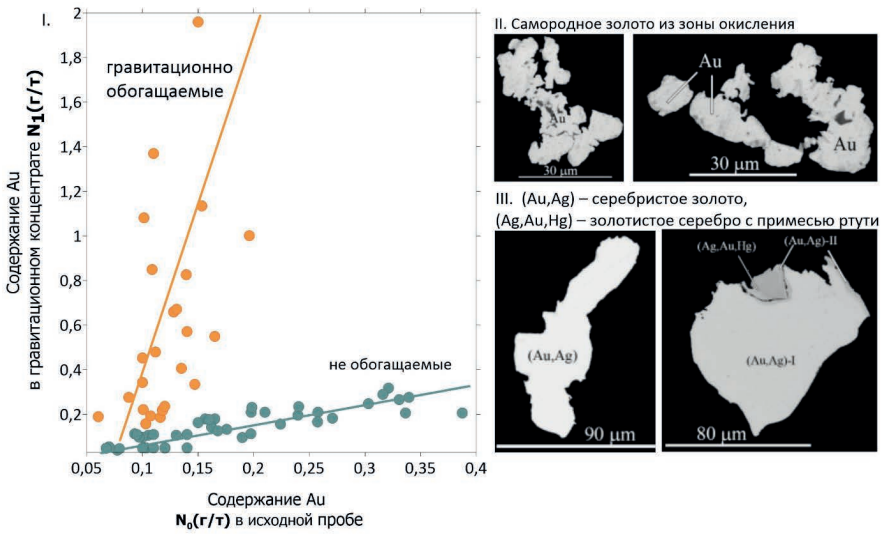


Рис. 2. Результаты гравитационного обогащения проб с высоким содержанием золота и фотографии золота под электронным микроскопом

Выводы. В процессе работ установлено, что породы, содержащие высокие содержания золота, на Тырганской площади представлены не только корами выветривания, как предполагалось при проектировании работ, но и низкотемпературными метасоматитами аргиллизитового типа, что позволяет более оптимистично рассматривать перспективы золотоносности Тырганской площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Желонкин Ю. И., Портянников Д. И. Геологический отчет № 18172, 1977 г.
2. Песков Е. Г., Минко О. О. Геологический отчет № 9608, 1991 г.
3. Третьяков С. А. Геологический отчет № 18551, 1979 г.

Истомин В. А. (istval@mail.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

АЛМАЗОНОСНОСТЬ ТЕРРАС НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ОРАНЖЕВОЙ В НАМИБИИ

В данной статье приведены краткие сведения о геологическом строении нижнего течения р. Оранжевой. Рассмотрены условия и время формирования речных террас, их литологический состав. На примере Блока № 11 приведены содержания алмазов в аллювиальных отложениях террас и оценена перспективность их разработок.

Ключевые слова: террасы, алмазоносность, запасы, содержания, блоки, останцы.

Бассейн нижнего течения р. Оранжевой расположен на стыке нескольких крупных тектонических элементов юга Африканской платформы: синеклиз Калахари (*Kalahari*) и Кару (*Karoo*), разделенных выступами древнего кристаллического фундамента и структур складчатой системы Каис *(Kais*).

В низовьях р. Оранжевой распространены следующие комплексы пород:

– свита Виолсдрифт (*Vioolsdrift*), **группа Хаиб** (*Haib*): представлена гранодиоритами, гранитами, габбро-диоритами и распространена в районе Лореляй (*Lorelei)* и Виолсдрифт (*Vioolsdrift*). В пределах блоков нижнего течения р. Оранжевой она повсеместно является цоколем речных террас;

– метаморфический комплекс Намаквaленд (*Namaqualand*): согласно перекрывает свиту Виолсдрифт, сложен гранитами, гнейсами, габбро и амфиболитами, обнажен в горном массиве Ханс (*Huns*);

– группа Нама (*Nama*): отложения лежат со структурным несогласием на подстилающих породах. Относительно маломощные (40 м) базальные слои, представленные песчаниками и сланцами, объединены в подгруппу Куибис (*Kuibis*). Согласно перекрывающая ее подгруппа Schwarzrand сложена известняками и песчаниками. Вышележащая подгруппа Фиш Ривер (*Fish River*) образована красными и серыми песчаниками и амфиболитами. В долине р. Оранжевая породы группы Нама распространены только в районе Виолсдрифт.

– система Кару (*Karoo*): накоплению системы предшествовал длительный перерыв в осадконакоплении. Осадочный бассейн, расположенный к северу от Виолсдрифта, заполнен сланцами формации Двайка (*Dwyka*), несогласно залегающей на более древних отложениях. Она перекрывается группой Экка (*Ecca*) с формацией Принц Альберт (*Prince Albert*), Вайтхилл (Whitehill), Ауссункер (*Aussenkie*r) и Амибберг *(Amibberg*). Породы группы Экка (*Ecca*), представленные сланцами и песчаниками, образуют цоколь р. Оранжевой в районе Ауссункер и Нордовер (*Noordoewer*). Вышележащие формации Гай-Ас (*Gai-As*) и Этио (*Etio*) представлены красными эоловыми песчаниками, алевролитами и конгломератами. Внедрение базальтов формаций Калькренд (*Kalkrand*) и Этендека (*Etendeka*) произошло до последовавшего затем перерыва;

– Пост Кару (*Post Karoo*): в меловом периоде произошло внедрение кимберлитовых и карбонатитовых тел.

В третичном периоде господствовала эрозия с образованием миоценовой калькреты, плиоценовых песчаных дюн (группа Калахари) и террас р. Оранжевой.

В пределах блоков повсеместно распространена свита Виолсдрифт. Породы интенсивно деформированы разломами различной амплитуды и направлений. Наиболее крупные из них имеют меридиональную ориентировку. Разломы более высоких порядков ориентированы в широтном и северо-восточном направлениях. Часто разломам сопутствуют зоны дробления, окварцевания и минерализации.

Широко развиты на участке жилы и дайки. Дайки представлены долеритами. Наиболее крупная из них имеет мощность 25 м. Дайки ориентированы в северо-восточном или в северо-западном направлениях. Жильные тела незначительной мощности (20–25 см) сложены в основном риолитами и пересекают плотик террас в широтном направлении. Возраст дайкового комплекса, скорее всего, позднемезозойский. Дайки и жилы, как правило, выражаются в рельефе плотика, то есть создают естественные барьеры и условия для образования ловушек. Разломы



Рисунок. Фотоснимок расположения террас Блока № 11 р. Оранжевой

и зоны дробления проявляются лишь в виде незначительных неровностей и линейных углублений на поверхности плотика и, судя по всему, не дают существенных предпосылок для формирования ловушек.

Вся долина р. Оранжевой на территории Намибии разделена на 10 км блоки – от Даймонд Ареа 1 *(Diamond Area I)* в нижнем течении р. Оранжевой до границы с ЮАР на востоке [1, 2].

Аллювиальные террасы р. Оранжевой наиболее полно представлены в районе Даймонд Ареа 1 и Лореляй (Блоки №№ 2 и 3).

Здесь обнаружено четыре террасовых уровня (над уровнем реки):

I – 8–10 м,

II – 12–20 м,

III – 25–35 м,

IV – 40–60 м (до 80 м).

С момента начала своего формирования (очевидно, поздний мел) р. Оранжевая испытала серию аградационных и деградационных циклов, обусловленных положением уровня океана, климатом материка и другими факторами.

Первый крупный аградационный цикл соответствует, скорее всего, среднему миоцену (12–14 млн лет), о чем свидетельствуют остатки беспозвоночных, найденные в древних террасах в районе Арриздрифт (*Arrisdrift;* Даймонд Ареа 1). Эта эпоха характеризуется высоким стоянием моря и влажным климатом материка. Область нижнего течения р. Оранжевой в это время представляла собой относительное поднятие, что обусловило извилистый характер русла реки с многочисленными порогами и водопадами. В этот период формируются террасы высокого уровня (40–60 м, до 80 м), называемые прототеррасами.

Гумидный климат способствовал разрушению кимберлитовых трубок, а флювиальные процессы обусловили перенос и отложение алмазов как в террасах реки, так и в прибрежных районах.

Второй крупный аградационный цикл, последовавший за раннеплиоценовым периодом аридизации и низкого стояния моря, охватывает отрезок от позднего плиоцена до раннего плейстоцена (2–5 млн лет). С наступлением в это время гумидной обстановки р. Оранжевая начинает вырабатывать новое, более спрямленное русло. Более древние (миоцен) меандры и извилины, заполненные аллювием, оказались отрезанными и «запечатанными» раннеплиоценовыми эоловыми песками. Сформировавшиеся в этот период террасы (25–35 м) называются мезотеррасами. Дальнейшая вертикальная эрозия реки связана, скорее всего, с позднеплейстоценовым оледенением.

Алмазоносность молодых низких террас (12–20 и 8–10 м) связана, очевидно, с размывом и переотложением более древних террасовых отложений [Данилов В. Г., Истомин В. А. и др. Отчеты о результатах поисково-оценочных работ в пределах концессий (Блоки № 5, 6, 11) Bran Mining Co. Co. (Pty) Ltd.; Veralex Industries (Pty) Ltd. – Виндхук, 1996–2001].

Таблица. Характеристика алмазоносности Блока № 11

№№ останцов	Запасы продуктивных галечников в м^3	Содержания, в кар/100 т [1]	Прогнозируемая алмазоносность в каратах
11/1/1	3500	0,8–1,6	5600
11/1/2	12 000	0,8–1,6	19 200
11/1/3	8000	0,2–0,6	4267
11/1/4	3600	0,2–0,6	1920
11/1/5	7875	0,2–0,6	4200
11/1/6	3600	0,2–0,6	1920
11/1/7	600	0,2–0,6	320
11/1/8	3675	0,2–0,6	1960
12/2/1	17 250	0,2–0,6	9200
12/2/2	11 000	0,2–0,6	5867
Всего:	71 100		54 454

[1] *объем пробы в 75 м^3 = 100 т в разрыхленном состоянии*

Террасы на намибийской территории изучены и отработаны многочисленными компаниями из ЮАР и России, наиболее перспективными являются террасы Блока № 11 (см. рисунок), где в 2024 году компанией из ЮАР Clear Sun Mining Co. (Pty) Ltd. был добыт 36-каратный алмаз высокого ювелирного качества [В. А. Осиюк, 2025]. Основная масса кристаллов р. Оранжевой октаэдрических и ромбододекаэдрических габитусов. Грани кристаллов практически не истерты. Можно предположить, что часть алмазов поступали из близлежащих кимберлитовых тел, расположенных в нижнем течении р. Оранжевой, – это кимберлитовые поля Ритфонтейн (ЮАР) и Вармбад (Намибия).

На Блоке № 11 в палеоруслах, перекрытых мезотеррасами, встречается гравийно-галечный материал прототеррас. В южной части участка закартирован лишь один останец, соответствующий уровню III надпойменной террасы.

Превалирующими породами террасовых отложений являются галечники, сформировавшиеся в условиях высокой гидродинамики, однако в целом отложения имеют размерность от алеврита до валунов. Матрикс галечников гравийно-песчаный, бурой окраски.

Диагенетические процессы варьируют от калькретизации до кальцификации и гипсовой цементации, что придает галечникам светло-серую окраску. В большинстве случаев галечники слабо сцементированы, однако часто встречаются прослои и линзы хорошо сцементированных конгломератов, что создает трудности при проходке горных выработок.

Валуны представлены габбро-диоритами, кварцитами, реже диоритами, гнейсами и долеритами. Размер валунов до 30–40 см, иногда в приплотиковой части встречаются валуны габбро-диоритов размером до 60 см. Окатанность плохая и средняя. Среди галечных отложений также преобладает галька плохой и средней окатанности. По составу это гнейсы, габбро, кварциты. Реже встречается средне и хорошо окатанная галька черных и коричневых кремней. В целом обломочный материал плохо сортирован и представляет из себя отложения русловой фации. Наблюдается некоторая приуроченность более крупнообломочного материала к приплотиковой части слоя, особенно к местам с наиболее низким гипсометрическим уровням (древние струи).

В пределах всей территории Блока № 11 сохранились 10 террасовых останцов с гравийно-галечным материалом, которые условно можно объединить в два перспективных участка.

В северной части блока можно выделить Участок № 11/1 (Северный), в пределах которого закартировано 8 останцов, представляющих собой фрагменты прото- и мезотеррас, последние перекрывают палеорусло р. Оранжевой. Аллювий мезотеррас залегает на высоте 15–20 м от уреза воды и представлен валунно-галечным материалом с песчано-гравийным матриксом. Окатанность материала различная, сортировка слабая. Местами аллювий перекрыт пролювиальными и коллювиальными (склоновыми) отложениями мощностью от 1–2 м до 8–10 м.

В южной части блока можно выделить Участок № 11/2 (Южный), где сохранились лишь два небольших террасовых останца с гравийно-галечным материалом, причем самый южный останец расположен на границе Блоков № 11 и № 12.

Стоимость алмазов в среднем составляет 1 000 долл. США/кар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимов В. С. Геология месторождений природных алмазов. – М. : Недра, 1980. – С. 181–187.
2. Mineral Resources of Namibia. Ministry of Mines and Energy. Geological Survey, 1992. – S. 5.1-32–37.

Казаков В. Ф. (KazakovVF@nornik.ru), Пелипенко Я. М. (PelipenkoYaM@nornik.ru)
ООО «НН Технические Сервисы», г. Санкт-Петербург

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ВЫКЛИНИВАНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НА ЗАПАДНОМ ФЛАНГЕ ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, НОРИЛЬСКИЙ РАЙОН

Проведены геологоразведочные работы (ГРР) на площади, примыкающей с запада и северо-запада к границе горного отвода Октябрьского медно-никелевого месторождения. Площадь охватывает зону фронтального выклинивания Хараелахского рудоносного интрузива, который расщепляется на серию маломощных пластин с обилием небольших рудных тел всех промышленных типов. В пластинах отсутствует характерная дифференциация. Вмещающие породы интенсивно метасоматизированы. Скважинами прослежены тела богатых и медистых руд за пределами контура утвержденных запасов и выявлены новые рудные тела в полосе 200 × 1000 м. Руды сложены пирротином, халькопиритом, пентландитом и вторичным пиритом. Типичными являются существенно пирротиновые руды.

В результате проведенных работ впервые получена информация о зоне фронтального выклинивания рудоносных интрузивов Норильского типа Норильского комплекса, получены сведения о строении дифференциатов, характере и распределении оруденения.

Ключевые слова: Норильский район, Октябрьское ЭПГ-Ni-Cu месторождение, Хараелахский интрузив.

Октябрьское медно-никелевое месторождение расположено на севере Красноярского края, в Норильском промышленном районе, где сосредоточено крупное горно-металлургическое производство по переработке сульфидных медно-никелевых руд Норильско-Талнахской группы месторождений.

ГРР на объекте выполнялись ООО «ННТС» на основании лицензии КРР 02935 ТП, выданной ПАО «ГМК “Норильский никель”», границы которой примыкают с северо-запада и запада к границе горного отвода Октябрьского месторождения.

Предпосылкой постановки ГРР послужили результаты буровых работ 2008–2012 гг., которыми вдоль западной границы горного отвода Октябрьского месторождения были вскрыты более 20 тел богатых и медистых руд. Тела богатых руд мощностью до 12 м при общей ширине 400 м прослежены до рамки горного отвода и имеют тенденцию к дальнейшему развитию на запад. Над богатыми рудами залегают тела медистых руд суммарной мощностью до 30 м, которые при общей ширине 700 м также прослежены до границы горного отвода.

В период 2017–2023 гг. было проведено бурение разведочных скважин западнее контура горного отвода Октябрьского месторождения, до полного выклинивания рудоносного интрузива.

В результате работ были прослежены тела богатых и медистых руд за пределами контура утвержденных запасов, а также выявлены новые тела богатых, медистых и вкрапленных руд.

Обнаруженные промышленно значимые руды протягиваются узкой полосой 200 × 1000 м вдоль границы горного отвода Октябрьского месторождения, а наиболее крупные по размерам рудные тела берут начало за границами лицензии, являясь продолжением залежей Октябрьского месторождения и выклиниваясь на участке проведенной доразведки.

Хараелахский интрузив в геологическом разрезе тяготеет к контакту курейской и разведочнинской свит. В пределах западных флангов он залегает в среднедевонских терригенно-карбонатных отложениях и воздымается до уровня мантуровской свиты, сложенной ангидритами, мергелями, доломита в различных сочетаниях. При этом физико-механические свойства этих пород (в частности, прочность на растяжение) имеют значимые различия. Это, вероятно, способствовало расщеплению основного тела интрузива на серию маломощных пластин, в разной степени рудоносных. Данный факт объясняет обилие небольших рудных тел (всех промышленных типов). Внутреннее строение пересеченных апофиз значительно отклоняется от классической схемы (отсутствует четкая и типичная дифференциация). Однако общая закономерность, проявленная в увеличении основности к подошве, сохраняется.

Вмещающие породы характеризуются интенсивной метасоматической и метаморфической проработкой.

Минеральный состав рудной (сульфидной) массы довольно однородный; главными минералами являются пирротин, халькопирит, пентландит, характерно присутствие вторичного пирита. Наиболее вариативны соотношения пирротина и халькопирита – в краевых частях рудных тел нередко отмечается более медистый состав и увеличение доли халькопирита, хотя типичным для участка все же является доминирование пирротина.

Таким образом, в результате проведенных работ на примере Хараелахского интрузива была впервые изучена зона фронтального выклинивания рудоносных интрузий Норильского типа Норильского комплекса, получены сведения о строении дифференциатов, зоне экзоконтакта, характере и распределении оруденения.

Кайгородова Е. Н., Чугаев А. В., Сидорова Н. В.
ИГЕМ РАН, г. Москва

МЕЗОТЕРМАЛЬНЫЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА С «НЕВИДИМЫМ» ЗОЛОТОМ: ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА

В центральной части Большого Кавказа установлен ряд мезотермальных золоторудных объектов с «невидимым» Au, приуроченных к крупным разломам, являвшимся проницаемыми зонами для растворов, мобилизация которых была связана с позднекиммерийским орогенезом после закрытия океана Палеотетис. Основными источниками рудного свинца, по данным Pb-Pb изотопии, являлись породы PZ фундамента, а также осадочные породы районов.

Ключевые слова: «невидимое» золото, мезотермальные месторождения, Большой Кавказ.

На сегодняшний день на Северном Кавказе поставлены на баланс два золоторудных месторождения – это Радужное и им. Б. К. Михайлова (Гитче-Тырныаузское) в КБР. Кроме того, добыча золота ведется на Урупском месторождении (КЧР), где Au является попутным компонентом в медных рудах. Расположение месторождений и рудопроявлений золота в пределах Большого Кавказа (БК) подчинено общим тектоническим и геологическим закономерностям региона. Территория складчатой области Большого Кавказа располагается между двумя крупными консолидированными структурами: на севере это эпигерцинская Скифская плита, с юга – Закавказский массив (или Грузинская глыба). Согласно геотектонической схеме региона [1], для палеозойского кристаллического фундамента здесь выделены три крупных тектонических зоны, с севера на юг: Бечасынская, Передового хребта и Главного хребта. Наиболее древние (герцинские) тектонические покровы и надвиги зафиксированы в современных структурах поднятий Главного и Передового хребтов [4]. В результате мезозойской коллизии Скифской и Закавказской плит широко проявились надвиговые движения, которые возобновились в альпийском тектоническом цикле и в значительной степени усложнили общую тектоническую структуру региона.

В пределах Бечасынской зоны в метаморфических образованиях палеозоя расположено Мушто-Малкинское рудное поле, в зоне Передового хребта – ряд колчеданных месторождений (Урупское, Худесское и др.) с попутным золотом, а также связанное с альпийским циклом развития и кислым магматизмом месторождение им. Б. К. Михайлова. В зоне Главного хребта расположено комплексное Bi-Au-W-As проявление Чегет-Джора, приуроченное к апикальной части палеозойской интрузии гранитоидов. В зоне Северного склона БК расположены месторождение Радужное и проявление Ковалевское, связанные с завершающими импульсами мезозойской вулканической активности в пределах двух ареалов – хуламского комплекса в КБР и джалпакского комплекса в КЧР.

В районе зоны Главного Кавказского разлома, а также оперяющих его крупных разломов выявлен ряд золоторудных проявлений, для которых характерны следующие признаки: отсут-

ствие в рудах видимого Au, золото-сульфидно-кварцевый жильный тип руд, невысокие (в среднем 1–2 г/т) содержания Au в рудах при крайне неравномерном его распределении, локализация рудных тел в терригенно-осадочных породах, а также отсутствие прямых геологических свидетельств генетической связи золоторудной минерализации с магматизмом. К таким проявлениям относятся: Куруш-Мазинское рудное поле (Дагестан), золоторудные объекты Горной Осетии (Байкомское, Восточно-Хилакское рудные поля) и Уллу-Чиранское рудное поле (КБР).

Куруш-Мазинское рудное поле (КМРП) расположено в области пересечения глубинных разломов. В геологическом строении рудного поля принимают участие осадочные отложения тоар-ааленского терригенного комплекса зоны Северного склона БК. Магматические образования представлены дайками восточного окончания Кахетинского диабазового пояса. В КМРП известно несколько малоизученных рудопроявлений (Сельдынское, Скалистое, Сумрайкамское, Мукеркамское, Перевальное, Вахчахчайское, Ихирское и др.). Содержания золота и серебра в рудах этих рудопроявлений варьируют в диапазонах 0,1–9 г/т и 0,1–83 г/т соответственно. Руды в основном сложены пиритом, галенитом, сфалеритом, а также халькопиритом, пирротином, марказитом, гематитом и минералами группы блеклых руд. По данным ЛА-ИСП-МС анализа, пирит является основным носителем золота, содержания которого в различных генерациях пирита варьируют от 0,003 до 55 г/т.

Руды Байкомской и Восточно-Хилакской площадей относятся к золото-сульфидно-кварцевой формации. Рудные тела имеют линейно-вытянутую форму, они приурочены к зонам крупных разломов (Льядонский для Восточно-Хилакской площади и Нарские разломы – для Байкомской площади), а также к оперяющим их структурам. Установлено, что главными рудными минералами Байкомской площади являются пирит, арсенопирит и мышьяковистый пирит. «Невидимое» золото обнаружено в арсенопирите и мышьяковистом пирите. В пирите, по данным РСМА, содержание Au достигает 70 г/т, а в арсенопирите – 100 г/т. Температуры образования руд Байкомской площади, по данным минеральных геотермометров, составляют 280–330 °С, что подтверждает принадлежность золоторудной минерализации к объектам мезотермального типа. Руды Восточно-Хилакской площади также могут быть отнесены к мезотермальному

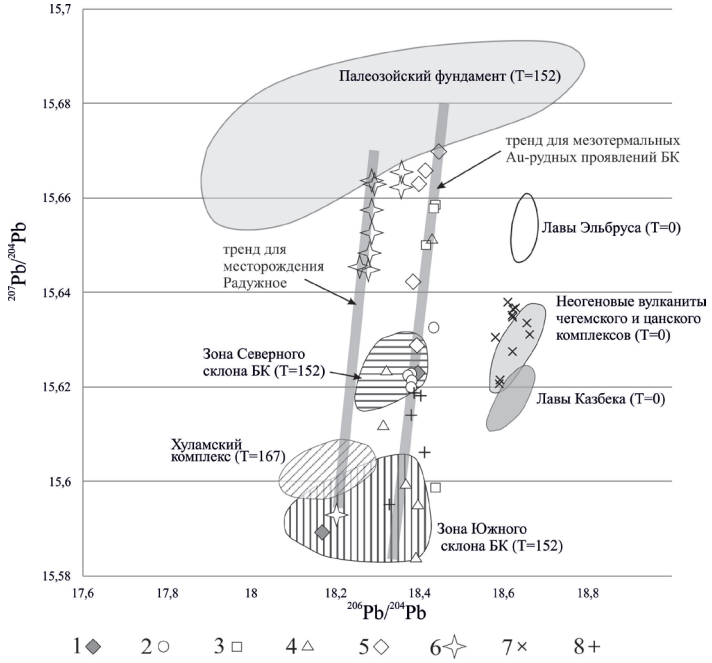


Рисунок. Pb-Pb изотопная диаграмма, на которой приведено сопоставление результатов изучения изотопного состава Pb в рудах различных рудопроявлений золота Большого Кавказа и вмещающих их породах:

1 – фиагдонский и казбекский комплексы, нижняя юра; 2 – руды КМРП; 3 – руды Байкомской площади; 4 – руды Хилакской площади; 5 – руды Уллу-Чиранского рудного поля; 6 – руды месторождения Радужное; 7 – руды проявлений Танадон и Кароби (данные из [3]); 8 – руды проявления Девдорак (данные из [2])

типу золото-сульфидно-кварцевой формации. Согласно данным минеральных геотермометров, температуры образования руд Восточно-Хилакской площади составляют 270–360 °С. С помощью прецизионных методов установлено, что золото находится также в «невидимой» форме. При этом основным концентратором Au является арсенопирит.

Уллу-Чиранское рудное поле расположено на северном склоне Главного Кавказского хребта в верховьях Хуламо-Безенгийского ущелья, оно приурочено к зоне продольной Штулу-Харесской депрессии, разделяющей Шхарский и Балкаро-Дигорский выступы зоны Главного хребта. Руды сложены халькопиритом, пиритом, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом. Жильные минералы представлены кварцем и мелкочешуйчатым мусковитом. Жилы с золоторудной минерализацией секут контакт юрских сланцев и пород палеозойского фундамента и слабо затронуты пострудной тектоникой. По данным ICP-MS было определено, что содержание золота в рудах достигает 4 г/т. В аншлифах видимого золота обнаружено не было; с помощью метода LA-ICP-MS было установлено, что пирит характеризуется низкими содержаниями золота 0,04–1,3 г/т, в то время как содержание Au в арсенопирите достигает 140 г/т при крайне неравномерном его распределении по зонам роста кристаллов.

Источники вещества и возраст оруденения

С помощью высокоточного метода MC-ICP-MS был изучен изотопный состав Pb в сульфидах и вмещающих оруденение породах описанных выше рудопроявлений. Измеренные значения изотопных отношений свинца были пересчитаны на 152 млн лет, поскольку этому времени отвечает позднекиммерийский орогенез в пределах Большого Кавказа, с которым предположительно связано образование изученных объектов. Полученные результаты приведены на рисунке.

Было установлено, что осадочно-диагенетический пирит (фрамбоиды и конкреции) рудопроявлений попадает в поля осадочных пород района (на рисунке – Зона Северного склона БК и Зона Южного склона БК). Для Байкомской площади это зона Южного склона, для Восточно-Хилакской площади и КМРП – зоны Северного склона. Точки сульфидов из рудных жил ложатся на тренд, объединяющий поле изотопного состава свинца осадочных пород чехла и поля фундамента БК. В восточной части БК фундамент не установлен геофизическими методами, а изотопные значения свинца для рудных жил Дагестана (КМРП) лежат исключительно в поле осадочных пород. Для рудных объектов Горной Осетии наблюдается разделение на два кластера: часть рудного свинца имеет источником породы палеозойского фундамента БК, тогда как другая часть была заимствована флюидом из осадочных пород. При этом магматические породы фиагдонского комплекса, распространенные в пределах Восточно-Хилакской площади, не принимали участия в рудообразующих процессах. Аналогичную ситуацию можно наблюдать и для Девдоракского месторождения. Максимальное приближение и попадание в поле палеозойских пород имеют руды Уллу-Чиранского рудного поля. Наблюдаемые соотношения изотопного состава свинца руд и вмещающих пород свидетельствуют о том, что молодые вулканические породы чегемского комплекса, наблюдающиеся в западной части рудного поля, не принимали участия в образовании рудного поля. При этом наблюдается четкий тренд (см. рисунок) между черными сланцами Штулу-Харесской депрессии и палеозойским фундаментом, на который ложатся значения изотопного состава Pb сульфидов.

Для сравнения на рисунке также приведены Pb-Pb данные по сульфидам эпитермального золоторудного месторождения Радужное и хуламского комплекса, с которым генетически связаны руды. Можно видеть, что галенит месторождения образует отдельный тренд, идущий от палеозойского фундамента к породам хуламского комплекса (данные пересчитаны на 167 млн лет – время внедрения магматических пород). Также были вынесены данные по Танадонскому месторождению (РСО-Алания) и молодым магматическим породам района: как видно на графике, месторождение связано с цанским комплексом и значительно отличается по изотопному составу Pb от изучаемых мезотермальных объектов.

Заключение. В центральной части БК установлен ряд объектов, которые могут быть отнесены к мезотермальному типу. Их образование произошло около 160–150 млн лет назад. Основными источниками рудного Pb являлись породы палеозойского фундамента БК, а также осадочные породы районов, в пределах которых расположены изученные рудопроявления. Для Куруш-Мазинского рудного поля источником послужили осадочные породы юры. Все объекты

приурочены к крупным разломам, являвшимся проницаемыми зонами для рудоносных растворов. Мобилизация рудоносных растворов в центральной части БК связана с позднекиммерийским орогенезом после закрытия океана Палеотетис.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГЕМ РАН № FMMN-2024-0021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов Ю. Г., Демина Л. И., Копп М. Л., Короновский Н. В., Леонов М. Г., Ломизе М. Г., Панов Д. И., Сомин М. Л., Тучкова М. И. Большой Кавказ в Альпийскую эпоху. – М. : ГЕОС, 2007. – 368 с.
2. Лебедев В. А., Чугаев А. В., Вашакидзе Г. Т., Парфенов А. В. Этапы формирования и источники рудного вещества Девдоракского медного месторождения (Казбекский вулканический центр, Большой Кавказ) // Геология рудных месторождений. – 2016. – Т. 58, № 6. – С. 522–543.
3. Лебедев В. А., Чугаев А. В., Парфенов А. В. Возраст и генезис золото-сульфидной минерализации на Танадонском месторождении (Большой Кавказ, Республика Северная Осетия – Алания) // Геология рудных месторождений. – 2018. – Т. 60, № 4. –С. 371–391.
4. Шемпелев А. Г., Заалишвили В. Б., Кухмазов С. У. Глубинное строение западной части Центрального Кавказа по геофизическим данным // Геотектоника. – 2017. – № 5. – С. 20–29.

Калашников А. О. [1], Никулин И. И. [2] (kalashnikov@ksc.ru),
Любчич В. А. [3], Кадыров Р. И. [4], Светлицкая Т. В. [5]
[1] ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты; МАУ, г. Мурманск; [2] ИГЕМ РАН, г. Москва;
[3] ПГИ РАН, г. Мурманск; [4] КФУ, г. Казань; [5] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

ЛОКАЛЬНЫЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ И ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ РУДНЫХ СИСТЕМАХ

Разработаны метод локального фрактального и вейвлет-анализа геофизических полей для общих поисков месторождений и способ комплексирования результатов анализа различных полей. Подход опробован в пределах Быстринского золото-полиметаллического эпитермального рудного узла в Забайкалье. Предложен способ оценки эффективности поисковых работ как произведение сокращения поисковой площади и процента охвата известных рудных объектов. В соответствии с этой оценкой разработанный метод анализа геофизических полей показал эффективность 79 %.

Ключевые слова: общие поиски; геофизические поля; эпитермальные рудные системы; Забайкалье.

Разработан метод локального фрактального и вейвлет-анализа геофизических полей для общих поисков месторождений. Суть локального фрактального метода состоит в разбиении исследуемой территории регулярной сеткой на равные элементарные участки, определении фрактальной размерности геофизического поля для каждого элементарного участка и затем интерполяции значений на всю территорию. Суть вейвлет-анализа состоит в определении сингулярностей геофизических полей, после чего оконтуриваются участки с наибольшей плотностью сингулярностей.

Предложен способ комплексирования результатов этих видов анализа в русле ансамблевого подхода. Подход апробирован в пределах Быстринского золото-полиметаллического эпитермального рудного узла (Забайкалье). В результате сокращение поисковой площади составило 79 % при 100 % покрытии известных месторождений, при этом был выделен один перспективный участок, на котором неизвестны месторождения и рудопроявления (рисунок). Описан способ количественной оценки эффективности прогнозно-поисковых работ. С помощью этого способа было оценено, что комплексирование результатов локального фрактального и вейвлет-анализа

Таблица. Оценка эффективности прогноза локального фрактального и вейвлет-анализа различных геофизических данных

Геофизические данные	Перспективные площади, % (ΣS_i)	Охват месторождений, %	Охват рудопроявлений, %	Эффективность прогноза
Фрактальный анализ				
Магниторазведка	13,8	78	30	65
Спектрометрия	11,9	22	25	20
Электроразведка	12,6	33	15	29
Вейвлет-анализ				
Магниторазведка	11,6	56	23	49
Спектрометрия	11,6	44	30	39
Электроразведка	12,1	22	23	20
Итоговые участки	20,7	89 (+11 частично)	43	79

трех геофизических полей позволило увеличить эффективность до четырех раз по сравнению с анализом отдельных полей одним методом (таблица). Также данный подход может применяться для анализа геохимических полей. Разработанный подход готов к практическому применению для общих поисков рудных месторождений магматогенного генезиса детального–локального масштабов в различных геологических обстановках [1].

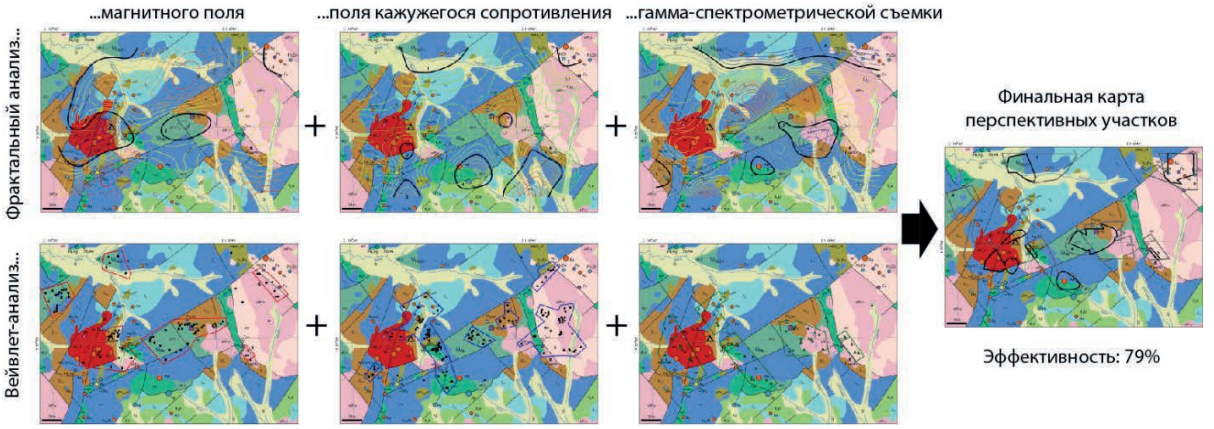


Рисунок. Результаты обработки трех геофизических полей Быстринского Cu-Au-Fe рудного узла методами локального фрактального и вейвлет-анализа. Черные линии на картах – выделенные перспективные площади. Справа итоговая карта перспективных участков [1]

Эффективность применяемых методов определена через сокращение площади и доли охвата месторождений выделенными площадями:

$Ef = (100 - \Sigma Si) * C / 100,$

где Si – перспективная площадь i в процентах от всей изучаемой территории, C – процент месторождений, охваченных перспективными площадями. Это соответствует определению эффективности как отношения качества к цене [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kalashnikov A. O., Nikulin I. I., Lyubchich V. A., Svetlitskaya T. V., Kadyrov R. I. Local fractal and wavelet analysis of aerogeophysical data: An integrated approach in target generation of Cu-Au-Fe skarn and gold-polymetallic epithermal porphyry-related systems in eastern Transbaikalia, Russia // Ore Geology Reviews. – 2024. – 170. – P. 106112. – https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2024.106112
2. Sickles R. C., Zelenyuk V. Measurement of Productivity and Efficiency. – New York: Cambridge University Press, 2019. – 630 p.

Калита В. А. (kalita@tsnigri.ru), Алексеев Я. В. (alekseev@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПРОБЛЕМА ОСВОЕНИЯ ЗАПАСОВ РОССИЙСКИХ УПОРНЫХ РУД ЗОЛОТА

Значение решения проблемы освоения российских запасов упорных руд растет год от года. Одним из главных методов передела таких руд является автоклавный. В России существуют мощности данного типа, но они в скором времени не смогут удовлетворить потребности золотодобывающей отрасли.

Ключевые слова: упорные руды, методы переработки, автоклав, золотодобывающая отрасль, БРИКС.

Текущий процесс постепенного истощения запасов легкообогатимых руд в мировой золотодобыче объективно приводит к растущему использованию труднообогатимых, так называемых «упорных» руд (refractory ore) и руд двойной упорности, что обеспечивает дальнейшее поступательное развитие отрасли. Согласно экспертным оценкам, доля упорных руд, вовлекаемых в отработку, в настоящее время уже достаточно высока и составляет порядка 30 % от мировых запасов всего золоторудного сырья.

Существует несколько способов переработки упорных руд, но автоклавный метод на данный момент является ведущим. На долю переработки упорных руд с использованием автоклавов (POX, Pressure Oxidation) приходится порядка 18 % от всего добываемого в мире золоторудного сырья, тогда как на другие основные методы переработки упорных руд – сверхтонкое измельчение, бактериальное выщелачивание, окислительный обжиг – от 3 до 7 % [5]. Главные преимущества автоклавной технологии перед другими – высокие показатели извлечения золота, а также низкие экологические риски. В качестве сырья при этом могут использоваться как бедные золотосодержащие сульфидные руды, так и флотационные концентраты с повышенным содержанием золота и серебра. С помощью автоклавного окисления можно перерабатывать все виды упорных концентратов: сульфидные, мышьяковистые, карбонатные.

Следует отметить, что согласно лабораторным исследованиям «Иргиредмета» процесс автоклавного окисления полиметаллических золотосодержащих концентратов позволяет попутно извлекать в товарную продукцию цветные металлы, в том числе медь и цинк.

В России разведан целый ряд месторождений, содержащих упорные руды, разработка которых целесообразна автоклавным способом. К ним относятся в том числе месторождения Дяппе (Хабаровский край; ООО «Дяппе»), Верхне-Алиинское (Забайкальский край; ЗАО ЗК «Омчак»)

Таблица. Загрузка мощностей гидрометаллургических комбинатов России

Комбинат (компания)	**Мощность по переработке концентрата, тыс. т (в год)**	**Свободные мощности (оценка), тыс. т (в год)**	**Примечание**
Покровский АГК (ГК «Атлас Майнинг» / УГМК)	до 500	до 50	Зависимость от сторонних поставщиков не более 10 %
Амурский ГМК 1 (АО «Полиметалл» / ГК «Мангазея»)	225	около 55	Следует ожидать сокращение свободных мощностей после завершения реконструкции на месторождении Майское и роста поставок с Ведугинского
Амурский ГМК 2 (АО «Полиметалл» / ГК «Мангазея»)	250–300	до 60	В проект заложен 20 %-й резерв по производительности для переработки как стороннего сырья, так и собственного, которое может появиться в процессе ГРР
Итого (max):	**до 1025**	**до 165**	Предстоит дальнейшее сокращение свободных мощностей при ожидаемом росте текущих поставок

и Уконикское (Забайкальский край; ООО «Хорт- В»). В ближайшей перспективе российской ГК «Мангазея» потребуется обеспечить переработку концентратов упорных руд крупных по запасам месторождений Итакинское, Кочковское и Тасеевское (Забайкальский край). Руководство «Мангазеи» в 2023 г. информировало о планах по созданию гидрометаллургического комбината для переработки упорных руд в Забайкалье, однако отмечалось, что западные санкции осложняют реализацию проекта [1].

Состоявшаяся в 2024 г. покупка «Мангазеей» 100 % акций компании «Полиметалл» (владельца двух российских автоклавных ГМК) должна обеспечить переработку концентратов упорных руд Итакинского, Кочковского и Тасеевского месторождений. Однако без дальнейшего наращивания автоклавных производственных мощностей рост объемов переработки, по-видимому, может быть затруднен, так как объем свободных мощностей на каждом из российских ГМК сравнительно невелик (таблица). Кроме того, неясно, где будут перерабатываться концентраты с других вышеназванных месторождений, список которых еще, несомненно, продолжит расти.

При этом следует отметить, что вывоз золоторудных концентратов в существенных масштабах на переработку различным потребителям за рубеж будет нести определенные риски и финансовые издержки (рост комиссионных платежей, ужесточение экологических требований и др.), а также помешает достижению технологической независимости.

Первый российский автоклав для переработки упорного золотосодержащего сырья ввела в строй в г. Амурск компания «Полиметалл» в 2012 г. В настоящее время в России таких производств уже три. По прогнозам специалистов компании АО «Полиметалл», занимающей ныне второе место по объему производства золота в России, в ближайшее пятилетие более 40 % сырья компании будут составлять руды двойной упорности. Такие руды полностью будут перерабатываться на имеющем соответствующее оборудование АГМК 2, автоклав которого рассчитан не только на вскрытие (окисление) упорной руды, но и на удаление углерода для преодоления второй упорности.

В ходе конференции «Золото и технологии – 2024» были высказаны мнения, с одной стороны, что автоклавное оборудование, которое поставляли компании из «недружественных стран», сейчас недоступно и России стоит ограничиться использованием уже имеющихся в наличии автоклавов, сосредоточившись на поисках других методов переработки упорного сырья, а с другой стороны – что «усложнение структуры руд подталкивает нас к развитию именно автоклавных технологий» [2].

Судя по табличным данным, свободные мощности существующих в России РОХ-производств весьма ограничены и, вероятно, не смогут удовлетворить весь потенциальный рост потребности в них уже в ближайшие годы. При этом известно, в частности, что на Покровском АГК существует возможность установки дополнительно двух автоклавов, помимо четырех ныне действующих [3].

Если взять для ориентировочной оценки цифру выхода флотационного концентрата 3,7 %, как при переработке руд на первой очереди ОФ Маломырского рудника (ключевой поставщик упорного сырья на Покровский АГК), то только для одного Тасеевского месторождения, с планируемой производственной мощностью 2 млн т руды в год, годовая выработка концентрата составит порядка 74 тыс. т, – а это обеспечит загрузку уже почти половины свободных российских мощностей.

Участие в решении данной проблемы может представлять определенный интерес для стран межгосударственного объединения БРИКС. Следует отметить, что Китай и Россия по итогам 2023 г. занимали соответственно первое и второе места в мировой золотодобыче. В число 15 главных продуцентов золота входили также ЮАР и Бразилия [4]. Индия является одним из крупнейших мировых рынков сбыта золота. При этом страны – члены БРИКС не имеют какого-либо крупного производства по выпуску автоклавного оборудования на своей территории. К тому же, когда крупногабаритные автоклавы, производимые в Западной Европе, требуется доставить, например, на Дальний Восток, это вызывает существенный рост затрат на логистику.

Таким образом, в условиях турбулентности мировой политико-экономической ситуации столь мощному объединению, как БРИКС, обладающему весьма значимыми золоторудными ре-

сурсами, очевидно, целесообразно было бы иметь собственное производство автоклавной техники, востребованность которой будет в перспективе только расти. Проблему финансирования проекта по ее созданию совместными усилиями было бы легче решить.

Выводы:

1. Промедление в решении вопроса обеспеченности дополнительным автоклавным оборудованием уже в ближайшей перспективе выразится в ощутимом сдерживании развития российской золотодобывающей отрасли.

2. Выходом из создавшейся ситуации, с учетом значительных финансовых затрат и необходимости всестороннего использования существующих технологических наработок, может явиться создание крупного совместного предприятия для производства соответствующей техники в структуре БРИКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вестник золотопромышленника (спецвыпуск, май 2024 г.). Российское золото.
2. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: http://wp.tsnigri.ru/TSNIGRI_SUBSCRIBES/vestnik/gold20240507.pdf (дата обращения: 28.11.2024).
3. Конференция «Золото и технологии – 2024»: о переработке упорных руд. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://dprom.online/metalls/konferentsiya-zoloto-i-tehnologii-2024-o-pererabotke-upornyh-rud/ (дата обращения: 29.11.2024).
4. Покровский АГК. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://petropavlovskplc.com/operation/покровскийагк/ (дата обращения: 27.11.2024).
5. Список 15 ведущих золотодобывающих стран мира. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.8cfd5605-674ec043-cc648485-74722d776562/https/www.geeksforgeeks.org/list-of-gold-producing-countries-in-the-world/ (дата обращения: 3.12.2024).
6. Такое упорное золото. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://sdelanounas.ru/blogs/115567/?ysclid=m3zpeozkv0534376586 (дата обращения: 27.11.2024).

Калмыков Б. А. [1] (kalmykov@aerogeo.ru), Бабаянц И. П. [1] (iggi@aerogeo.ru), Трусов А. А. [1] (trusov@aerogeo.ru), Козлов Г. А. [2] (Gleb98-210@yandex.ru)

[1] АО «ГНПП "Аэрогеофизика"», г. Москва;

[2] ФГБУ «Институт Карпинского», г. Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЧАРО-СИНСКОЙ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ В СВЯЗИ С АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ

По результатам геологической интерпретации материалов комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1 : 25 000 выявлены особенности внутренней структуры Чаро-Синской зоны разломов. Откартированы системы разрывных нарушений, залеченных дайками долеритов и сиенитов, а также нарушения сдвигового типа, являющиеся благоприятными для локализации кимберлитовых тел. По данным гравиразведки откартирован фрагмент грабенообразной структуры. С учетом шлихо-минералогических данных высказано предположение о перспективности алмазоносности северной части площади.

Ключевые слова: зона разломов, разрывные нарушения, дайки базитов, алмазоносность.

Чаро-Синская зона разломов приурочена к области сочленения Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы и расположена на юго-восточном плече Вилюйского палеорифта. По мнению ряда исследователей, данная зона является геологическим аналогом Вилюйско-Мархинской зоны разломов, расположенной на северо-западном плече палеорифта и контролирующей распределение Мирнинского, Сюльдюкарского и Накынского кимберлитовых полей [1–4]. Структурное подобие данных зон разломов и идентичность связанных с ними магматических образований позволяют считать Чаро-Синскую зону разломов перспективной

на обнаружение проявлений кимберлитового магматизма среднепалеозойского возраста и связанных с ними месторождений алмазов.

В период 2023–2024 гг. АО «ГНПП "Аэрогеофизика"» по договору с ФГБУ «Институт Карпинского» проводило комплексную аэрогеофизическую съемку масштаба 1 : 25 000 листов P-51-XXVI–XXVII, территорию которых пересекает Чаро-Синская зона разломов. В состав геофизического комплекса входили: аэрогравиразведка, аэромагниторазведка, аэроэлектроразведка ДИП и аэрогамма-спектрометрия. Геологическая интерпретация данных материалов легла в основу изучения деталей строения участка Чаро-Синской зоны разломов в пределах территории указанных листов. Сведения о признаках алмазоносности данной территории и прилегающих к ней областей получены в результате полевых работ, проводимых геологами ФГБУ «Институт Карпинского» и НИГП АК «АЛРОСА» ПАО (ВГРЭ АК «АЛРОСА») [4].

В пределах листов P-51-XXVI–XXVII с учетом априорных данных были выделены и откартированы осадочные и интрузивные вещественно-петрофизические комплексы, относящиеся к палеозойскому, мезозойскому и кайнозойскому структурным этажам. Выделенные комплексы характеризуются разными формами отражения в геофизических полях и моделях, а также различной степенью контрастности проявления, что определяет возможности их картирования и достоверность геологической идентификации.

Результаты моделирования гравиразведочных и магниторазведочных данных позволили выявить элементы структуры кристаллического фундамента. Выделены системы разломов северо-восточного и северо-западного простирания, ограничивающие блоки метаморфических комплексов. Часть данных разломов телескопически проявляются в структурах осадочного чехла в виде систем разрывных нарушений разного порядка и наследуются дайками среднепалеозойского долеритового комплекса.

Чаро-Синская зона разломов пересекает площадь работ в северо-восточном направлении. Структура зоны отчетливо проявляется в материалах магниторазведки благодаря приуроченности к ее разрывам многочисленных даек базитов, отражающихся системами линейных локальных магнитных аномалий разной интенсивности. Внутреннее строение Чаро-Синской зоны проявляется в трансформантах магнитного поля. По взаимоотношениям линейных магнитных аномалий можно выделить три разновозрастных системы даек: наиболее древние дайки субмеридионального простирания рассекаются системами даек северо-восточного простирания, которые, в свою очередь, разделяются на две возрастные группы, дислоцирующие одна другую. Даечные тела северо-восточного простирания распределены неравномерно: они группируются в зоны сближенных кулисообразных тел, часть даек выклинивается по простиранию. В магнитном поле выражены признаки ундуляции апикальных частей даек. Линейные магнитные аномалии, фиксирующие положение даечных тел, смещаются и прерываются по разрывным нарушениям северо-западного, реже субширотного простирания, группирующимся в непротяженные системы. Данные нарушения имеют сдвиговую природу и могут являться благоприятными для локализации кимберлитовых тел и золоторудных залежей.

Основная часть даек сложена долеритами и габбро-долеритами, поздние фазы магматических образований представлены сиенитами и сиенит-порфирами. В южной части площади проявлены субизометричные магнитные аномалии, предположительно связанные с погребенными штоками сиенитов. Интрузивные образования относятся к чаро-синскому среднепалеозойскому долеритовому комплексу. Среди магматических образований впервые выявлены туфобрекчии основного состава – образования, часто встречающиеся в ассоциации с полями кимберлитового магматизма в пределах Якутской алмазоносной провинции, являющиеся закономерными членами парагенетического ряда с дайковыми телами базитов и кимберлитами.

В северо-западной части площади по материалам гравиразведки откартирован фрагмент грабенообразной структуры северо-восточного простирания, выделенной ранее по материалам сейсморазведочных работ. Анализ трансформант гравиметрического поля позволил выявить детали строения грабена. Грабен имеет ступенчатый характер вертикальных перемещений и дислоцирован по системе сдвиговых нарушений северо-западного простирания. Характерно, что данные нарушения корреспондируются с аналогичными дислокациями, выделенными по данным магниторазведки, что повышает достоверность их выделения. Ориентировка структур

грабена соответствует простиранию Чаро-Синской зоны разломов, что свидетельствует об их парагенетической связи.

Данному грабену придается кимберлитоконтролирующее значение, а сдвиговым дислокациям северо-западного простирания – кимберлитолокализующее. По отношению к сейсморазведочным данным материалы аэрогравиразведки позволили скорректировать пространственное положение данного грабена и откартировать детали его внутреннего строения, что подтверждает целесообразность применения аэрогравиразведки для картирования данных структур на сопредельных территориях.

В материалах электроразведки проявляются разрывные нарушения двух типов. Первый тип нарушений выражается в резкой смене уровня поля при контактировании блоков с различными электрическими свойствами. Нарушения данного типа проявлены в северо-западной части площади в виде прямолинейных линеаментов северо-восточного простирания, по которым происходит резкая смена уровня электрического поля. Второй тип нарушений проявляется локальными линейными аномалиями повышенной электропроводности, связанными с ослабленными зонами дробления, по которым развиваются корообразовательные процессы и, возможно, наложенная рудная минерализация. Данные зоны дробления развиты преимущественно в областях выходов кембрийских пород. Проявлены две системы дислокаций, согласующихся со структурным планом площади: северо-восточного простирания и северо-западного простирания.

Результаты шлихо-минералогического опробования свидетельствуют о присутствии индикаторных минералов кимберлитов в аллювии рек Мархa и Намыльдилах и их притоков. Характер площадного распределения кимберлитовых минералов позволяет предполагать их поступление с областей, расположенных в северной части рассматриваемой площади. Структурные построения подтверждают перспективность данных территорий на обнаружение кимберлитовых тел. Выделены локальные магнитные аномалии для проведения детализационных геолого-геофизических работ.

Материалы среднемасштабных аэромагнитных съемок, проведенных вдоль юго-западного борта Вилюйской синеклизы, свидетельствуют о развитии на данной территории серии тектономагматических зон, аналогичных кимберлитоконтролирующей Вилюйско-Мархинской зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузев В. Е., Козлов Г. А., Терехов А. В. [и др.] Чаро-Синский дайковый пояс (среднее течение р. Лена): локальный U-Pb возраст циркона и петролого-геохимические особенности // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 87. – С. 28–41.
2. Киселев А. И., Константинов К. М., Ярмолюк В. В., Иванов А. В. Чаро-Синский дайковый рой в структуре среднепалеозойской рифтовой системы // Доклады АН. – 2016. – Т. 471, № 2. – С. 209–213.
3. Проценко Е. В., Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 14–23.
4. Толстов А. В., Максимкина Л. В., Колесник А. Ю. и др. Перспективы алмазоносности Чаро-Синской зоны разломов // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 46–58.

Канимбуе Л. С. (ludmilacanhimbue@yandex.ru), Ватрушкина Е. В. (evat_095@mail.ru)
ФГБУН ГИН РАН, г. Москва

СТАДИЙНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В ЗОЛОТОРУДНОМ ПОЛЕ УПРЯМОЕ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА)

Золоторудное поле Упрямое расположено на Западной Чукотке и входит в состав Нетпнейвеемского олово-вольфрамово-золоторудного района. В пределах рудного поля развит малосульфидный золото-кварцевый тип минерализации. Рудная минерализация представлена в основном пиритом и арсенопиритом, с которыми связано тонкодисперсное золото. Особенности

строения рудных тел, состава вторичных образований и минеральных ассоциаций в них свидетельствуют о многостадийности дислокационно-метаморфических изменений, гидротермально-метасоматических процессов и рудогенеза.

Ключевые слова: Западная Чукотка, Нетпнейвеемский рудный район, рудное поле Упрямое, малосульфидный золото-кварцевый тип, сульфидизация.

Золоторудное поле Упрямое расположено в пределах Гремучинского рудного узла Нетпнейвеемского олово-вольфрамово-золоторудного района Западной Чукотки, на левобережье руч. Упрямый, правого притока р. Гремучая в ее среднем течении. В региональном плане рудное поле приурочено к Чаунскому району. Вмещающими породами являются верхнеюрско-нижнемеловые терригенные отложения нетпнейвеемской свиты, представленные сероцветными алевролитами с прослоями тонко-, мелкозернистых песчаников, в которых интрудированы дайки диоритового состава позднемелового ичувеемского комплекса [2].

По данным предшественников, рудное поле находится в ядерной части кольцевой структуры, ограничивающей область развития гидротермально-метасоматических изменений и россыпей [1]. Предполагается, что рудоконтролирующими для рудного поля являются близширотные зоны сбросо-сдвигов системы Гремучинского разлома, а рудовмещающей служит полого (20–40°) падающая в северо-западном направлении зона взбросов и надвигов [Росгеолфонд. Геологический отчет № 5934, 1995. Л. 29–30]. Тектонические нарушения выражены зонами трещиноватости, смятия с жильно-прожилковым материалом, брекчиями с кварцевым цементом и отчетливо фиксируются электроразведкой в виде многочисленных линейных аномалий повышенного сопротивления.

В пределах рудного поля Упрямое широко проявлены гидротермально-метасоматические процессы. Разрывные нарушения трассируются следующими зонами дислокационно-метаморфических образований [Росгеолфонд. Геологический отчет № 2996, 1974. Л. 310–313]:

1. зоны брекчий по песчаникам и алевролитам нетпнейвеемской свиты с тонкокристаллическим кварцем в цементе и незначительной минерализацией пирита;

2. зоны милонитов с кварцевыми жилами, которые представляют собой рудные тела.

В результате изучения минеральных ассоциаций и морфологических свойств минералов была выявлена следующая последовательность минералообразования в рудном поле Упрямое.

Первая стадия связана с образованием пиритовой вкрапленности в алевролитах и песчаниках нетпнейвеемской свиты. Пирит сингенетичен вмещающим породам, формирует кристаллы кубического габитуса с размером индивидов от 1 × 1 до 5 × 5 мм.

Вторая стадия представлена сульфидными линзами и прослоями в алевролитах. На данном этапе происходили активные метаморфические процессы, в результате которых пирит первой стадии был перекристаллизован и преобразован в сильнотрещиноватые кристаллически-зернистые агрегаты. В среднем сульфидные линзы достигают размера 1–5 см в длину и 0,5–1 см в ширину, а мощность сульфидных прослоев в среднем может составлять 1–2 см.

В третью стадию выделены будинизированные сульфидные гнезда и прожилки преимущественно пиритового состава, замещающие образования второй стадии в их краевых частях. В прожилках наблюдается заполнение межбудинного пространства сульфидно-кварцевыми просечками, мощность прожилков нередко достигает 5–6 см.

Четвертая стадия являлась предрудной и сопровождалась внедрением хлорит-карбонат-кварцевых гидротермальных жил с убогой сульфидной минерализацией. Жильным материалом является крупнокристаллический молочно-белый, полупрозрачный кварц (70–80 %), кальцит (от 5 до 20 %), тонкодисперсный хлорит. Сульфидные минералы представлены единичными зернами пирита, халькопирита, галенита, арсенопирита. Протяженность жильных образований до 100 м, а их мощность варьирует в пределах 0,1–1,5 м.

На пятой стадии внедрились карбонат-кварцевые, сульфидно-кварцевые жилы и прожилки, продуктивные для золото-кварцевого оруденения. Строение жил сложное, их мощность колеблется от 1 до 10 м, протяженность достигает 700–800 м. Жилы сложены молочно-белым кварцем, карбонатом кремового цвета, серицитом.

Основными рудными минералами являются пирит и арсенопирит, с которыми связано тонкодисперсное золото. Арсенопирит образует вкрапленность ромбовидных, удлиненно-приз-

матических кристаллов размером до 0,4 мм, а также ксеноморфные выделения, срастания и цепочки длиной до 1 см. Пирит формирует кристаллы кубического габитуса размером до 0,2 мм, мелкую вкрапленность, а также ксеноморфные и прожилковые включения в арсенопирите. Самородное золото образует микронные включения округлой, каплевидной формы в генерациях пирита и арсенопирита. Предшественниками также отмечалось присутствие золота в «книжном» кварце в виде тончайших условных полосок вдоль включений плоек алевролитов. Кроме того, в рудах встречается галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды в виде мелких включений в основных сульфидах.

На заключительной, шестой стадии сформировались пострудные хлорит-карбонат-кварцевые гидротермальные образования. В них развита минеральная ассоциация, представленная гипидиоморфными, ксеноморфными выделениями сфалерита, галенита, блеклых руд, пирита и эмульсионной вкрапленностью халькопирита в сфалерите.

На сегодняшний день в пределах Чукотки выделяют два вида малосульфидной золото-кварцевой минерализации. Первый вид представлен рудопроявлениями орогенного типа, связанными с тектоническими деформациями, в нем золото находится в свободной форме в кварце и в виде микровключений в сульфидных минералах, в основном в пирите и арсенопирите. Примером данного типа являются месторождения Дор и Совиное Пильхинкууль-Рывеемского золотоносного узла [4]. Второй вид включает в себя рудопроявления, генетически связанные с восстановленными гранитоидными интрузиями, в которых наблюдается ассоциация золота с висмутом, теллуром, мышьяком, сурьмой (например, месторождение Кекура Стадухинского рудно-россыпного района) [3].

Исследование золоторудной минерализации поля Упрямое показало, что рудопроявления представлены зонами кварцевых жил и прожилков с убогой сульфидной минерализацией. Небольшое количество сульфидов в рудах (не более 3–5 %), а также присутствие золота в кварце позволяет отнести оруденение к малосульфидному золото-кварцевому типу метаморфогенно-гидротермального генезиса, развивающегося в терригенных толщах и являющегося источником россыпей. Возраст оруденения остается неясным, так как взаимоотношений рудных тел с дайками позднемелового ичуваемского комплекса не отмечаются.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают, что в пределах Нетпнейвеемского олово-вольфрамово-золоторудного района Западной Чукотки представлена как золото-редкометалльная минерализация, связанная с внедрением и застыванием восстановленных гранитоидных интрузий, так и малосульфидная золото-кварцевая формация, связанная с тектоническими деформациями в терригенных толщах.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ГИН РАН, тема №FMMG-2024-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов М. А., Журавлев Г. Ф., Казьмин С. С., Малахов В. А., Шебеста Я. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Анюйско-Чаунская, лист R-59-XXXI, XXXII. Объяснительная записка. – М.; СПб., (Министерство природных ресурсов РФ, ВСЕГЕИ, Чукотприродресурсы, ЗАО Чаунское ГГП), 2000. – 103 с.
2. Ватрушкина Е. В., Тучкова М. И. Литология верхнеюрско-нижнемеловых отложений восточной части Мырговаамской и Раучуанской впадин, Западная Чукотка // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 717–739.
3. Волков А. В., Сидоров А. А. Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. – 2018. – Т. 31, № 3. – С. 84–99.
4. Ладный О. С. Геолого-структурная позиция и генезис золоторудного месторождения Совиное (Чукотка) // Отечественная геология. – 2024. – № 2. – С. 38–54.
5. Телегин Ю. М. Отчет о геологическом доизучении масштаба 1 : 50 000 на площади листов R-59-121-В-г; Г-б, г; R-59-122-А-в, г; Б-в, г; В, Г; R-59-123-В-в; R-59-133-Б-б; R-59-134-А-а, б в 1987–1992 гг. (Арынпыгляваамский ГСО). – ТФ «Чукотприродресурсы», 1995. – Кн. 1. – 218 с.

Карабаев М. С. [1] (karbayev61@mail.ru), Садиров Р. М. [2] (sadirov9966@mail.ru)
[1] УГН, г. Ташкент (Узбекистан); [2] ИГТ, г. Ташкент (Узбекистан)

ЭЙСИТОВЫЕ И АРГИЛЛИЗИТОВЫЕ ОКОЛОРУДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОР АУМИНЗА-БЕЛЬТАУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ)

В статье рассматриваются эйситовые и аргиллизитовые околорудные изменения золоторудных месторождений гор Ауминза-Белтау (Центральные Кызылкумы). Исследуется химический состав первичных пород и развивающихся по ним метасоматитов, анализируются структурные особенности и последовательность образования минералов. Определены главные процессы метасоматоза: эйситизация, происходящая за счет натриево-гидрокарбонатных растворов, и аргиллизитизация, связанная с гидрокарбонатными растворами. Установлены закономерности перераспределения породообразующих компонентов и их влияние на минералогический состав новообразований. Результаты работы имеют прикладное значение для поисковых геологоразведочных работ.

Ключевые слова: эйсит, аргиллизит, метасоматоз, золоторудные месторождения, Центральные Кызылкумы, Ауминза-Белтау, минералогический состав, химический анализ, гидротермальные изменения, поисковая геология.

Определение условий формирования метасоматических образований и руд, включая их структурные особенности, последовательность образования минералов, изучение закономерностей оруденения и, в конечном итоге, применение полученных данных в поисковых работах имеют важное значение.

Околорудно-измененные породы золоторудных месторождений гор Ауминза-Белтау и особенности их минералогического состава отражены в ряде работ [1, 3]. Главными околорудными изменениями, сопровождающими золотое оруденение в горах Ауминза-Белтау, являются березитовые и кварц-альбитовые метасоматиты, реже распространены аргиллизиты, развивающиеся по плагиоклаз-хлоритовым сланцам и метаалевролитам. Зональность их проявления, минералогическая характеристика этих изменений более подробно изложены ранее [2], ниже приводится краткая их характеристика.

Кварц-альбитовые метасоматиты на площади развиваются в виде неправильных зон, жил и прожилков, представлены альбитом, кварцем, карбонатом, реже пиритом. Аргиллизиты образуют линейно-вытянутые полосы, жильно-прожилковые образования в зонах дробления и трещиноватости пород, внутренняя их зона сложена в основном плотным хальцедоновидным кварцем, карбонатом, с меньшим количеством серицита (гидрослюда) и изометричными мелкими зернами пирита. Количество минералов и их процентное соотношение в метасоматитах в различных зонах метасоматической колонки меняются в зависимости от интенсивности протекания процесса преобразования, а состав внешних частей метасоматической колонки зависит от состава первичных пород.

Для выяснения поведения главных компонентов в процессе метасоматоза за основу взяты содержания компонентов из измененных зон и первичных пород, по которым они развиваются.

При формировании эйситов отмечаются незначительное уменьшение в зонах измененений количества кремнезема (0,6–1 %) и увеличение кальция, магния (0,5–0,7 %), а главным образом натрия и углекислоты (1,2–1,6 %). Химические анализы показывают (таблица 1), что эйситизация является щелочным процессом [4, 5], который производится гидрокарбонатно-натриевыми растворами. Содержание одного из главных компонентов пород – глинозема (Al_2O_3) – в первичных породах и новообразованных метасоматитах практически не меняется, что указывает на его инертность при изменениях. Характерной особенностью процесса является формирование эйситов в основном за счет перегруппировки компонентов при метасоматозе, с небольшим возрастанием содержания углекислоты и натрия.

Химический состав новообразований определяет наличие в эйситах альбита как главного типоморфного минерала и карбонатов, хлорита во внешней части измененных зон.

Таблица 1. Химический состав алевролитов, сланцев и их эйситизированных разностей с подсчетом баланса компонентов в метасоматическом процессе (по данным химического анализа)

Компоненты	Первичные породы		Эйситы		Поведение компонентов в процессе	
	Метапесчаник хл-сер-пш	Сланец сер-хл-пш	Ал-кв-хл-кар-сер	Кв-ал-сер-кар	Кб-17а – Кб-17	Кб-12а – Кб-12
	Кб-17	Кб-12	Кб-17а	Кб-12а		
SiO_2	62,35	64,62	61,15	64,02	-1,2	-0,6
Fe_2O_3 / FeO	4,95	4,66	5,18	4,3	0,23	-0,36
TiO_2	0,32	0,87	0,35	0,53	0,03	-0,34
MnO	0,47	0,64	0,34	0,45	-0,13	-0,19
P_2O_5	0,15	0,14	0,38	0,16	0,23	0,02
Al_2O_3	16,14	15,64	15,8	15,2	-0,34	-0,44
CaO	0,82	0,18	1,2	0,91	0,38	0,73
MgO	2,25	2,42	2,75	3,15	0,5	0,73
Na_2O	4,93	3,85	6,54	5,05	1,61	1,2
K_2O	3,6	2,62	3,35	2,84	-0,25	0,22
CO_2	0,28	0,55	1,96	1,75	1,68	1,2
SO_3 общ.	0,33	0,43	0,27	0,32	-0,06	-0,11
$-H_2O$	1,38	0,95	0,28	0,27	-1,1	-0,68
п/пр	1,11	1,84	0,4	0,84	-0,71	-1
Сумма	99,08	99,41	99,95	99,79		

При аргиллизитизации песчано-сланцевых пород отмечается повсеместное уменьшение содержаний петрогенных компонентов в составе новообразований (в %): кремнезема (3,6–4,2), железа (0,4–2), глинозема (0,4–0,9), натрия (2,6–3,9), калия (0,9–1,2), но значительное увеличение содержания углекислоты и воды (табл. 2). Указанные особенности химического состава определяют соответствующий минеральный состав аргиллизитов: каолинит, гидрослюды, карбонаты, серицит и кварц в тыловых зонах изменений.

Таблица 2. Химический состав алевролитов, сланцев и развивающихся по ним аргиллизитов (по данным химического анализа)

Компоненты	Первичные породы		Аргиллизиты		Поведение компонентов в процессе	
	Хлорит-слюдисто-полевошпатовый сланец	Кварц-слюдисто-хлоритовый сланец	Каолинит-гидрослюдисто-карбонатный		П-8а – П-8	Кб-18а – Кб-18
	П-8	Кб-18	П-8а	Кб-18а		
SiO_2	61,35	63,16	57,17	59,56	-4,18	-3,60
Fe_2O_3 / FeO	6,15	5,12	4,18	4,73	-1,97	-0,39
TiO_2	0,41	0,78	0,28	0,49	-0,13	-0,29
MnO	0,43	0,52	0,49	0,34	0,06	-0,18
P_2O_5	0,19	0,17	0,25	0,23	0,06	0,06
Al_2O_3	17,04	16,76	16,68	15,85	-0,36	-0,91
CaO	0,56	0,48	1,20	1,82	0,64	1,34
MgO	1,89	2,61	2,12	3,05	0,23	0,44
Na_2O	5,25	4,15	1,32	1,52	-3,93	-2,63
K_2O	3,60	2,72	2,35	1,83	-1,25	-0,89
CO_2	0,28	0,35	2,18	1,62	1,90	1,27
SO_3 общ.	0,33	0,41	0,87	0,45	0,54	0,04
H_2O	1,38	0,72	7,34	5,48	5,96	4,76
п/пр	1,11	1,54	0,40	0,47	-0,71	-1,07
Сумма	99,97	99,49	96,83	97,44		

Выводы. Изучение химического состава различных пород и развивающихся по ним эйситов и аргиллизитов золоторудных месторождений гор Ауминза-Белтау показало, что поведение основных компонентов в метасоматическом процессе различается в зависимости от состава первичной породы. Метасоматоз главным образом происходит за счет перераспределения породообразующих компонентов первичных пород при участии натриево-гидрокарбонатных (при эйситизации) и гидрокарбонатных (аргиллизация) растворов.

В процессе метасоматоза новообразованная порода в наиболее интенсивно измененной внутренней зоне имеет определенный минералогический и химический состав. То есть результатом метасоматического преобразования является формирование новообразований определенного состава, что характерно для формирования метасоматической колонки этих пород [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурейкин Н. Я., Арифулов Ч. Х. Геолого-минералогические особенности золоторудного месторождения сульфидно-вкрапленных руд // Советская геология. – 1982. – № 5. – С. 86–95.
2. Карабаев М. С., Жаниев Х. Э., Садиров Р. М. Поисковая геолого-минералогическая модель золото-редкометалльного и золото-серебряного оруденений Центральных Кызылкумов // Инновационное развитие. – 2018. – № 7. – С. 20–27.
3. Карабаев М. С. Околорудно-измененные породы Карабугутской площади (горы Ауминзатау) и их зональность // Вестник НУУз. – 2012. – № 2/1. – С. 45–47.
4. Котов Н. В., Зверев Ю. Н., Порицкая Л. Г. Золото-черносланцевое рудообразование (Центральные Кызылкумы) // Санкт-Петербург : Невский курьер, 1993. – 115 с.
5. Омельяненко Б. И. Околорудные гидротермальные изменения пород. – М. : Недра. – 1978. – 265 с.

Карамышев А. В. (Andrey_Karamyshev@karpinskyinstitute.ru),
Лохов Д. К. (Dmitriy_Lohov@ karpinskyinstitute.ru)
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского», г. Санкт-Петербург

ДОМЕННАЯ АДАПТАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Работа посвящена оценке возможностей переноса обучения при применении ранее подготовленных нейросетевых моделей автоматизированного картирования геологических факторов контроля оруденения к наборам геофизических данных, характеризующих пространственно удаленные от обучающих и существенно отличные по своему геологическому строению территории.

Ключевые слова: машинное обучение, искусственные нейронные сети, распознавание образов, комплексирование геофизических данных, перенос обучения, картирование разрывных нарушений.

В качестве одного из ключевых преимуществ методов глубокого машинного обучения перед альтернативными решениями из области классической статистики часто рассматривается их гибкость, масштабируемость и устойчивость к вариациям входных данных. Сверхточные нейросетевые модели, оперирующие модельными абстракциями высокого уровня, такими как геометрия, ориентировка и взаимное пространственное расположение присутствующих в данных аномалий, являются куда менее зависимыми от диапазонов и распределений значений отдельных признаков. При решении задач комплексной интерпретации геофизических данных, накладывающих ряд специфических ограничений, связанных с практически неизбежной пространственной неоднородностью покрытий признаков и неточностью их разметки [1, 3], такие нейросетевые решения представляются куда более универсальным инструментом в сравнении, например, с алгоритмами формализованного эталонного статистического анализа [2].

В рамках предшествующих работ [1] нами была предложена методика автоматизированного картирования металлотектов на основе априорного физико-геологического моделирования целевых рудных объектов и создана специализированная программа предобработки геофизических данных и обучения нейросетевых моделей типа U-Net [4] на выделение отдельных модельных факторов контроля оруденения. Концепция ее применения подразумевает создание банка таких моделей, предобученных на различных комбинациях разметки и наборов входных признаков и при решении новых сходных задач, выбираемых в зависимости от геологического строения рассматриваемой территории и наличия доступных данных.

Основой для опытной реализации данной методики послужила база комплексных геолого-геофизических данных для территории Центрально-Колымского района, выбранного по причине его обеспеченности качественными равномерными геофизическими покрытиями. Всего были обучены 36 моделей, оперирующих различными наборами входных данных и направленных на распознавание нескольких ключевых факторов контроля крупнообъемного золотого оруденения, включая интрузивные массивы, выходы рудовмещающих толщ и разрывные нарушения. На валидации подготовленные модели продемонстрировали удовлетворительное совпадение прогнозируемых и фактических данных на количественном (коэффициенты Dice и IoU) и, что не менее важно, качественном визуальном уровне. Последнее обеспечивает сохранение геологической осмысленности получаемых результатов, т.к. формальные метрики по причине, например, наличия в обучающей выборке неаннотированных объектов целевого класса могут некорректно отражать качество обучения.

Полученные нейросетевые модели являются достаточно универсальными, т.к. обучены на распознавание не уникальных меток, характерных только для определенной территории, а на выделение повсеместно распространенных типов геологических объектов и структур, образы которых в геолого-геофизических данных от региона к региону отличаются лишь в отдельных аспектах. Это позволяет предполагать возможность переноса результатов обучения на другие площади, при условии их покрытия аналогичного качества съемками, с дообучением лишь на небольшом объеме новых данных, нужных для внесения корректировок в веса моделей. Данная задача является частным случаем так называемой доменной адаптации, к реализации которой на сегодняшний день разработан целый ряд результативных подходов.

Для проверки этого предположения была подготовлена аналогичная по структуре база данных для участка территории, существенно отличного по своему геологическому строению от использованного при обучении, а именно – области развития структур архейских зеленокаменных поясов в пределах Балтийского щита. Экспертная разметка данных с выделением ключевых геологических факторов контроля оруденения молибденит-грейзеновой, золото-сульфидной и урановой альбититовой формаций выполнялась авторами в рамках более ранних работ по подготовке материалов комплекта ГФО-200. Для дообучения были зарезервированы 30 % случайным образом выбранных данных, что с учетом аугментации составило всего 420 примеров.

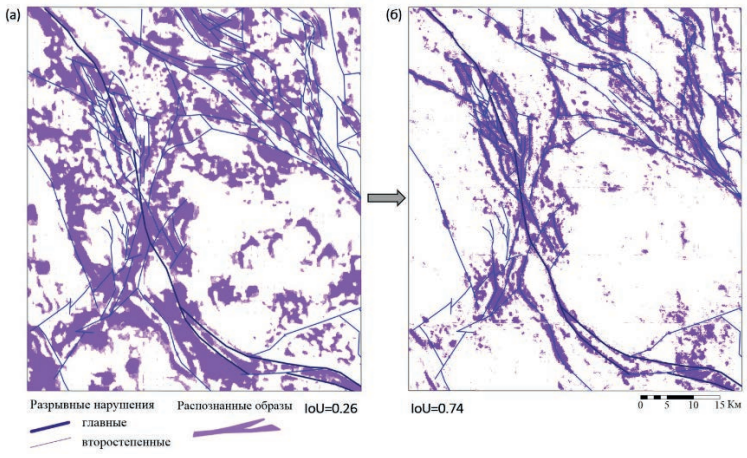


Рисунок. Результаты применения модели распознавания разрывных нарушений к новым данным без коррекции весов (а) и с дообучением (б)

Для тестирования использовались потребовавшие изначально наибольшего количества обучающих данных и при этом не отличавшиеся высокой точностью на валидации, по данным ЦКР, модели распознавания разрывных нарушений, оперирующие как комплексными гравимагнитными данными, так и исключительно магнитометрическими. Последние при применении к новым данным сразу демонстрировали IoU > 0,60 для целевого класса, однако при этом выделялись не только целевые зоны разломов, но и не связанные с ними аномалообразующие объекты, такие как высокомагнитные вулканогенно-осадочные толщи и предполагаемые зоны наложенных гидротермально-метасоматических изменений. Дообучение существенно не изменяло картину, что свидетельствует о недостаточной специфичности магнитометрических признаков для однозначного выделения целевых разрывных нарушений.

Комплексная же модель, оперирующая асимметрией аномального магнитного поля, его параметром tilt и горизонтальным градиентом локальной компоненты поля силы тяжести, показавшая на данных ЦКР наилучший результат с IoU = 0,733, на новых данных без коррекции весов продемонстрировала значительное снижение эффективности с IoU = 0,401 и визуально наблюдаемой отрицательной корреляцией между распознанными и целевыми метками (рисунок а). Однако дообучение на 50 эпохах с оптимизатором adam и функцией потерь Binary Focal Crossentropy позволило поднять это значение до 0,741, т.е. превысить показатели на исходной обучающей выборке (рисунок б).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности применения рассматриваемых моделей картирования металлотектов к пространственно удаленным объектам и отличным геологическим обстановкам. Дообучение на существенно меньшей чем исходная выборке тем не менее позволяет им за короткое время эффективно адаптироваться к особенностям нового домена, сохраняя при этом общие признаки, извлеченные на этапе предварительного обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карамышев А. В. Автоматизированное картирование металлотектов с использованием методов глубокого машинного обучения // Отечественная геология. – 2024. – № 4. – С. 19–34.
2. Карамышев А. В., Фёдорова К. С., Тарасов А. В. Прогноз скрытого золотого оруденения в пределах Центрально-Колымского района по комплексу геолого-геофизических признаков методом распознавания // Руды и металлы. – 2020. – № 2. – С. 10–24.
3. Granek J. Application of machine learning algorithms to mineral prospectivity mapping // PhD diss. – University of British Columbia, 2016
4. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. – 2015. – P. 234–241.

Кардашевская В. Н. [1] (kardashevskaya92@mail.ru), Дамдинов Б. Б. [2] (damdinov@tsnigri.ru), Дамдинова Л. Б. [2, 3] (ludamdinova@mail.ru)

[1] ФГБУН ИГАБМ СО РАН, г. Якутск; [2] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва;
[3] ФГБУН ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ РУД КИРЧЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Изучены минералогические особенности руд Кирченовского месторождения, где выявлены три последовательные минеральные ассоциации: 1) золото-арсенопирит-пиритовая, 2) кварц-полиметаллическая и 3) кварц-серебро-сульфосольная.

Ключевые слова: минералогия, золото-серебряные месторождения, Кирченовское месторождение, Восточное Забайкалье.

Восточное Забайкалье считается одним из старых горнорудных регионов Российской Федерации, где локализованы месторождения Au, Mo, W, Sn, U, Be, Ta, Nb. Широко развиты золоторудные месторождения разных геолого-промышленных типов, среди которых преобладают золото-сульфидно-кварцевые и золото-кварцевые. Объектом исследования является необычное Кирченовское Au-Ag месторождение, имеющее признаки эпитермального Au-Ag оруденения, которое обычно развито в пределах вулканических поясов, например, в Охотско-Чукотском вулканическом поясе [1]. При этом на Кирченовском месторождении вулканические породы отсутствуют. Месторождение открыто в 1982 г. геологами Булумской партии ЧГУ и с 2015 г. отрабатывается ООО «ГРК Дархан». Изучением минерального состава аргиллитов месторождения занимались немногие исследователи [2]. Несмотря на то, что месторождение уже отрабатывается, подробные данные по минеральному составу руд в литературе отсутствуют.

Кирченовское месторождение расположено в Оловяннинском районе Забайкальского края. В тектоническом отношении месторождение расположено в пределах Агинской тектонической зоны Монголо-Охотского складчатого пояса и входит в состав Тургинского золото-флюорит-редкометалльного узла Кукульбейского рудного района. В составе этого рудного района известны также Букукинское, Белухинское и Антоновогорское вольфрамовые месторождения, Этыкинское редкометалльное и ряд рудопроявлений Sn и Mo.

Месторождение размещено в западном экзоконтакте Тургинского массива средне-, верхнеюрских гранитоидов, прорывающих нижнеюрскую песчаниково-алевролитовую толщу, и приурочено к узлу пересечения Тургинского и Бырохчинского разломов. Ороговикованные песчаники вмещают серию сульфидно-кварцевых, жильно-прожилковых зон, приуроченных к тектоническим нарушениям. Рудные тела представлены жилами, линейно-вытянутыми зонами жильно-прожилкового окварцевания и минерализованными зонами дробления. Средняя мощность их составляет от первых сантиметров до 7–30 м, протяженность – 130–800 м. На месторождении выявлено 7 рудных зон.

Изучение минерального состава жил месторождения проводилось методами оптической микроскопии и при помощи сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-6480LV с энергетическим дисперсионным спектрометром Energy 350 Oxford Instruments (ИГАБМ СО РАН) и с помощью электронного микроскопа Leo-1430 с энергодисперсионной приставкой для количественного анализа Inca-Energy (ГИН СО РАН).

Наиболее распространены прожилково-вкрапленные, гнездовые и брекчиевые текстуры руд. Структуры – разнозернистые. Жильные минералы представлены преимущественно кварцем, в небольших количествах присутствуют калиевый полевой шпат, хлорит, биотит и кальцит. Кварц является основным минералом и образует четыре генерации. Кварц I – от серого до дымчато-серого, крупно-, среднекристаллический, полупрозрачный, гипидиоморфный, трещиноватый, с развитой по трещинам минерализацией гидроксидов железа. Кварц II – белый, средне-, мелкокристаллический, местами друзовидный, полупрозрачный. Кварц III – гранулированный, цементирует агрегаты кварца I, II и IV. Кварц IV – мелкогребенчатый, с «перистым угасанием», цементирует кварц I.

Месторождение характеризуется широким разнообразием рудных минералов. Из сульфидов в жилах преобладают пирит и арсенопирит, реже встречается галенит, сфалерит, халькопирит и спорадически самородное Au и Ag, акантит, полибазит, стефанит, аргентотетраэдрит, ялпаит, электрум, бурнонит, макинстриит и джеффроит.

Пирит – главный рудный минерал. Он встречается в виде катаклазированных, кубических, пентагондодэкаэдрических и гексагональных агрегатов. Размер зерен – до 4 мм. Пирит представлен двумя генерациями. Пирит I образует идиоморфные, местами самостоятельные кристаллы в срастании с арсенопиритом в раннем кварце. Содержит примесь As (до 3,03 мас. %). Пирит II встречен в виде трещиноватых, идиоморфных и гипидиоморфных выделений в тесном срастании со сфалеритом, галенитом и халькопиритом.

Арсенопирит второй по распространенности сульфид. Он представлен призматическими, ромбовидными кристаллами и метакристаллами в срастании с пиритом I, сфалеритом и галенитом в кварце I размером до 2 мм.

Галенит образует аллотриоморфные выделения и встречается в виде вкрапленных, прожилковых и гнездовых скоплений в кварце I и II, арсенопирите, пирите, сфалерите, халькопирите, самородном серебре и в группе сульфидов серебра. Размер зерен – до 1 мм. Выделено 2 генерации. Галенит I наблюдается в виде мелких вкраплений и прожилков в арсенопирите, пирите I и сфалерите, нередко замещая их. Содержит примесь Fe (до 4,63 мас.%), Zn (до 6,77 мас. %) и Cr (2,02 мас. %). Галенит II встречен в виде интерстициальных выделений и гнездовых скоплений в срастании с пиритом II, сфалеритом, халькопиритом, акантитом, полибазитом, ялпаитом, стефанитом, бурнонитом и самородным серебром.

Сфалерит представлен аллотриоморфными скоплениями в кварце I, размером до 0,5 мм. Он срастается с пиритом II и иногда выполняет пустоты в нем, ассоциирует с галенитом I и реже с халькопиритом, где последний изредка образует эмульсионную вкрапленность в нем. Содержит примеси Cd (до 8,3 мас.%), Fe (3,37 мас.%) и Cu (2,92 мас.%).

Халькопирит образует зерна неправильных форм кварце I и II, реже встречается в виде эмульсиевидных вкраплений в сфалерите, полибазите и стефаните. Размер зерен – до 0,3 мм. Халькопирит встречен в виде аллотриоморфных срастаний с полибазитом и стефанитом, а также пересекает по прожилкам сфалерит и галенит II, реже отмечается в виде тонкой эмульсионной вкрапленности в сфалерите, полибазите и стефаните.

Самородное золото и электрум представлены единичными мелкими вкраплениями, размером 0,01–0,02 м. Самородное золото при наложении на ранний арсенопирит образует каплевидные выделения. Пробность Au составляет 910 ‰. Электрум образует зерна неправильной формы в раннем кварце в срастании с галенитом I, пиритом I и сфалеритом. Среднее значение пробности электрума 340 ‰.

Самородное серебро встречено в виде округлых и пластинчатых агрегатов в позднем кварце. Он встречается в интерстициях зерен пирита II, образует срастания с галенитом II акантитом, полибазитом, стефанитом и аргентотетраэдритом. Размер зерен – до 2,5 мм.

Акантит является одним из распространенных серебряных минералов. Для него характерны изометричные пластинчатые выделения в кварце II и кальците, а также округлые включения в галените II и, наоборот, размером до 0,6 мм. Изредка образует срастания с полибазитом. Содержит примеси Cu (до 2,89 мас.%), Zn (до 3,29 мас.%) и Au (до 12 мас.%).

Ялпаит – редкий минерал встречается в виде изометричных выделений в кварце II, также содержит включения галенита и тесно ассоциирует с аргентотетраэдритом, полибазитом и сфалеритом. Размер зерен составляет 0,06 мм.

Полибазит представлен зернами неправильной формы выделений в кварце II, размером до 0,8 мм. Он слагает интерстиции между зернами сфалерита и замещает его, наблюдается в виде округлых включений в самородном серебре, содержит включения галенита II, также встречен в виде микропрожилков в халькопирите, аргентотетраэдрите и акантите.

Стефанит образует изометричные выделения в кварце II. Размер зерен – до 1 мм. Он обнаружен в тесном срастании с самородным серебром и галенитом II, где последний встречается в виде включений.

Аргентотетраэдрит представлен самостоятельными зернами неправильной формы, в кварце II, размером до 0,5 мм. Он встречается в ассоциации с самородным серебром, сфалеритом, галенитом II и халькопиритом.

Бурнонит обнаружен в составе сложного агрегата, заполняющего пространство между зернами арсенопирита. Агрегат состоит из тонких срастаний ялпаита, галенита и тетраэдрита.

Макинстриит совместно с джеффроитом слагают необычные оторочки, состоящие из мелкокристаллического агрегата этих минералов, нарастающего на края зерен арсенопирита, образуя кокардовые текстуры. Оба минерала содержат примеси Fe и Au, порядка 1 мас.%.

На основе текстурно-структурного анализа и взаимоотношений рудных минералов авторы выделили три последовательные минеральные ассоциации: 1) золото-арсенопирит-пиритовая (кварц I→арсенопирит→пирит I→самородное Au), 2) кварц-полиметаллическая (кварц II→пирит II→галенит II→сфалерит→халькопирит) и 3) кварц-серебро-сульфосольная (кварц II→аргентотетраэдрит→сурьмяные сульфосоли→сульфиды Ag и Cu→самородное Ag).

Минералогические исследования показывают, что по составу руд Кирченовское месторождение можно отнести к эпитермальному Au-Ag типу, но отличающемуся отсутствием теллуридной минерализации и приуроченности к вулкано-плутоническим поясам.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГАБМ СО РАН, проект FUFG-2024-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров А. А., Волков А. В., Белый В. Ф., Алексеев В. Ю., Колова Е. Е. Золото-сереброносный Охотско-Чукотский вулканогенный пояс // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51, № 6. – С. 492–507.
2. Федоров С. А., Якимов Т. С., Закомалдина А. В., Чиглинцева Н. А. Новые данные по рудной минерализации в аргиллитах Au-Ag Кирченовского месторождения // Уральская минералогическая школа. – 2018. – № 24. – С. 223–227.

Каторин А. И. [1, 2], Данилов К. Б. [2], Яковлев Е. Ю. [2], Пучков А. В. [2], Быков В. М. [2]
[1] АО «АГД Даймондс», г. Архангельск; [2] ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ТРУБКИ ВОЛЧЬЯ ПО ДАННЫМ ПАССИВНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ, МЕТОДА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНА

Проведены геофизические и радиологические исследования на трубке Волчья с использованием комплекса методов: микросейсмического зондирования, пассивной сейсмической интерферометрии и картирования плотности потока радона. В результате были идентифицированы контур трубки и рудовмещающий разлом. Трубка Волчья идентифицирована как два низкоскоростных конусообразных тела с аномалией в поле плотности потока радона. Самый высокий уровень плотности потока радона связан с пересечением разлома и трубки.

Ключевые слова: трубки взрыва, Архангельская алмазоносная провинция, микросейсмическое зондирование, радоновая съемка.

Поиск трубок взрыва представляет собой сложную задачу, обусловленную их специфической геометрией и структурными особенностями. Вертикальная ориентация трубок, а также отсутствие четких проявлений в потенциальных полях затрудняют их обнаружение с использованием традиционных геофизических методов. Дополнительными осложняющими факторами являются мощные перекрывающие слои и значительное количество помех. Наиболее остро данная проблема стоит в Архангельской алмазоносной провинции (ААП) ввиду мощного перекрывающего слоя [1]. При этом задачи поиска и изучения трубок взрыва остаются актуальными [2].

На примере ряда трубок ААП хорошо показал себя комплекс пассивных сейсмических и радиологических методов. Комплекс методов был опробован на трубках Ломоносова, Пионерская, Чидвия, Верхнетовская и С10 [3–5], при этом на трубках вблизи месторождения им. В. Гриба он ранее не тестировался.

Комплекс пассивных сейсмических методов включает в себя методы пассивной сейсмической интерферометрии и микросейсмического зондирования. Метод пассивной сейсмической интерферометрии позволяет устанавливать дисперсионную зависимость поперечных волн на исследуемой территории и скоростную модель. Дисперсионная зависимость также используется в методе микросейсмического зондирования (ММЗ) для определения глубин. ММЗ, в свою очередь, помогает выявлять локальные скоростные аномалии, имеющие субвертикальные границы. Таким образом, трубки взрыва и разломы становятся основными объектами исследования для ММЗ. Исследования потока радона позволяют оперативно получить данные о его распределении на поверхности, что отражает зоны раздробленности. В первую очередь эти зоны связаны с разломами; кроме того, раздробленные зоны проявляются и в околотрубочном про-

странстве. В итоге применение комплекса методов дает возможность получить важную и разнообразную информацию о глубинном строении [4, 5].

Полевые исследования проводились на территории трубки Волчья, которая расположена в центральной части Зимнебережного алмазоносного района в пределах Верхотинского поднятия Ручьевского выступа кристаллического фундамента (Архангельская область, Европейская часть России) в 6 км от месторождения им. В. Гриба и может считаться тестовым объектом для данной территории (Каплан А. Д. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на кимберлитовых трубках аномалий 401 (Волчья), 402 (Верхотина), 407 (Осетинская), 451 (Майская), Н-154 (Первомайская). Верхотинский отряд, 1985–1988 гг. Геологический отчет, 1988. IN 440212).

В результате проведенных исследований были идентифицированы контур трубки и рудовмещающий разлом. Таким образом, было показано, что предложенный комплекс методов может быть успешно применен при поиске и изучении кимберлитовых тел в ААП, в том числе вблизи месторождения им. В. Гриба [6].

Трубка Волчья идентифицирована как два низкоскоростных конусообразных тела с аномалией в ППР. Самый высокий уровень ППР связан с пересечением разлома и трубки [6].

В частности, было показано, что на трубке Волчья [6]:

• каждая трубка содержит различные блоки, которые, вероятно, представляют собой разные фазы внедрения;

• при формировании трубки важную роль играет граница внутри падунской свиты вендских отложений на глубине 120 м;

• установлены разломы, контролирующие каждую трубку; они имеют вертикальную структуру и высокую контрастность в Усть-Пинежской свите венда.

Полученные результаты показали, что протестированный комплекс методов может повысить эффективность поисковых работ: планирования заверочного бурения, разбраковки перспективных геофизических аномалий, выделения рудовмещающих разломов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатиков О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А., Кудрявцева Г. П., Васильева Е. Р., Вержак В. В., Веричев Е. М., Парсаданян К. С., Посухова Т. В. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 524 с.
2. Решение рабочего совещания «Научно-методические и технологические проблемы прогноза и поисков слабоконтрастных кимберлитовых трубок в Восточно-Европейской и Восточно-Сибирской алмазоносных провинциях». – СПб. : ВСЕГЕИ, 2017. – 7 с.
3. Французова В. И., Данилов К. Б. Структура трубки взрыва им. М. В. Ломоносова Архангельской Алмазоносной Провинции // Вулканология и сейсмология. – 2016. – № 5. – С. 71–78.
4. Danilov K. B., Yakovlev E. Yu., Afonin N. Yu. Study of deep structure of the kimberlite pipe named after M. Lomonosov of the Arkhangelsk diamondiferous province obtained by joint using of passive seismic and radiometric methods. – DOI 10.1007/s00024-021-02864-2 // Pure and Applied Geophysics. – 2021. – V. 178. – P. 3933–3952.
5. Danilov K. B., Yakovlev E. Y., Afonin N. Y., Druzhinin S. V. Deep structure of the Verkhnetovskaya kimberlite pipe in the Arkhangelsk diamondiferous province according to passive seismic and radiological methods. – DOI 10.1111/1365-2478.13254 // Geophysical Prospecting. – 2023. – V. 71. – P. 1873–1885.
6. Danilov K., Yakovlev E., Puchkov A., Bykov V., Katorin A. The Deep Structure of the Kimberlite Pipe Volchya in the Arkhangelsk Diamond Province and Controlling Faults Based on Passive Seismic and Radiological Methods (Northwest Russia). – DOI 10.3390/app15020657 // Appl. Sci. – 2025. – V. 15, Issue 2. – P. 657.

Киселев Р. В. (ruslan.kiselev@nextgis.ru)
ООО «НекстГИС»

УЛУЧШЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ NEXTGIS ЗА 2024 ГОД И АНОНС НОВЫХ ПРОДУКТОВ КОМПАНИИ

Компания «НекстГИС» с 2011 г. производит и поддерживает комплекс базового и прикладного ПО ГИС для настольных, серверных и мобильных операционных систем. Компанией создана геоинформационная платформа NextGIS – готовое решение для работы с растровыми и векторными геоданными под любые цели и задачи предприятия. Платформа доступна как в облаке, так и для развертывания на сервере заказчика.

Ключевые слова: Геоинформационные системы, NextGIS, геоданные, импортозамещение, автоматизация, базы данных.

Российская компания «НекстГИС» с 2011 г. производит и поддерживает комплекс базового и прикладного ПО ГИС для настольных, серверных и мобильных операционных систем. В 2014 г. компания «НекстГИС» разработала свою платформу, которая охватывает все среды разработки − серверную, настольную и мобильную, что позволяет создать и кастомизировать геоинформационную систему под любые требования и задачи заказчика. Отдельно стоит отметить, что компания разрабатывает универсальную геоинформационную систему, которая может быть востребована в разных отраслях производственной деятельности, в том числе в области геологии и разработки добычи полезных природных ископаемых.

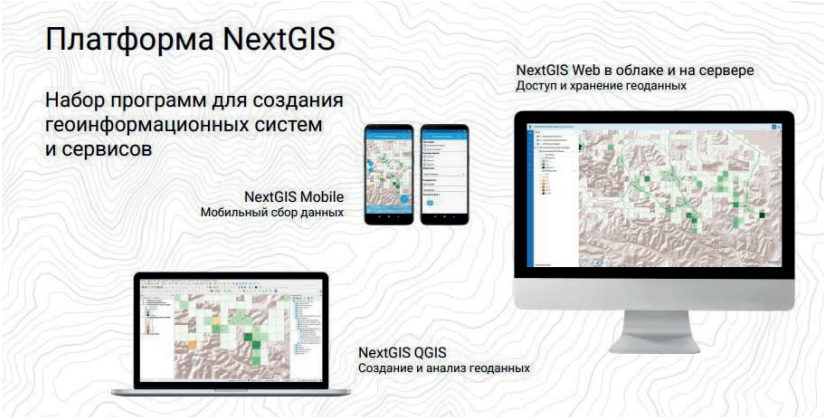


Рисунок. Основные компоненты платформы NextGis

Платформа состоит из (рисунок):

Серверной ГИС NextGIS Web, предназначенной для хранения, регулирования доступа к геоданным и сервисам.

Адаптированной **корпоративной версии QGIS** NextGIS QGIS, предназначенной для создания карт и данных, аналитики.

Мобильного приложения (Android) с возможностью загрузки неограниченного количества слоев данных, редактированием и настраиваемыми формами ввода – NextGIS Mobile.

Мобильного приложения (Android) для участников полевого сбора данных – NextGIS Collector.

Компания «НекстГИС» активно занимается развитием своей платформы и продуктов. Так, в серверной ГИС NextGIS Web за 2024 г. были проведены порядка пятидесяти новых разработок и улучшений функционала, в том числе:

1) **Версионирование** – полная история всех изменений в объектах слоя: кто, когда и какие правки внес. История идет отдельным столбцом в таблице слоя и позволяет:

- Узнать время и автора любого изменения в векторном слое;
- Узнать как, когда и кем менялись атрибуты или пространственное положение объекта в векторном слое;

• Получить состояние векторного слоя на любой момент времени в прошлом, откатить ошибочные изменения;

• Получить список всех правок определенного автора;

• Получить список всех правок за определенный период, например за день или с момента последнего обновления связанной базы данных.

2) **Фильтр объектов слоя** на веб-карте по охвату и быстрый экспорт в 10 распространенных форматов, включая .cad, .csv, .kml, .tab или .mif/mid для MapInfo.

3) Вложения – **поддержка панорам.**

4) Описание к вложениям – при просмотре фото, прикрепленного к объекту на карте, показывается описание к фото.

5) Всплывающее окно на веб-карте заменено на панель идентификации.

6) **Легенда для растров**, автоматическая.

7) Быстрое создание макета карты на печать в WEB.

8) **Справочники** – полноценное создание и выгрузка.

9) NextGIS Web как клиент WFS.

10) **Настраиваемые шрифты для веб-карт** – позволяет применять геологические шрифты для публикации.

В сфере поддержки программой 3D функционала была реализована возможность проведения измерений и реализовали возможность загрузки облака точек в формате las/laz.

В настольном компоненте платформы NextGIS QGIS проведены следующие улучшения:

1. Версионирование – возможность многопользовательской работы (редактирование слоев напрямую, без WFS, очень быстрый способ), автоматический обмен изменениями с сервером.

2. Механизм разрешения конфликтов правок пользователей.

3. Авторизация, поддержка Blitz и Keycloak.

4. Большое обновление плагина NextGIS Connect 2.0:

• подключение веб-карты целиком в QGIS;

• подключение OGC слоев из NextGIS Web;

• подключение TMS слоев из NextGIS Web;

• подключение PostGis слоев из NextGIS Web;

• работа со справочниками: NextGIS Web ⇔ QGIS;

• усиленная защита данных аутентификация.

5. Новые и усовершенствованные плагины

• NextGIS OGRStyle (по клику, получение текстового описания стилей MapInfo);

• Wurman Dots (визуализация данных по плотности точек);

• MOLUSCE (анализ динамики состояния территорий, перенос на QGIS 3.0, надо отметить, что данным модулем расширения активно пользуются ученые во всем мире).

Отдельно стоит отметить сервис выгрузки **готовых наборов геоданных** для ваших проектов на любую территорию России и мира – https://data.nextgis.com/ru/.

Постоянно ведутся работы над улучшением сервиса.

Анонс новых продуктов компании «НекстГИС».

В дополнение к платформе компания разработала и зарегистрировала в 2024 г. два новых продукта, которые будут запущены в продажу с этого года:

NextGIS GeoServices – тайловый сервер для хостинга базовых карт, создания тайлов (как растровых, так и векторных) с возможностью кэширования и создания необходимого тайлового кэша, ПО позволяет работать в локальном контуре предприятия.

NextGIS Toolbox on-premise – самостоятельное веб-приложение, предоставляющее пользователям доступ к набору инструментов для обработки геоданных онлайн и предназначенное для развертывания на собственном сервере внутри организации. Это позволяет соблюдать конфиденциальность обрабатываемых данных, так как данные не покидают внутренний контур предприятия или организации.

Все базовое ПО NextGIS включено в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. На все ПО NextGIS получены свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Китаев А. В. [1] (kitaev@tsnigri.ru), Пустозеров М. Г. [2], Тригубович Г. М. [2] (info@aerosurveys.ru)
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва; [2]АО «ЕМ-РАЗВЕДКА», г. Новосибирск

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Приводится описание обобщенной петрофизической модели медно-порфирового месторождения на основе литературных данных и собственных исследований с фокусировкой на особенности электрических свойств пород и характер их проявления в физических полях. Отражены тенденции развития электроразведочных методов и возможности 3D геоэлектрических реконструкций порфировых систем с выявлением зон минерализации.

Ключевые слова: физико-геологическая модель (ФГМ), рудогенерирующий порфировый шток, комплексная аэрогеофизическая съемка (КАГС), электрические свойства, вызванная поляризация (ВП), эффективное сопротивление, трехмерная резистивная реконструкция.

Единая зональность изменения физических параметров рудовмещающих пород и рудных тел наблюдается на многих десятках медно-порфировых месторождений, а общая петрофизическая модель представляется в следующем виде (рис. 1): ядерная часть характеризуется низкими значениями намагниченности и плотности, экстремально высоким электрическим сопротивлением, отсутствием поляризуемости, повышенной радиоактивностью; для рудной части характерно повышение электропроводности и поляризуемости за счет повышенной пористости и сульфидизации, увеличение содержания калия (проявление калиевого метасоматоза) с уменьшением содержаний урана и тория, выносимых во вмещающую среду; вмещающие породы, как правило, обладают слабой или умеренной магнитной восприимчивостью, повышенной плотностью, практически не поляризуются, имеют фоновую радиоактивность и умеренно высокое электрическое сопротивление.

Соответственно, рациональный комплекс геофизических методов, направленный на оконтуривание минерализованных зон, включает в себя магнитометрию, гамма-спектрометрию, гравиразведку и продвинутые модификации электроразведочных методов. Значимое развитие получили электроразведочные методы. Развитие теории нестационарных электромагнитных

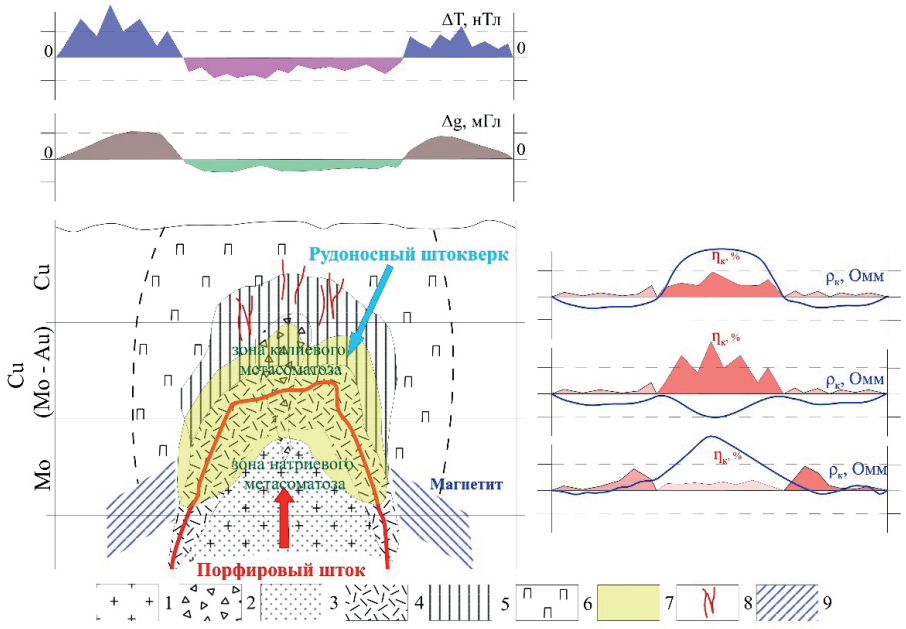


Рис. 1. Обобщенная ФГМ медно-молибден-порфирового месторождения (по материалам А. И. Кривцова и др., 2001, с дополнениями):
1 – рудоносный порфировый интрузив; 2 – брекчиевые тела в порфировом штоке; 3 – метасоматиты, подчиненные порфировым телам; 4 – прожилково-вкрапленные рудные зоны (кварц-серицитовые метасоматиты); 5 – аргиллизиты; 6 – пропилиты; 7 – рудоносный штокверк; 8 – зоны трещиноватости; 9 – зоны с повышенным содержанием магнетита

полей дало возможность проектировать рациональные системы наблюдений, экспериментировать с геометрией установок, типами используемых источников и частотным (временным) диапазоном воздействия на исследуемую среду.

Специфическая зональная дифференциация электрических свойств пород позволяет с помощью детальных электромагнитных исследований охарактеризовать трехмерную структуру медно-порфировых месторождений. Для слепых медно-порфировых месторождений в плане распределения эффективного сопротивления (проводимости) отмечаются зоны с субизометричными и кольцевыми очертаниями с размерами от сотен метров до первых километров. На относительно малых глубинах исследований, захватывающих зону пропилитизации, наблюдается повышение значений эффективного сопротивления. С глубиной, при переходе в зону аргиллизации с сульфидной минерализацией, диэлектрические свойства пород уменьшаются и на уровне высокоминерализованных грунтовых вод отмечаются в плане аномалией высокой электропроводности. На нижнем уровне исследований, достигающих самого рудогенерирующего порфирового штока, отмечается постепенное повышение сопротивления с глубиной до экстремальных значений. Характерные структуры такого рода аномалий можно наблюдать в полях, полученных аэро-ЗСБ во временной области при проведении КАГС в одном из рудных районов на востоке Узбекистана (рис. 2).

Чтобы получить высокоинформативные данные, отражающие распределение электрических свойств, характерных для гипотетических рудных систем и, в более крупном масштабе, минерализованных зон, необходимо при выборе модификации электроразведочных методов, типа и размера установки индивидуально подходить к каждой поисковой площади, учитывать особенности её геологического строения, геоморфологию, природно-ландшафтные условия и пр. Очевидно, что выявленная зональность электрических свойств пород, характерная для порфировых систем, делает зондирующие модификации электроразведки наиболее приемлемыми при исследованиях.

Модификации метода электрических сопротивлений с заземленными установками (ВЭЗ-ВП, ТЗ-ВП, электротомография) целесообразно применять для выявления минерализованных зон на относительно небольших площадях с целевой глубиной исследования до 100–150 м. Для площадей больше 100 км^2 постановка наземных работ с такими установками весьма трудозатратна, а при исследованиях на более глубокие горизонты установки сильно чувствительны к влиянию приповерхностных неоднородностей, вносящих довольно большие искажения в измерения.

Импульсная индукционная электроразведка МПП или ЗСБ (высокоразрешающая временная область) дает ряд технологических преимуществ по локальности зондирований и возмож-

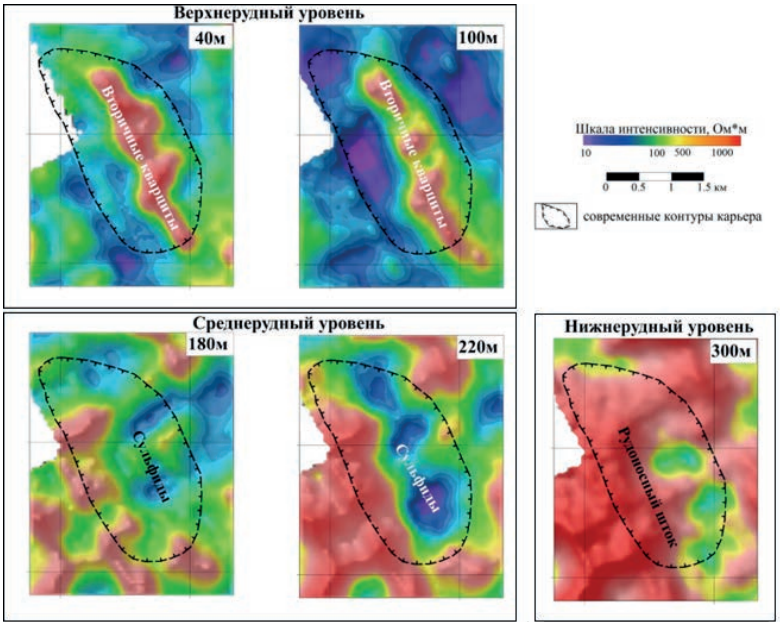


Рис. 2. Поглубинные срезы электрического сопротивления

ности работы в условиях плохого заземления. Кроме того, эти методы востребованы в крупномасштабной аэрогеофизике для исследования территорий в сотни квадратных километров.

Диапазон глубин аэро-ЗСБ в современных пилотируемых системах «воздух-воздух» составляет около 500 м. Глубина исследований может быть повышена до 1500 м в системах с закрепленным источником «земля-воздух», где сейчас используются автономные измерительные системы на базе беспилотных авиационных систем (БАС). В зависимости от установленных доминирующих критериев рудоносности и морфологии оруденения, учитывая поверхностные условия заземления, выбирается петлевой незаземленный индуктор (П) или горизонтальная заземленная линия (ГЭЛ). Информативность и точность прогноза повышается за счет специальной технологии разделения резистивной и поляризационной составляющих [1, 3] измеряемого сигнала. Во-первых, выделение резистивной составляющей повышает достоверность морфологической 3D-реконструкции поискового объекта; во-вторых, повышенная интенсивность обособленного параметра поляризуемости на подавляющем большинстве медно-порфировых месторождениях коррелирует с содержанием меди. Объем информации, характеризующей геоэлектрические свойства пород горного массива при использовании таких модификаций электроразведки, очень высок, что весьма значимо при трехмерной резистивной реконструкции сложных по своей структуре порфировых систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каменецкий Ф. М., Тригубович Г. М. Феноменология вызванной поляризации // Геофизика. – 2013 – № 1. – С. 80–83. Режим доступа: URL: https://elibrary.ru/item.asp?edn=rxgosv (дата обращения: 09.04.2025).
2. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В. Медно-порфировые месторождения. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
3. Тригубович Г. М. 3D электромагнитная разведка становлением поля наземного и воздушного базирования: новая концепция и результаты // Всероссийская школа-семинар имени М. Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям земли, 5-я школа-семинар (ЭМЗ-2011), 16–21.05.2011, Россия, Санкт-Петербург.

Коваль А. В. (kovalav@rusgeology.ru)
АО «Росгеология», г. Москва

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА СИНАРСКОЙ ПЛОЩАДИ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Синарская площадь, перспективная на выявление оруденения молибден-меднопорфирового типа с потенциальным попутным золотом, находится на восточном склоне Среднего Урала в 10 км к югу от г. Каменск-Уральский (Свердловская область).

В региональном плане Синарская площадь располагается на территории Восточно-Уральской мегазоны вблизи её восточного сочленения с Зауральским поднятием, в пределах Буринско-Калдинской (Буринская система блоков) и Алапаевско-Айбыкульской (Восточно-Окуловская и Баязитовская система блоков) подзон [2]. Относится к Алапаевско-Теченской металлогенической зоне, захватывая территорию Крайчиковского меднопорфирового проявления [1].

Район работ находится в пределах дислокационной зоны, контролируемой глубинными разломами: Чекуровским в западной части площади и Алапаевско-Челябинским – на востоке. Данная дислокационная зона развита по осадочным и вулканогенным породам девона и ограничена с запада терригенными толщами карбонового возраста. С юга дислокационная зона ограничена гранитоидами некрасовского комплекса карбонового возраста. Осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы рудянской толщи интенсивно тектонически дислоцированы,

она характеризуется чешуйчато-надвиговым строением. Развиты милониты, катаклазиты. В пределах дислоцированных зон нередко отмечаются небольшие тела и дайки диоритов, плагиогранитов крайчиковского комплекса, монцодиоритов надыровомостовского и гранитоидов петуховского комплексов.

Модель молибден-меднопорфирового оруденения Синарской площади

По особенностям своего строения и состава меднорудные объекты Синарской площади относятся к меднопорфировой и медномолибден-порфировой формациям, а к основным критериям их рудоносности относятся следующие:

• структурно-тектонический: приуроченность к тектоническим зонам глубинных разломов субмеридионального, северо-западного и субширотного простирания (Чекуровский, Алапаевско-Челябинский глубинные разломы и оперяющие к ним субширотные разломы), которые служили экраном для локализации оруденения. Они хорошо выражены в физических полях (магнитном и гравитационном);

• широкое развитие благоприятной для оруденения рудовмещающей формации, представленной туфогенно-терригенными и осадочно-терригенными образованиями рудянской толщи нижнего девона, прорванной благоприятными для оруденения порфирового типа дайками и мелкими телами диоритов крайчиковского среднедевонского комплекса и верхнедевонских монцодиоритов надыровомостовского комплекса;

• интенсивное проявление в рудовмещающих породах метасоматических процессов пропилитовой и кварц-серицитовой формаций, выразившихся в серицитизации, окварцевании, хлоритизации, эпидотизации, кальцитизации пород с зонами сульфидной минерализации прожилкового и вкрапленного типа;

• наличие комплексных геохимических ореолов меди, молибдена, вольфрама, свинца, цинка, серебра, золота в рудовмещающих породах;

• наличие прямых поисковых признаков – меднопорфирового проявления Крайчиковское и находящегося несколько южнее площади проявления Чекурское медномолибден-порфирового типа.

Для Синарской площади объектом-аналогом является Томинское медно-порфировое месторождение, которое находится в пределах той же Алапаевско-Теченской металлогенической зоны. Расположено в 30 км к юго-востоку от г. Челябинск.

Томинское месторождение как объект-аналог Синарской площади

Томинское медно-порфировое месторождение открыто в 1957 г. Оно является одним из крупнейших в мире: эксплуатационные запасы достигают 490 млн т при небольших содержаниях. Отработку месторождения ведёт с 2013 г. открытым способом АО «Русская медная компания».

Месторождение представляет собой минерализованный шток кварцевых диоритов, локализованный среди базальтов риолит-базальтовой толщи. Наиболее богатая прожилково-вкрапленная пирит-халькопиритовая минерализация (с содержанием меди 0,5–0,6 %) приурочена к эндоконтактам штока. В составе руд кроме меди присутствуют серебро и золото. Рудные тела, залегающие в контактовых зонах диоритов и кварцевых диоритов, представляют собой прожилковые и прожилково-вкрапленные скопления в зонах дробления. В пределах рудного узла медно-порфировое оруденение локализуется в гипабиссальных фациях единой магматической колонны. Широко развиты метасоматиты кварц-серицитовой и пропилитовой формаций.

В пределах месторождения выделено три технологических типа руд.

Первый тип представлен первичными сульфидными рудами (их пространственное положение ниже 50 м). По составу – хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты. Вмещающие породы – серицитизированные, хлоритизированные и карбонатизированные диориты. В составе руд доминируют халькопирит и пирит, содержание меди в руде 0,41 %. Практически вся медь содержится в халькопирите, который представлен рассеянной вкрапленностью и микропрожилками, а также ассоциирует с кварц-карбонатными прожилками. Кроме меди в рудах Томинского месторождения установлены золото (менее 0,1 г/т), серебро (0,6 г/т), молибден (до 60 г/т). Метасоматиты пересекаются прожилками кварц-кальцитового состава с рудной минерализацией.

Второй тип представлен рудами зоны вторичного сульфидного обогащения. Развит локально и сложен как первичными (халькопирит), так и вторичными (халькозин, ковеллин) сульфидами меди. Среднее содержание меди 0,7 %. Зона вторичного сульфидного обогащения представляет собой глинисто-дресвяно-щебнистый материал. Трещины часто выполнены гидроксидами железа. По диоритам интенсивно проявляется процесс хлоритизации.

Третий тип – это окисленные руды в корах выветривания. Рудные минералы – медносодержащий каолинит и медносодержащий лимонит. Сульфиды полностью окислены. Содержание меди до 0,3 %.

Текущие результаты работ на Синарской площади

На сегодняшний день силами АО «Росгеология» выполняется комплекс геологоразведочных работ в рамках Государственного контракта № 3/24 от 23.07.2024 г. по объекту «Поисковые работы на молибден-меднопорфировое оруденение на Синарской площади (Свердловская, Челябинская, Курганская области)». По результатам сбора и анализа ретроспективных данных, дешифрирования, а также аэромагниторазведочных работ масштаба 1 : 25 000 с использованием БПЛА были выделены участки для проведения картировочного бурения (до глубины 100 м) с целью локализации минерализованных зон с молибден-меднопорфировыми рудами и определения вещественного состава рудовмещающих пород для дальнейшего заложения поисковых скважин (до глубины 300 м).

В ходе выполненных работ установлены зоны развития гидротермально-метасоматически измененных пород, представленных пропилитами, аргиллизитами и кварц-серицитовыми метасоматитами и сопровождаемых сульфидной минерализацией, главным образом пиритом, реже пирротином и арсенопиритом. По данным минераграфических исследований в ряде образцов, отобранных из керна скважин, обнаружены тонкие прожилки халькопирита, как правило, выполняющие микротрещины в пирите, интерстиции в жильных минералах и развивающиеся по их спайности.

В общем случае в верхней части разреза вскрыты четвертичные суглинки, морские и континентальные глины, пески и песчаники мелового возраста; мощность мезозойско-кайнозойских отложений от 35 м в западной части профиля до 60 м в восточной. В нижней части разреза вскрыты не обохренные глинистые, дресвяно-глинистые и дресвяно-щебнистые коры выветривания по палеозойским породам, представленным большей частью диоритами крайчиковского комплекса среднезернистой структуры, массивной текстуры, исходно плагиоклаз-амфиболового состава, а также вулканогенными породами – андезибазальтами и их туфами.

По всему разрезу отмечается аргиллизация исходных пород, о чем свидетельствует одновременное присутствие в корах выветривания глинистых минералов (предположительно гидрослюд) и «свежих» сульфидов как в виде тонких зерен, так и в виде сростков и агрегатов. Количество сульфидов (пирит, халькопирит, арсенопирит, предположительно пирротин) в центральной и восточной части разбуренного поисково-картировочными скважинами массива диоритов около 0,5–1 %; в западной части – до 5 %. Наиболее интенсивная сульфидная минерализация фиксируется в западных эндо- и экзоконтактовых частях массива диоритов и вмещающих вулканитов среднего-основного состава. Последние представляют собой аргиллизированные туфы андезибазальтов, прорванные «микродайками» диоритов мощностью первые дециметры по керну. В контактовой зоне фиксируются разнонаправленные тектонические трещины с реликтами «зеркал скольжения», участками наблюдается развитие брекчиевых текстур.

К настоящему времени получены результаты анализа ICP-AES на 35 элементов и пробирного анализа на золото по 110 керновым пробам, отобранным в 19 скважинах с двух профилей. В профиле выделяются геохимические ореолы меди с содержаниями от 0,01 до 0,05 %. В центральной части этого профиля медная аномалия сопровождается аномалиями молибдена (0,0004–0,0025 %) и золота (0,01–0,089 г/т).

Бурение картировочных скважин с целью выявления первичных геохимических ореолов меди, молибдена и попутных компонентов планируется завершить во втором квартале текущего года, после чего будут определены точки заложения поисковых скважин с целью локализации в пределах минерализованных рудных тел, параметры которых будут отвечать оценочным параметрам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Вознесенский А. И. Информационный отчет по геологическому доизучению масштаба 1 : 50 000 и среднемасштабному глубинному картированию Синарской площади в пределах листов О-41-136-А (в. п.), Б, В (в. п.), Г; О-41-137-А (з. п.) с общими поисками на медь и полиметаллы [Вознесенский А. И., 1996ф]. ФБУ ТФГИ по УрФО.
2. Коровко А. В. Госгеолкартирование масштаба 1 : 200 000 листа О-41-XXXII Среднеуральской серии. 2001 г. [Коровко А. В., 2001ф]. ФБУ ТФГИ по УрФО.
3. Кривцов А. И. Меднопорфировые месторождения. Издание второе. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2010.

Козлов Г. А. (Gleb98-210@yandex.ru)
ФГБУ «Институт Карпинского», г. Санкт-Петербург

ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ СТРАТИФОРМНЫХ Pb-Zn МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КАРБОНАТНЫХ ТОЛЩАХ (MVT)

В материалах приводятся данные об основных принципах актуальных классификаций стратиформных Pb-Zn месторождений, которые используют ФГБУ «Институт Карпинского», ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ЦНИГРИ» и зарубежные геологические службы, а также об имеющихся различиях между ними.

Ключевые слова: Pb-Zn руды, стратиформные месторождения, классификация, рудная формация.

Стратиформные в карбонатных толщах месторождения свинца и цинка (MVT-тип) с сопутствующими барием, германием, марганцем, серебром, медью обладают рядом отличительных черт, таких как отсутствие закономерной связи с магматическими комплексами, отчетливый син-эпигенетический облик оруденения, закономерная связь с определенными фациальными рядами рудовмещающих отложений, низкотемпературные гидротермально-метасоматические околорудные изменения, парагенетическая связь с рассольными катагенетическими флюидами и процессами миграции нафтидных вод.

За прошедшие годы было предложено множество различных классификаций на основе минералого-геохимических особенностей, состава и различия рудовмещающих комплексов, генетических особенностей, геодинамических и геотектонических обстановок формирования оруденения. Наиболее актуальными являются классификации на основе рудно-формационных, геолого-промышленных и минералого-геохимических особенностей, разработанные в ФГБУ «Институт Карпинского» и ФГБУ «ЦНИГРИ». В их основе лежат различные подходы к рангу подразделяемых единиц, что обусловлено разными пониманием и использованием термина «стратиформный».

В зарубежной литературе принята сквозная классификация свинцово-цинковых месторождений, локализованных в осадочных породах. Они подразделяются на четыре семейства:

- месторождения типа «Долина Миссисипи» (Mississippi-valley-type, MVT);
- осадочно-эксгаляционные месторождения (sedimentary-exhalative-type, SEDEX-type);
- месторождения, приуроченные к терригенным и терригенно-карбонатным толщам (sandstone-hosted-type, SSH-type);
- месторождения формации свинцовых песчаников (sandstone-lead-type, SSL-type).

Понятия SEDEX- и MVT-типы сегодня широко используются и в отечественной литературе (иногда – стратиформные свинцово-цинковые месторождения, ССЦМ-тип).

Соответствующая описанной выше классификация ФГБУ «Институт Карпинского» включает до 12 формационных типов месторождений гидротермального и вулканогенно-осадочного генетических типов, среди которых к «стратиформным» MVT отнесены (или могут быть отнесены) следующие типы:

1) свинцово-цинковый карбонатный стратиформный (горевский тип): месторождение Горевское, месторождения Кыллахской рудной зоны;

2) барит-свинцово-цинковый углеродисто-карбонатный стратиформный (миргалимсайский тип): месторождения Миргалимсай, Шалкиинское, Акшешек (Казахстан), Сумсарское (Киргизия);

3) барит-свинцовый карбонатно-терригенный стратиформный: месторождение Саурейское, рудопроявления Северного и Полярного Урала;

4) барий-свинцово-цинковый березитовый: месторождение Уч-Кулач (Узбекистан);

5) серебро-полиметаллический березитовый: месторождения Мангазейское, Верхнеменкеченское (Верхоянье); Усть-Теремки (Забайкалье); Раунд-Хилл (Австралия), Поларис (США); Дель-Оро (Мексика); Колквиирка (Перу);

6) флюорит-свинцово-цинковый кварц-карбонатных метасоматитов: месторождения Таборное (Прибайкалье); Такоб (Таджикистан); Кейстон, Лед-Хилл, Дейвис-Дирдорф (США).

В данной иерархии «стратиформные» месторождения выступают в качестве семейства рудных формаций. Эта классификация является обязательной к использованию при составлении государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000.

В то же время в ФГБУ «ЦНИГРИ» разработаны две взаимосвязанные классификации: авторства В. Д. Ручкина, А. И. Донца и др. [1], а также авторства В. Д. Конкина и др. [2].

Классификация В. Д. Ручкина, А. И. Донца и соавторов составлена на основе анализа обстановок нахождения месторождений. Являющаяся результатом многолетней работы, она учитывает наработки В. И. Смирнова, Д. И. Горжевского, Г. В. Ручкина, Э. И. Кутырева, В. В. Попова, В. М. Попова и других крупных исследователей данного типа оруденения и включает следующие типы:

1) свинцово-цинковый с германием (флюоритом) – сарданский: Таборное, Сардана, Маскот – Джефферсон-Сити (США) и др;

2) пирит-свинцово-цинковый с флюоритом – миссисипский: месторождения района Три-Стейт, Верхне-Миссисипской долины США и др.;

3) пирит-свинцово-цинковый – силезско-краковский: Сильвермайнс (Ирландия), Болеслав (Польша) и др.;

4) барит-цинково-свинцовый – миргалимсайский: Миргалимсай (Казахстан), Сумсарское (Киргизия) и др.;

5) свинцово-цинковый с пиритом – шалкиинский: Шалкиинское, Талап (Казахстан) и др.;

6) пирит-барит-свинцово-цинковый – учкулачский: Павловское, Уч-Кулач, Эскимазар (Узбекистан).

В этой классификации основными отличительными критериями служат соотношения главных рудообразующих минералов, рудовмещающая формация и ее состав, а также обстановка возникновения и палеогеография рудовмещающих формаций и месторождений. Стратиформные месторождения здесь также понимаются в качестве самостоятельных рудных формаций.

Неудивительно, что относимые к одному типу месторождения имеют ряд закономерных отличий. Это обуславливает возможность более дробной классификации с выделением минералого-геохимических типов для каждого типа.

В соответствии с классификацией В. Д. Конкина и соавторов [2] стратиформные Pb-Zn месторождения предлагается подразделять на 6 минералого-геохимических типов (миссисипский, силезско-краковский, сарданский, миргалимсайский, шалкинский и учкулачский), а также выделять сидерит-кварц-сфалерит-галенитовый в сланцево-карбонатной формации (горевский – переходный тип к месторождениям типа SEDEX) и барит-флюорит-свинцово-цинковый в терригенно-карбонатной формации с органогенными постройками (барвинский и новоземельский) типы. Набор характерных признаков и предлагаемые типы почти идентичны с классификацией А. И. Донца, однако «стратиформные» месторождения в данном случае выступают уже как единая рудная формация.

Примечательно, что ФГБУ «ВИМС» на текущий момент использует понятие «стратиформный» в качестве класса месторождений, включая в него месторождения MVT, SEDEX-типа, а также медистых песчаников и барита [3].

Предлагаемые классификации имеют ряд закономерных сходств, а выделяемые типы месторождений в целом коррелируются. Так, месторождения барвинского типа могут быть сопоставлены с месторождениями флюорит-свинцово-цинкового кварц-карбонатных метасоматитов, а месторождения учкулачского типа – с барий-свинцово-цинковым березитовым типом.

В классификациях имеется и ряд принципиальных различий: например, в соответствии с классификацией ФГБУ «Институт Карпинского» месторождения Таборное и Сардана относятся к разным рудно-формационным типам, а Горевское месторождение является генотипическим для месторождений MVT, в то время как классификация ФГБУ «ЦНИГРИ» вообще рассматривает последнее как переходное к SEDEX-типу.

С точки зрения классификации ФГБУ «Институт Карпинского», а также классификации А. И. Донца, месторождения MVT рассматриваются в качестве группы рудных формаций, занимающих закономерное положение в группе рудных формаций месторождений свинца и цинка (MVT, SEDEX-, VMS-типы), в то время как классификация В. Д. Конкина рассматривает данные объекты в качестве единой рудной формации, а предложенные типы месторождений – в качестве рудно-формационных подтипов или минералого-геохимических типов.

При этом в зарубежной литературе в последнее время имеется тренд на сокращение количества формационных типов месторождений. Так, геологи США, Канады, Австралии и других стран объединяют описанные выше формации SSH- и SSL-типов в единую формацию CD-type (clastic-domain-type) и отказались от более дробного деления месторождений MVT на подтипы, считая альтернативные классификации «недостаточно разными, чтобы оправдать их выделение» [4]. В зарубежных классификациях нет и единого взгляда на иерархию данных объектов. Так, Геологическая служба США (USGS) принимает MVT, SEDEX- и CD-типы в качестве самостоятельных рудных формаций комплекса «месторождений, приуроченных к осадочным толщам» [4], в то время как Геологическая служба Канады (GSC) рассматривает данные типы в качестве субформаций, понимая под «стратиформными» и MVT, и SEDEX- и CD-типы месторождений [5].

Таким образом, несмотря на значительный объем наработок, ни у отечественных геологов, ни у иностранных коллег нет единого понятия, какой уровень иерархии занимают «стратиформные» месторождения, а также, в данном ключе, нет и однозначного понимания термина «стратиформный». Применяемые на текущий день классификации крупнейших подразделений Роснедр имеют различия, которые целесообразно устранить с учетом совместных геологических работ и их сопровождения в рамках федерального проекта «Геология. Возрождение легенды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донец А. И., Ручкин Г. В., Конкин В. Д. Геолого-промышленные типы и региональные геологические особенности стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 1–35.
2. Конкин В. Д., Донец А. И., Ручкин В. Г. Минералого-геохимические типы и региональные геологические особенности стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 51–62.
3. Серия «Геолого-генетические модели месторождений». Обзор 4. Геолого-генетические модели месторождений северо-восточной Азии / ред. В. В. Коротков. – М. : Изд-во ФГБУ «ВИМС», 2023. – 100 с.
4. Leach D. L. A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores, chap. A of Mineral deposit models for resource assessment / D. L. Leach, R. D. Taylor, D. L. Fey [и др.] // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. – 2010. – V. 5070A. – P. 52.
5. Paradis S. Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits / S. Paradis, P. Hannigan, K. Dewing // Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. – 2007. – No 5. – P. 185–203.

Козлов Г. А. [1] (Gleb98-210@yandex.ru), Калмыков Б. А. [2] (kalmykov@aerogeo.ru), Трусов А. А. [2] (trusov@aerogeo.ru)
[1] ФГБУ «Институт Карпинского», г. Санкт-Петербург,
[2] АО «ГНПП «Аэрогеофизика», г. Москва,

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРОГНОЗА ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ЧАРО-СИНСКОЙ ТЕКТОНОМАГМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

В материалах приводятся данные о геологической интерпретации результатов геолого-геофизического моделирования и составлении геолого-генетической модели золотого оруденения в пределах Чаро-Синской тектонической зоны (Олекминский потенциальный золоторудный район). Приводятся анализ распределения прогнозно-минерагенических факторов и предпосылок, результаты прогнозирования.

Ключевые слова: золото, коренные месторождения, геолого-генетическая модель, чаро-синская зона.

Перспективы и степень проявленности золоторудной минерализации в зоне сочленения северо-западного склона Алданской антеклизы и Березовского прогиба остается предметом дискуссий. В пространственной ассоциации с магматическими и тектоническими образованиями так называемой Чаро-Синской зоны [2, 3, 4, 5] известны до 25 рудопроявлений и пунктов минерализации золота с сопутствующими серебром, цинком, медью и железом, которым сопутствуют множественные шлиховые ореолы и россыпные рудопроявления и золота, в том числе вовлеченные в разработку [2].

Дискуссионный характер потенциала коренной золотоносности площади обуславливает необходимость полноценного выявления критериев и предпосылок оруденения в пределах данной территории с применением актуальных методов исследования. Начиная с 2019 г. в пределах площади силами ФГБУ «Институт Карпинского» совместно с АО «ГНПП «Аэрогеофизика» и НИГП АК «АЛРОСА ПАО» проводятся работы по типизации, уточнению особенностей размещения и прогнозированию месторождений золота, алмазов и других типов полезных ископаемых территории. В 2023–2025 гг. в пределах границ планшетов листов госгеолкарты P-51-XXVII и P-51-XXVI проводились работы по среднемасштабному геологическому картированию. В состав геофизического комплекса работ входили: аэрогравиразведка, аэромагниторазведка, аэроэлектроразведка ДИП и аэрогамма-спектрометрия. Геологическая интерпретация данных материалов легла в основу изучения деталей строения участка Чаро-Синской зоны разломов в пределах территории указанных листов.

Проявления золота территории, установленные еще по результатам геологосъемочных работ масштабов 1 : 100 000 и 1 : 25 000 1960-х гг., имеют в целом сходное строение. Наиболее изученные из них – проявления в устьевой части рек Бол. и Мал. Русская на левобережье р. Лена – представлены протяженными (до 1 км) узкими (от 1–5 до 100 м) зонами, максимально изученными на глубину до 50 м.

Вмещающие рудопроявления породы представлены преимущественно доломитами, глинистыми известняками, органогенно-обломочными известняками, реже известковыми песчаниками преимущественно чарской и ичерской, реже метегерской свит раннего-среднего кембрия, также потенциально выступавшими в качестве промежуточных коллекторов [1]. Установленные содержания Au не превышают 1–2, локально до 5 г/т. Золоту сопутствует Ag до 5–10, максимум – 50 г/т, Zn – до 3 %, Pb – до 1 %, Cu – до 0,5 %. В магматических породах содержания Au достигают 0,5–2,0 г/т, преимущественно в средних умеренно-щелочных до щелочных дифференциатах (кварцевое сиено-габбро, кварцевый сиенит-порфир, гранодиорит, а также единичные дайки лампрофиров).

Рудовмещающие минерализованные зоны связаны с эндо- и экзоконтактами даек чаро-синского комплекса, зонами брекчирования и трещиноватости карбонатных пород кембрия с кварц-сульфидной-карбонатной минерализацией. Последняя имеет выраженную вертикальную и концентрическую минералого-геохимическую зональность с отчетливыми внутренними

и внешними зонами. Золото приурочено в основном к внутренней и ядерной зоне гидротермально-метасоматической колонки, с вкрапленной, гнездовидной, до прожилково-вкрапленной кремнисто-сульфидно-оксидной минерализацией.

В пределах большинства объектов развита площадная или линейная кора выветривания мощностью около 40–50 м, согласная простиранию основных тектонических структур Чаро-Синской зоны. Породы сложены массивными, ячеистыми кварц-лимонит-глинистыми образованиями, включающих обломки кремней, кварца, халцедона, рудовмещающих карбонатных и терригенных пород. Содержания Au в них достигают 0,4 г/т. При этом можно моделировать и частичное вторичное обогащение продуктов коры выветривания золотом за счет перераспределения его из терригенных пород укугутской свиты, являющейся промежуточным коллектором.

Вертикальная зональность колонки характеризуется увеличением доли минерализации магнетита и сульфидов с глубиной, а также увеличением объема вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализации по сравнению с брекчиевой и брекчиевидной.

Потенциальные рудоносные зоны фиксируются в структурах аномально геохимического поля палеозойского яруса комплексными аномалиями Ba-Zn-Pb-Cu-Y-Li и Fe-Co-Cr-Si состава. При этом в юго-западной части площади, характеризующейся большей степенью эрозионного среза, контрастность данных аномалий в 2–10 раз интенсивнее, чем в северо-восточной и центральной частях. В то же время данные особенности могут быть связаны и с геохимической специализацией рудовмещающих карбонатных отложений. Уточнить эти данные удастся после получения актуальных результатов анализов проб, отобранных к юго-западу от рассматриваемой площади, в долине рек Бол. и Мал. Русская и р. Кубалах, где оруденение имеет большее развитие и обнажаются нижележащие породы чарской, ичерской и олекминской свит.

Вышеперечисленные критерии оруденения, включая литологический, тектонический, гидротермально-метасоматический, магматический, геохимический и геоморфологический, имеют закономерное отражение в структурах аномальных геофизических полей и трансформант. Комплексный анализ аэрогеофизических материалов проводился на основе формализованного прогноза по комплексу геофизических признаков, которые были изучены с применением эталонов, в качестве которых были выбраны участки представительных рудопроявлений, выявленных на площади работ.

В качестве эталона золоторудной малосульфидной формации было использовано рудопроявление Хара-Балык [2]. В результате анализа были выделены локальные области высокой степени сходства с данным эталоном, расположенные вдоль системы даек сиенитов Чаро-Синской зоны и тяготеющие полям выходов кембрийских пород.

Эталоном золоторудной формации кор выветривания послужило рудопроявление Усть-Намыльдиллахское [2]. В результате были выявлены локальные участки высокой степени сходства с данным эталоном, тяготеющие к областям перекрытия кембрийских пород нижнеюрскими осадками.

Выделены 8 участков, перспективных на выявление залежей золотокварцевой малосульфидной формации и пространственно связанных с ней залежей золоторудной формации кор выветривания. Рудные залежи золоторудной формации кор выветривания формируются в процессе разрушения залежей золоторудной малосульфидной формации и переотложения продуктов разрушения в карстовых полостях и корах выветривания. Данные перспективные участки приурочены к зоне северо-восточного простирания, располагаясь вдоль системы даек сиенитов чаро-синского комплекса. Все участки характеризуются относительно сходной проявленностью прогнозно-минерагенических факторов, что не позволяет их ранжировать по степени перспективности.

Выделены 2 участка, перспективных на выявление золоторудных залежей золото-скарновой и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Данные участки приурочены к погребенным штокам сиенитов, положение которых предполагается по данным магниторазведки. Аналогичный шток закартирован в районе г. Олекминска. К его экзоконтакту приурочена скарновая железорудная и золоторудная минерализация. На сопредельных с юга территориях с интрузиями сиенитов связаны золоторудные залежи сульфидно-кварцевой формации (Лебединский тип).

Полученные результаты могут быть использованы в качестве методической основы прогноза при проведении в 2025–2027 гг. работ по геологическому картированию площади листов P-51-XXXI и P-51-XXXII в рамках федерального проекта «Геология. Возрождение легенды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов А. А. Принципы прогнозирования золотоносных россыпей в нижнем течении р. Чары // Металлоносность осадочных и магматических комплексов средней Лены : сборник научных трудов. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1995. – 128 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Анабаро-Вилюйская. Лист P-52 – Якутск. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ». – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2022. – 290 с.
3. Гузев В. Е., Козлов Г. А., Терехов А. В. [и др.] Чаро-Синский дайковый пояс (среднее течение р. Лена): локальный U-Pb возраст циркона и петролого-геохимические особенности // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 87. – С. 28–41.
4. Киселев А. И., Константинов К. М., Ярмолюк В. В., Иванов. А. В. Чаро-Синский дайковый рой в структуре среднепалеозойской рифтовой системы // Доклады АН. – 2016. –Т. 471, № 2. – С. 209–213.
5. Масайтис В. Л., Михайлов М. В., Селивановская Т. В. Вулканизм и тектоника Патомско-Вилюйского среднепалеозойского авлакогена // Тр. ВСЕГЕИ. Новая сер. – Т. 192. – М. : Недра, 1975. – 183 с.

Колова Е. Е., Глухов А. Н. (gluhov76@list.ru)

ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан

ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА В МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ

Выполнен анализ электронных кадастров месторождений и рудопроявлений Au и других металлов Магаданской области. Показано, что существенными факторами, влияющими на результативность геологоразведочных работ, являются хронологический период их проведения, который определялся технологическим уровнем и тенденциями изучения, а также удаленность территорий поисков от инфраструктуры.

Ключевые слова: кадастр, рудный объект, анализ, хронология.

Поиски месторождений золота на территории нынешней Магаданской области ведутся начиная с 1929 г. Огромный массив поисковых данных, накопленных за этот период, в сжатом конспективном виде содержится в различных кадастрах месторождений и рудопроявлений (КМиРП), которые прилагаются к картам полезных ископаемых различных масштабов. В 1994 г. в СВКНИИ ДВО РАН коллективом под руководством С. В. Ворошина были начаты работы по составлению сводных электронных КМиРП, которые являлись составными частями региональных ГИС-проектов по геологии и полезным ископаемым Магаданской области [1, 2]. Их информационной основой являлись авторские оригиналы карт В. М. Кузнецова и др. (1998 г.) и Н. Г. Маннафова и др. (1999 г.) масштаба 1 : 500 000, перекрывающие всю территорию Магаданской области и представляющие собой комплекты геологических карт, карт полезных ископаемых, объяснительных записок и кадастров полезных ископаемых. Они содержали в сумме более 1700 объектов ранга месторождения, рудопроявления, пункта минерализации. ГИС и электронные кадастры к ним пополнялись и совершенствовались вплоть до начала 2010-х годов, однако затем занимавшийся ими коллектив прекратил существование. Последние годы проект, размещенный на портале СВКНИИ ДВО РАН, не поддерживался и фактически был нефункционален. Тем не менее нам удалось, взяв за основу данные материалы, провести анализ

содержимого электронных КМиРП Магаданской области и на его основании наметить некоторые важные моменты, касающиеся результатов поисков месторождений золота и других металлов в регионе за весь период.

Прежде всего отметим, что анализ изученности рудных объектов очень четко показывает хронологический рубеж 1970 г., после которого количество вновь выявленных объектов выросло почти в два раза. Причина в том, что именно на период конца 1960-х – начала 1970-х годов приходится технологическая революция в системе Министерства геологии СССР. Во-первых, в геологоразведочные экспедиции начали широко поступать бульдозеры Т-130 с гидравлическим управлением отвалом. Это дало возможность проходить канавы и траншеи со скоростью и качеством, недостижимыми при старой ручной буровзрывной технологии. Во-вторых, промышленностью был освоен выпуск колонковых буровых станков унифицированной серии СКБ, которые позволяли эффективно осуществлять алмазное бурение, в том числе сдвоенными колонковыми трубами и снарядом со съемным керноприемником. Скорости бурения выросли в разы – с 5–10 до 20–40 м в смену. В результате стало возможным оценивать перспективные участки за один-два полевых сезона и без применения подземных горных выработок. В-третьих, в экспедициях стал широко внедряться приближенно-количественный спектральный анализ (ПКСА), что позволило кратно повысить эффективность геохимических поисков.

Тем не менее изученность рудных объектов в целом низка; для 43 % ограничивается маршрутами с отбором точечных проб. Хотя 57 % объектов, содержащихся в кадастре, изучены горно-буровыми работами (ГБР), однако лишь 8 % изучены на глубину скважинами и подземными выработками. Запасы и прогнозные ресурсы категории P_1 (то есть геометризованное количество ПИ) подсчитаны на 19 % объектов, причем из общего их числа (227) лишь 92 были изучены до 1970 г., из которых 43, будучи начатыми поисками и разведкой в 1940–1960-е гг., перешли в «новую эпоху» изучения после 1970 г. Всего 3 % месторождений были вовлечены в промышленное освоение, причем из 135 рудных объектов, изучение которых было начато после 1970 г., освоены 18 %, а для объектов «до 1970 г.» данный показатель составил 11 %. То есть после технического перевооружения экспедиций Мингео СССР эффективность ГРР возросла почти вдвое! Другой важный вывод заключается в том, что рудопроявления, на которых ГБР были проведены, но геометризованное количество ПИ в недрах не было подсчитано, являются важным источником объектов, перспективных для переоценки и продолжения ГРР. Причина в том, что многие перспективные пункты минерализации и геохимические аномалии, получавшие высокие оценки прогнозных ресурсов по категории $P_2 + P_3$, в дальнейшем заверялись единичными канавами, количество и расположение которых часто не позволяло вскрыть наиболее рудоносные участки и объективно оценить потенциал объекта. Например, месторождения Глухаринского золоторудного узла на Приколымском поднятии. Другой распространенный случай, когда ГБР после получения первых результатов волевым порядком прекращались руководством экспедиций и производственных геологических объединений по политическим и иным не зависящим от геологических соображений причинам. Например, медно-порфировое рудопроявление Пиритовое. Важным обстоятельством является отсутствие для 70 % объектов данных о химическом и минеральном составе руд, так как для них имеются данные лишь о содержаниях золота и (реже) серебра. При этом в случаях, когда сведения о содержаниях элементов-примесей все-таки присутствуют, они представлены данными ПКСА и намного реже – атомно-абсорбционного. Лишь с начала 1980-х годов в регионе стал доступен микрорентгеноспектральный анализ, а до этого диагностика минералов выполнялась оптическими способами, результатом чего является низкая степень и качество изученности минерального состава руд.

Учет территориального размещения месторождений и рудопроявлений из электронного КМиРП Магаданской области также позволяет выявить любопытные закономерности. Из известных рудных объектов 92 % сосредоточены на расстоянии до 80 км относительно автодорог общего пользования, а остальные 8 % распределены на 20 % (90 тыс. км^2) территории региона, в районах, удаленных от дорог, ЛЭП и населенных пунктов на 100–400 км. Следовательно, поисковыми работами были охвачены преимущественно более или менее освоенные и населенные районы. Абсолютное большинство медно-порфировых рудопроявлений сосредоточено в Примагаданском районе и на удалении не более 50 км от побережья Охотского моря. Именно

здесь в 1975–1988 гг. Центральной комплексной тематической экспедицией Северо-Восточного ПГО проводились целенаправленные поиски объектов такого типа под руководством Ю. П. Скибина. Поэтому логично предположить, что отсутствие медно-порфировых месторождений в других районах обусловлено не их слабым металлогеническим потенциалом. Абсолютное большинство Ag-Pb-Zn месторождений и рудопроявлений сконцентрировано в Балыгычано-Сугойской зоне, и в первую очередь не по причине ее уникальной продуктивности, а потому, что именно здесь велись активные поиски и разведка объектов такого типа для обеспечения минерально-сырьевой базой Дукатского ГОКа и Омсукчанской ЗИФ.

Таким образом, ретроспективный анализ организации и проведения ГРР является важным средством выбора перспективных рудных объектов. Он не требует сложных технологических решений и может быть выполнен в сравнительно сжатые сроки небольшим коллективом квалифицированных геологов, в достаточной степени владеющих материалами по региону.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошин С. В., Зенкевич А. С., Тюкова Е. Э. Региональные геоинформационные системы для геологических исследований: опыт создания и анализа // Тихоокеанская геология. – 2006. – Т. 25, № 5. – С. 22–38.
2. Голубенко И. С., Палымский Б. Ф., Горячев Н. А., Зинкевич А. С., Лямин С. М. Разработка ГИС благороднометалльных месторождений Магаданской области // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2010. – № 1. – С. 57–62.

Конкин В. Д. [1] (Konkin-Viktor@Yandex.ru), Галямов А. Л. [2] (a-galyamov@yandex.ru)
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва, [2] ИГЕМ, г. Москва

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОТИ НАМАМА-КОТЕРСКОГО ПРОГИБА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Охарактеризованы рудноформационные типы месторождений Намама-Няндонинского рудного района, локализованные в толщах, формирование которых обусловлено рифтогенным режимом их накопления в задуговом бассейне на склоне континента и последующими процессами их преобразования в результате тектоно-магматической активизации. Определены перспективы выявления месторождений золота в черносланцевых толщах.

Ключевые слова: геологическое строение; геотектоническая позиция, рудный район; поля, месторождения.

Площадь (около 10 000 км^2) Намама-Няндонинского рудного района расположена в пределах развития рифей-нижнепалеозойских вулканогенно-терригенных, терригенно-флишоидных и карбонатно-терригенных комплексов Намама-Котерского рифтогенного прогиба. В современном структурном плане он представлен ксенолитоподобным клиновидным фрагментом шириной от первых км на юге до 80 км на севере и протяженностью около 200 км среди сложно построенных комплексов гранитоидных образований Баргузино-Витимского батолита.

Основным палеоструктурным элементом изучаемого региона служит асимметрично построенный рифтогенный прогиб рифейского возраста на окраине континента, осложненный грабено- и мульдообразными впадинами вендско-кембрийского заложения и мезо-кайнозойскими рифтогенными впадинами. В строении региона большая роль принадлежит также магматогенным структурам, представленным интрузивными комплексами базит-габбро-анартозитового и гранитоидного ряда рифейского, ранне- и среднепалеозойского времени, осложнёнными зонами продольных и поперечных разломов.

Намама-Няндонинский золоторудный район выделен по совокупности геотектонических, формационных, рудно-минералогических, шлихогеохимических и геохимических факторов на юго-западном фланге Анамакит-Светлинской структурно-металлогенической зоны, входящей в состав и строение Байкало-Муйской золотоносной провинции. Для этой провинции харак-

терно наличие островодужных и рифтогенных комплексов вулканогенных, вулканогенно-терригенных, углеродистых терригенно-флишоидных и терригенно-карбонатных формаций рифейского и вендско-кембрийского возрастов, интрудированных телами палеозой-мезозойских гранитоидов и дайками пестрого состава на этапах тектономагматической активизации региона.

Из выявленных на территории района многочисленных золоторудных проявлений наиболее широким распространением пользуются рудопроявления, относящиеся (согласно классификации ЦНИГРИ) к золото-сульфидно-кварцевой (жил и минерализованных зон) и золото-кварцевой рудным формациям. Выявлены единичные проявления золото-скарновой субформации золото-сульфидно-кварцевой формации. Известны также рудопроявления золотосодержащей полиметаллической жильно-прожилково-вкрапленной (в карбонатных породах) и золото-сульфидной (в черносланцевых толщах) рудных формаций. Морфологически преобладают линейные зоны метасоматитов (березитоидов, лиственитов и окварцевания) с жильной и прожилково-вкрапленной золото-кварц-сульфидной минерализацией по разнообразным комплексам пород.

На территории Намама-Няндонинского района установлены многочисленные рудопроявления, пункты минерализации, первичные и вторичные геохимические аномалии, шлиховые ореолы и потоки рассеяния *золота, молибдена, вольфрама, меди, свинца и цинка.* В четвертичных аллювиальных и делювиально-пролювиальных отложениях локализованы золотоносные россыпи, часть из которых ранее отрабатывалась. Подчиненное значение имеют пункты минерализации никеля, кобальта, *металлов платиновой группы (МПГ)*, бериллия, тантала, ниобия, урана, сурьмы и ртути.

Рудопроявления золота локализуются в зонах дробления, катаклаза и рассланцевания в гранитоидных массивах витимканского комплекса с выходом во вмещающие породы в экзоконтактовых и приапикальных частях интрузивов, а также в метаморфизованных вулканогенно-осадочных и флишоидных углеродистых формациях раннего протерозоя и рифея (нюрундуканская, уколкитская, няндонинская и баргузинская свиты). Ряд золоторудных проявлений вмещают метагабброиды и гранитоиды раннепротерозойских муйского и баргузинского комплексов, габброиды рифейского икатского и раннепалеозойского бирамьинского комплексов, а также карбонатно-терригенная и карбонатная формации венда-кембрия.

Наиболее продуктивными формациями, в которых сконцентрировано подавляющее большинство выявленных рудопроявлений *золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формаций, являются*:

- терригенно-вулканогенная слабоуглеродистая (уколкитская свита);
- флишоидные туфогенно-карбонатно-терригенная слабоуглеродистая и углеродисто-кремнисто-терригенно-карбонатная субформации (нижняя пачка няндонинской свиты);
- тоналит-гранодиорит-граносиенит-гранитовая (витимканский комплекс).

Рудопроявления *жильно-прожилково-вкрапленной* золото-полиметаллической *формации* локализуются в карбонатных отложениях бирамьинской свиты раннего кембрия (карбонатная известняково-доломитовая формация), а золото-сульфидной – в углеродистых карбонатно-глинистых отложениях няндонинской свиты (флишоидная кремнисто-карбонатно-сланцевая углеродистая формация). Проявления *золото-кварцевой формации* и неустановленной формационной принадлежности встречены на ряде площадей в терригенно-карбонатных и терригенных отложениях баргузинской свиты (терригенно-карбонатная и терригенная флишоидная алевролит-песчаниковая субформации), а также в гранитоидах баргузинского комплекса.

В единичных случаях выявлены геохимические аномалии молибдена и никеля в полях развития черносланцевых толщ, в которых установлена сульфидная минерализация (пирит, герсдорфит и др.), указывающая на возможность выявления объектов молибден-никелевых благороднометалльных руд южнокитайского типа. В обнажениях разреза туфогенно-углеродистых толщ междуречья Яксай и Ангиджан (рудопроявление Правый Яксай) в штуфных пробах установленные содержания платины и палладия достигают 0,55 г/т, причем в 19 пробах из 35 содержания МПГ составляют более 0,1 г/т. Помимо платины и палладия присутствуют осмий, иридий, рутений и родий. Здесь же выявлены высокие концентрации (до 13 г/т) золота, а в 12 пробах из 18 содержания золота превышают 1 г/т.

При выделении потенциально перспективных площадей использованы статистические методы компьютерной технологии выявления закономерностей пространственного размещения рудных объектов в связи с различными геологическими факторами – вмещающими породами, структурными формами геологических тел, тектоническими нарушениями, гидротермальными изменениями пород.

Структурно-вещественными комплексами, вмещающими золотое оруденение, служат:

• метаморфизированные образования раннепротерозойского этажа, представленные сланцами и вулканитами (нюрундуканская свита), а также мафит-ультрамафитовыми породами муйского комплекса интрудированные гранитоидами витимканского комплекса и дайками;

• формации рифей-раннепалеозойского структурного этажа, включающие терригенно-вулканогенную (уколкитская свита), флишоидную кремнисто-карбонатно-сланцевую углеродистую с фацией эффузивов и туфов основного состава (няндонинская свита);

• формации палеозойского структурного этажа, представленные продуктивными гранитоидными комплексами, дайками пестрого состава и раннекембрийской карбонатной известняково-доломитовой формацией;

• кремнисто-глинисто-карбонатные формации с фацией углеродистых сланцев баргузинской свиты, а также в габброидах икатского и бираимьинского интрузивных комплексов.

Наиболее перспективные площади для выявления месторождений золото-сульфидно-кварцевой формации, включая стратоидную золоторудную формацию в черносланцевых толщах, установлены на *Правояксайско-Ангиджанской площади в породах черносланцевой толщи няндонинской свиты с признаками благороднометалльной (золото и платиноиды) медно-цинково-никелевой минерализации в черносланцевых толщах флишоидного строения.*

Выявленные золоторудные проявления локализуются в пределах около интрузив-надынтрузивных зон гранитоидов. Ведущими из них выступают интрузии гранит-гранодиоритовой (витимканский комплекс 2-я фаза) и габбро-монцонит-диоритовой (витимканский комплекс 1-я фаза) формаций. Среди стратифицированных формаций ведущими в локализации золотого оруденения являются терригенно-вулканогенные породы с фациями эффузивов и туфов основного и кислого составов, туфопесчаников, углеродистых сланцев и известняков уколкитской свиты; флишоидные туфогенно-карбонатно-терригенные углеродистые толщи няндонинской свиты; карбонатные известняково-доломитовые породы бирамьинской свиты. Подчиненное значение имеют вулканогенно-карбонатно-сланцевые толщи с фациями основного состава и амфиболитов нюрундуканской свиты.

Рудоконтролирующая роль разрывной тектоники проявлена в размещении большинства известных золоторудных объектов в зонах влияния Ангаро-Светлинской и Няндонинской систем разломов северо-восточного направления. При преобладающей северо-восточной ориентировке разрывных структур предполагается рудоконтролирующее значение скрытых разломов северо-западного простирания, которые обусловили линейно-узловой тип распределения золотого оруденения в районе.

Относительное сходство региональных и локальных критериев и признаков золотоносности Намама-Няндониского рудного района с черносланцевыми толщами, в том числе фациально изменчивыми по латерали толщами Олокито-Мамского района Ленской провинции, указывает на возможность выявления в них стратоидных золото-сульфидно-кварцевых месторождений среднего масштаба.

Рекомендуется провести специализированные поисковые работы на благородные и цветные металлы, в том числе нетрадиционных геолого-промышленных типов, с использованием современных геолого-геохимических и геофизических методов и методик с отражением их результатов на уточнённой структурно-формационной основе с фациальными особенностями состава и строения черносланцевых формаций.

Консепсьон Брито Педро Луис [1], Яния Педраза Розон [1], Лейди Фронтела Бенитес [1], Двуреченская С. С. [2], Гирфанов М. М. [2], Куликов Д. А. [2], Сватков А. С. [2]
[1] Geominera S. A., г. Гавана, Республика Куба; [2] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ ЦИНКОВО-МЕДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРЛОТА, РЕСПУБЛИКА КУБА

Выполнена экспертная оценка золотоносности зоны окисления стратоидного цинково-медного месторождения Карлота в терригенно-карбонатных толщах (ирландский тип) в северной части массива Эскамбрай, Центральная Куба. Отобраны и изучены пробы материала «железной шляпы» рудного тела. Оценка золотоносности руд необходима для современной геолого-экономической переоценки объекта.

Ключевые слова: месторождение Карлота, полиметаллические руды, медь, цинк, золото, зона окисления, железная шляпа.

Рудный узел Карлота-Виктория-Гуачинанго с полиметаллическим (медно-цинковым) оруденением представляет собой один из потенциально перспективных проектов на территории Республики Куба [4].

Месторождение частично отработано в первой половине XX века, в конце 1960-х гг. разведано бурением. По разведанным запасам месторождение относится к мелкому-среднему классу. Месторождение Карлота представлено серией параллельных пластообразных субсогласных залежей, приуроченных к смятой в крупные складки (вулканогенно)-углеродисто-терригенно-карбонатной толще юрского возраста [2]. Предшествующими исследователями оно предположительно относится к типу SEDEX, или к его разновидности – ирландскому типу [4], либо к полигенным и полихронным образованиям [2].

Главные рудные минералы первичных руд – пирит (90–98 %), пирротин (2–5 %), сфалерит (1–3 %), халькопирит (1–5 %), второстепенные – марказит, галенит, теннантит; нерудные – кварц, доломит-анкерит, графит, хлорит. Основной объем залежей сложен рудами слоисто-полосчатой текстуры с чередованием слоев существенно пиритового и полиминерального состава и обильными прослоями вмещающих сланцев или кварц-карбонат-графитовых агрегатов. Менее развиты руды массивной, брекчиевой и прожилково-гнездово-вкрапленной текстур [1].

Длина рудных тел по простиранию колеблется от 100 до 800 м, по падению – от 100 до 300 м; средняя мощность – от 5 до 20 м. Зона окисления имеет переменную мощность от 5 до 55 м. В верхней части сульфидных рудных тел месторождения Карлота и других месторождений рудного узла в зоне окисления развиты «железные шляпы», которые изучены недостаточно. Предполагается, что в этих образованиях происходит дополнительное концентрирование Au. Установленные содержания полезных компонентов в первичных рудах: Cu 0,64–1,86 %, Zn 0,45–3,2 %, Co 0,01–0,1%, Au до 0,2– 1,5 г/т; в окисленных: Au 0,1–0,9 г/т и Ag 1–7 г/т.

В связи с небольшими выявленными запасами основных полезных компонентов – меди и цинка большое значение имеет оценка попутной золотоносности руд. Как и для других месторождений колчеданного типа наибольший интерес представляет золотоносность «железных шляп» зоны окисления, благоприятных для извлечения золота, в отличие от первичных сульфидных руд.

Для изучения характера золотоносности окисленных колчеданных руд месторождений рудного узла нами были проанализированы четыре пробы материала «железной шляпы», отобранные из старых поверхностных разведочных горных выработок и элювиальных развалов на месторождении Карлота. Материал проб представляет собой пористые агрегаты гипергенных оксидов железа. Рентгенофазовый анализ показал, что в их составе присутствуют гетит (80 %) и кварц (20 %). Кроме того, из делювия была отобрана и отмыта одна шлиховая проба.

Исследования аншлифов показали, что материал «железной шляпы» сложен как псевдоморфозами гетита по пириту, пирротину и халькопириту (отмечаются микроскопические реликты указанных минералов), так и колломорфно-полосчатыми агрегатами «свежеосажденных» гидроксидов железа. Микроскопически видимое самородное золото (> 1 мкм) в аншлифах не обнаружено.

В результате исследования монтированных аншлифов из протолочек с использованием сканирующего электронного микроскопа в оксидах железа выявлены микровыделения гипергенного самородного золота (без примеси серебра), размеры которых составляют преимущественно 200–500 нм (рис. 1).

В шлиховой пробе из делювия обнаружены три знака самородного золота размерами 0,03–0,12 мм (рис. 2). Форма золотин неправильная, пробность варьирует от 830 до 1000 ‰.

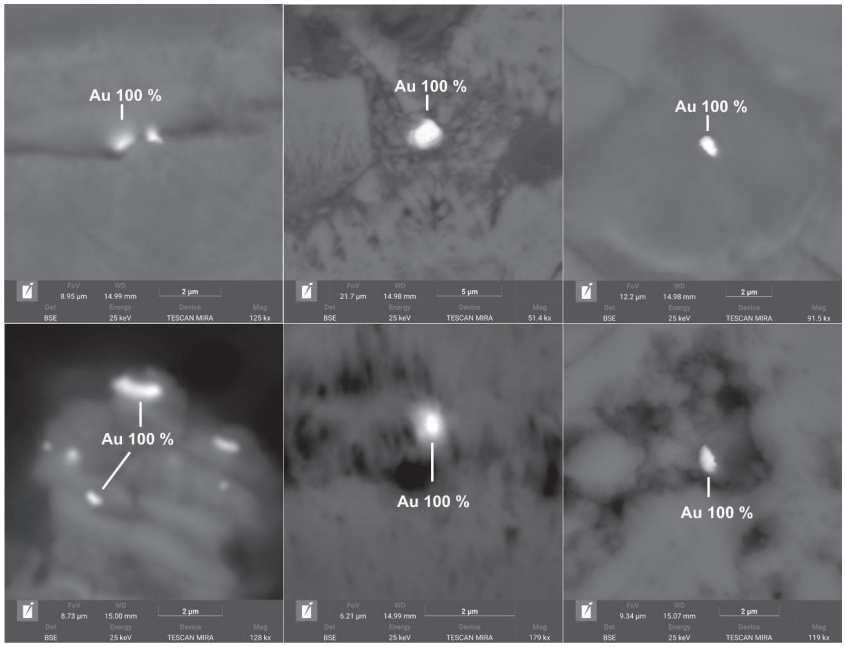


Рис. 1. Микрочастицы самородного золота в гетите из материала «железной шляпы» месторождения Карлота:
монтированный аншлиф из протолочек; изображение в отраженных электронах с данными рентгеноспектрального микроанализа

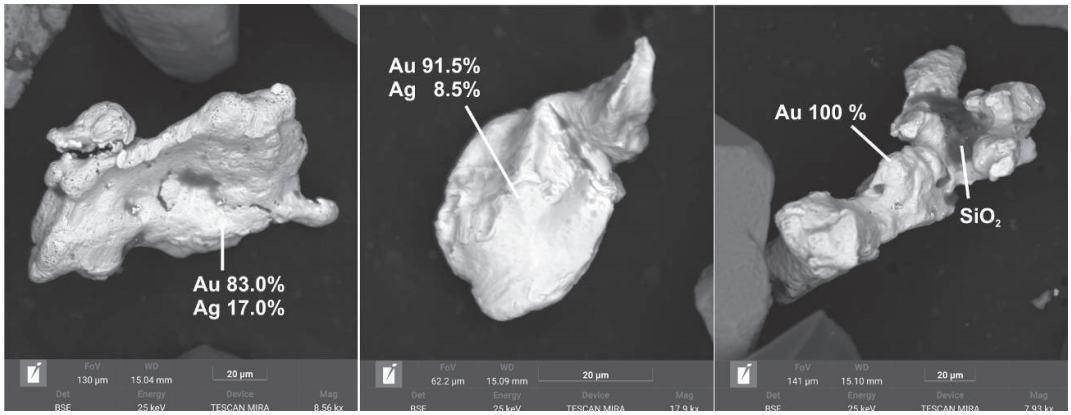


Рис. 2. Самородное золото в шлиховой пробе из делювия участка выхода «железной шляпы» месторождения Карлота:
изображение в отраженных электронах с данными рентгеноспектрального микроанализа

Установленные содержания золота в проанализированных пробах варьируют от 0,3 до 1,4 г/т, что близко соответствует интервалу максимальных содержаний Au в первичных рудах. Из других элементов повышенными содержаниями выделяется медь (0,02–0,3 %), которая рассеяна в массе оксидов железа в форме куприта.

Таким образом, выполненными исследованиями подтверждена устойчивая золотоносность «железной шляпы» месторождения Карлота, а также выявлены признаки россыпной золотоносности делювиальных отложений в пределах участка месторождения. Количественная оценка

золотоносности месторождения Карлота и других месторождений рудного узла может быть дана после выполнения систематического опробования «железных шляп» сульфидных рудных тел, а также делювиальных отложений, по регулярной сети на глубину их распространения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчеданные месторождения мира / Под ред. акад. В. И. Смирнова. – М. : Недра, 1979. –284 с.
2. Рудные месторождения Кубы / Отв. ред. Н. П. Лаверов, Ю. Ю Бугельский, О. Васкес и др. – М. : Наука, 1985. – 243 с.
3. Cartera de oportunidades de negocios en Cuba con capital extranjero para el sector de la geologia y la mineria (Возможные проекты для внешних инвестиций в области геологоразведки и добычи полезных ископаемых на Кубе). Презентация. – La Habana : GeoMinera S. A., 2018. – 67 p.
4. Metalogenia de Cuba. Memoria explicative del Mapa Metalogenico de la Republica de Cuba a escala 1 : 250 000 / Jorge L. Torres Zafra y Xiomara Cazanas Diaz, eds. – La Habana : IGP, Servico Geologico de Cuba, 2017. – 94 p.

Конюхов А. А., Алексеев А. С. (aleksrybinsk@gmail.com)
ООО «Минералис»

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКА МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В НИЖНЕМ ПРИАМУРЬЕ НА ПРИМЕРЕ КОВРИЖНЕНСКОЙ ПЛОЩАДИ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Расположенная в Хабаровском крае (Нижнее Приамурье) Коврижненская площадь и попадающие в пределы неё золото-молибден-меднопорфировые рудопроявления Горбатый и Коврижненское являются наиболее перспективными объектами для поиска меднопорфировых месторождений на Дальнем Востоке и будущей их отработки.

Ключевые слова: золото, медь, Коврижненская площадь, меднопорфировые месторождения, Нижнее Приамурье, Дальний Восток.

Коврижненская площадь (рис. 1) располагается в Хабаровском крае на границе Ульчского района и района им. Полины Осипенко, в междуречье Амгунь − Бичи (Нижнее Приамурье). Район Нижнего Приамурья известен наличием крупных золоторудных месторождений (Чульбаткан, Многовершинное, Албазино, Полянка, Белая Гора, Благодатное). Помимо собственно золоторудных месторождений, в районе распространены золото-молибден-меднопорфировые рудопроявления – это золото-меднопорфировые рудопроявления Тырское, Кентавр и Горбатый, а также молибден-золото-меднопорфировое рудопроявление Коврижненское. Последние три из вышеперечисленных рудопроявлений попадают в пределы Коврижненской площади.

Медно-порфировые месторождения являются основным источником меди и молибдена в мире, а также одним из основных источников золота [1]. Сихотэ-Алинский пояс как часть Тихоокеанского огненного кольца, где достаточно распространены меднопорфировые месторождения, является на данный момент наиболее перспективным его участком на обнаружение медно-порфировых месторождений. Слабое развитие инфраструктуры значительно замедляло темпы геологического изучения данной территории, поэтому на сегодняшний день известны только два крупных месторождения на территории Дальнего Востока и Северо-Востока РФ – Малмыж и Песчанка. Запасы золото-меднопорфирового месторождения Малмыж составляют более 8 млн т меди и 347 т золота; на месторождении подходит к завершению процесс строительства ГОКа. При этом потенциал открытия аналогичных объектов ещё не исчерпан: на золото-медно-порфировом рудопроявлении Тырское и его окрестностях на сегодняшний день активно продолжаются поисково-оценочные работы, по результатам которых планируется защита ТЭО ВК и постановка на баланс ещё одного золотого-медного месторождения на Дальнем Востоке. Тырское рудопроявление и вышеперечисленные перспективные рудопроявления Коврижненской

площади в совокупности могут стать основой нового кластера добычи меди и золота в Нижнем Приамурье.

Ковриженская площадь входит в состав Херпучи-Ваюнского рудного узла (*Au, Mo, Cu, Ag*), представляющего собой тектонический блок, насыщенный интрузиями диорит-гранодиоритовой и гранитовой формаций позднемелового и палеогенового возраста. С запада и востока район ограничен близмеридиональными глубинными разломами – Имским (Лимурчанским) и Орельским (Орель-Кизинским); южная граница отвечает Бичинскому, а северная – Дальжинскому разломам. Интрузии прорывают мощный комплекс терригенных отложений преимущественно нижнемеловой флишевой формации. Оруденение приурочено ко штоку метасоматически измененных палеогеновых гранит-порфиров, прорывающих позднемеловые гранодиориты.

В результате работы предшественников (Таюрский Д. Н., 1960ф; Кайдалов В. А., 1986ф), а также современных работ в рамках лицензионных обязательств было выявлено два наиболее перспективных рудопроявления на территории Ковриженской площади: золото-меднопорфировое рудопроявление Горбатый и молибден-золото-медно-порфировое рудопроявление Ковриженское.

По данным предшественников (Таюрский Д. Н., 1960ф), в пределах рудоносного штокверка Ковриженского рудопроявления площадью 2 км^2 по данным горных работ средние содержания молибдена составили 0,007–0,008 %. Тогда же в центральной части проявления было пробурено две вертикальных скважины, которые показали содержания на уровне (0,0n %) как молибдена, так и меди. В результате поисковых работ 2013–2014 гг. на проявлении установлено, что площадь контрастных (> 0,01 % молибдена) аномалий составляет более 1 км^2.

На рудопроявлении Горбатый (рис. 1) в результате поисковых работ были выявлены магнитные аномалии и крупная (~ 4 × 2 км) контрастная золото-медная аномалия во вторичных ореолах рассеяния с содержанием золота > 10 ppb и меди > 0,01 %.

Рудопроявления Горбатый и Ковриженское близки по площади проявления аномалий с от-

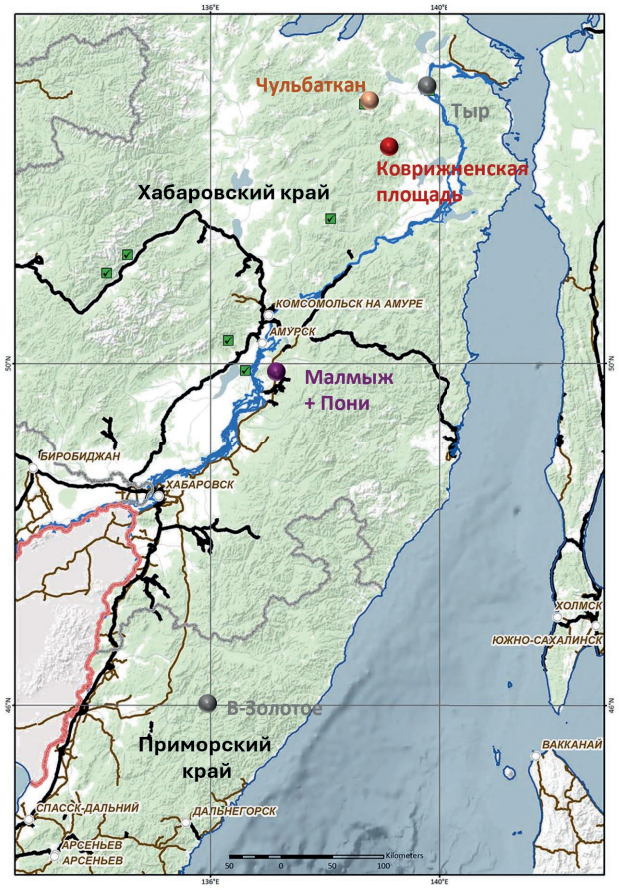


Рис. 1. Схема расположения Ковриженской площади

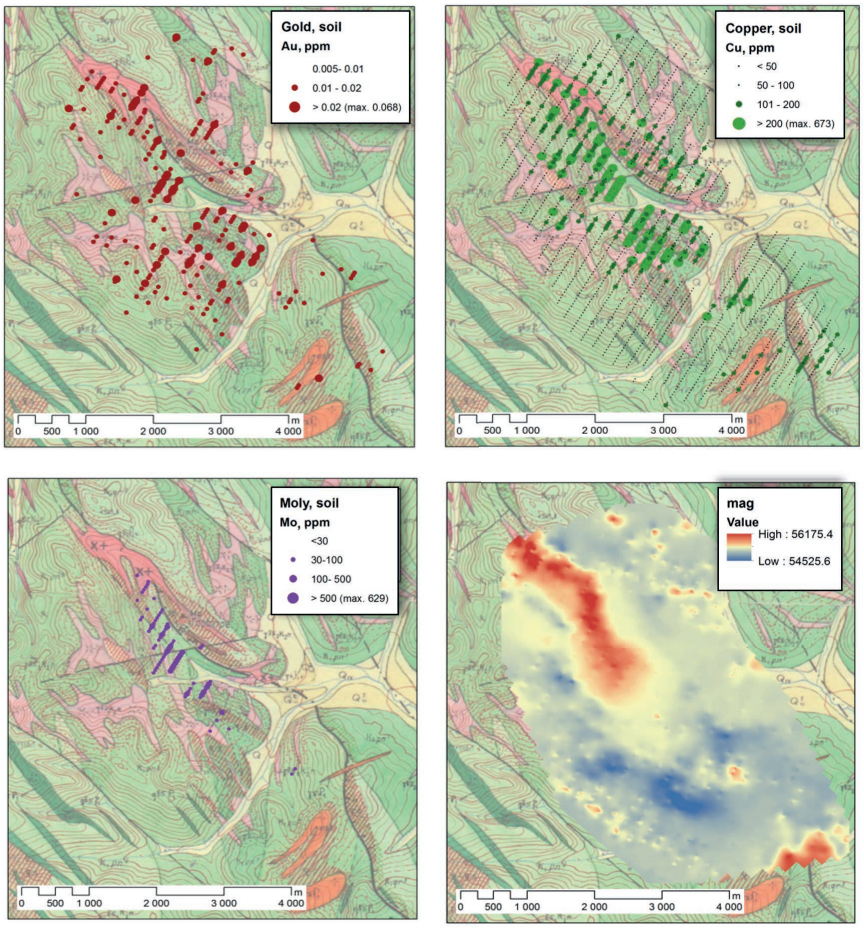


Рис. 2. Результаты геохимической и геофизической съёмки на рудопроявлении Горбатый

дельными центрами медно-порфировой минерализации месторождения Малмыж, такими как Центральный, Равнина, Долина и Свобода.

Минимальные ожидаемые ресурсы категории P_3 (данные геохимического опробования на глубину 200 м) составляют: меди – 530 тыс. т, молибдена – 40 тыс. т, золота – 15 т, серебра – 1800 т. Поскольку вертикальный размах оруденения в медно-порфировых системах превышает 1 км, можно ожидать кратное увеличение ресурсной базы до 1–5 млн т медного эквивалента. А с учетом незначительной эродированности рудопроявлений площадь сохраняет потенциал для обнаружения крупных промышленных объектов золото-молибден-меднопорфирового типа.

Тектоническая позиция, геологические характеристики и геофизическая модель рудопроявлений, а также контрастность и масштаб комплексных (золото, медь, молибден) геохимических аномалий вышеописанных рудопроявлений соответствуют типичным средним или крупным меднопорфировым месторождениям в России и мире. Таким образом, наиболее перспективным объектом для поиска новых золото-молибден-меднопорфировых объектов на территории Дальнего Востока является Коврижненская площадь с перспективными участками Горбатый и Коврижненский.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Economic Geology. – 2010. – V. 105. – P. 3–41.

Копылов М. И. (michil.kopa@gmail.com)
ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ ОКТЯБРЬСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА

В работе изложены перспективы золоторудных месторождений в пределах Октябрьского рудного узла, с использованием моделей узла, рудных зон и тел. В пределах развитых метасоматических полей выделены линейные структуры, несущие золоторудную минерализацию, и тектонические нарушения, играющие роль структурных барьеров.

Ключевые слова: золото, месторождения, Октябрьский рудный узел, рудные зоны, модели.

Октябрьский золоторудный узел расположен в северной части Сихотэ-Алинского рудоносного пояса. Геологическое строение узла характеризуется широким развитием интрузивных пород диорит-гранодиоритовой формации позднего мела и палеогена, слагающих Маловьюнский массив и ряд мелких штокообразных и трещинных тел, прорывающих нижнемеловые терригенные отложения флишоидной формации. В юго-восточной части узла расположен Вьюнский горстообразный блок, сложенный породами триас-юрской вулканогенно-кремнистой и нижне-среднеюрской аспидной формаций, не несущих какой-либо полезной минерализации.

По геофизическим и морфометрическим данным район выделяется как единая положительная морфоструктура, имеющая диаметр более 25 км, разбитая разломами разных уровней. Это находит подтверждение, так как при сменах геодинамических режимов происходят вертикальные движения блоков. Октябрьский блок с внедрением значительных объемов гранитоидов нижнеамурской серии резко воздымается (на величину около 200 м), а Чаятынский блок опускается (на глубину 100 м) в связи излиянием вулканических пород из промежуточной камеры, находящейся на глубине 2–3 км (по данным интерпретации Δg).

Для выделения наиболее перспективных площадей в пределах Октябрьского рудного узла было использовано построение геолого-геофизических моделей различных уровней.

Геолого-геофизическая модель Октябрьского золоторудного узла создавалась на основе геологических, геофизических, геохимических и петрофизических данных и морфометрического анализа. В поле Δg и ΔT Октябрьский и Чаятынский рудные узлы выделяются как единый узел (названный нами Октябрьским), разделенный Орельским глубинным разломом на два узла, который ограничивает с запада зону блоков приподнятого фундамента, имеет глубинное (коромантийное) заложение и крутое падение. Отдельные его фрагменты имеют наклон к востоку под углом 65°, что позволяет предположить взбросовый характер перемещений (рис. 1). По морфометрическому анализу рельефа и речной сети он также выделяется как единая морфоструктура кольцевого типа, разделенная Орельским глубинным разломом. Почти на всем протяжении к разлому приурочены депрессионные структуры, в связи с чем он недоступен для изучения с поверхности. При сменах геодинамических режимов происходят вертикальные движения блоков. Это находит подтверждение и по размерам очаговой структуры, которая имеет диаметр более 25 п. км; по существующим представлениям, третья часть его длины составит глубину его заложения до верхней кромки 8,0 км. Значительный эрозионный срез Октябрьского рудного поля создал благоприятные условия для образования богатых и многочисленных россыпей золота [1]. Одновременно эрозионный срез уменьшил потенциал коренных золоторудных зон, тел. В соседнем Чаятынском слабоэродированном рудном узле, напротив, отсутствуют россыпи золота, но, в свою очередь, значительно возросло число коренных проявлений не только золота, но и полиметаллической минерализации и наличие верхней части разреза покрова алунитов.

Общей особенностью большинства золоторудных месторождений и рудопроявлений, локализованных в Октябрьским узле, является приуроченность оруденения к полям и зонам, обогащенным калием в результате дорудных метасоматических и гидротермальных процессов [3]. Содержание калия здесь превышает кларковое в 1,5–2 раза, что является благоприятным признаком для выделения полей золоторудных месторождений.

На представленной геодинамической модели становления Октябрьского рудного узла показана динамика его образования, внедрения интрузивных комплексов и проявления Орельского глубинного разлома (рис. 1). Кроме блоковой структуры фундамента, в гравитационном поле четкое отображение находят орогенные структуры – позднемеловые и палеогенные граниты, а также кайнозойские межгорные впадины. По данным проведенных геолого-геофизических работ масштаба 1 : 10 000, на участке Сунгачан в пределах широко развитых полей ороговикования выделены линейные структуры, представленные зонами серицитизации, пропилитизации и окварцевания, отвечающие рудным зонам Сунгачан и Петровской, протрассированные на протяжении более 1 км. По данным опробования бороздовых проб, содержание золота в них колеблется от 0,01 до 6 г/т [2].

Комплексная модель рудных зон и тел типа Сунганчанской и Петровской создавалась по данным геофизических исследований (электроразведка методом СЭП, МКП-ВП, магниторазведка), литохимической съемки масштаба 1 : 10 000 и опробования полотна канав (рис. 2). С помощью поисковой модели решалось несколько задач; поиски, оценки продуктивности (перспективности) выявленных тел, уровень эрозионного среза и др. Следует отметить, что рудные зоны, залегающие в осадочных отложениях Октябрьского рудного узла, формировались в пределах сводового поднятия, где длительное время происходил процесс формирования метасоматичес-

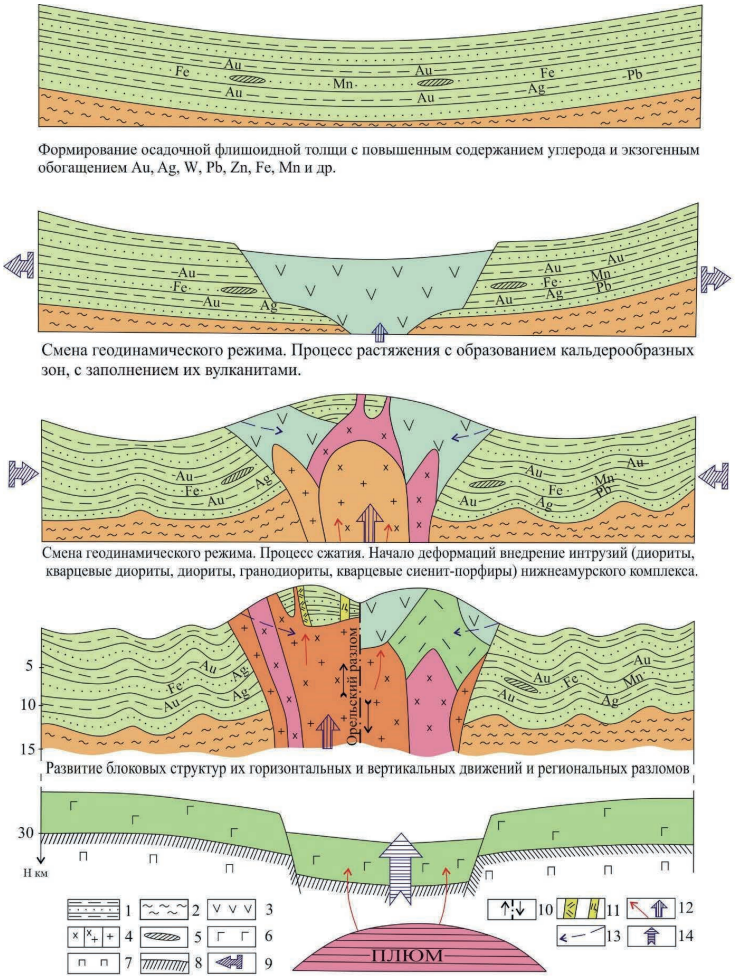


Рис. 1. Геодинамическая модель образования Октябрьского золоторудного узла:
1 – осадочная толща (флишоиды); 2 – породы фундамента; 3 – вулканиты; 4 – нижне-амурский интрузивный комплекс представлен: диоритами, гранодиоритами, гранитами; 5 – диабазы, габбро – диабазы; 6 – базальтовый слой консолидированной коры; 7 – перидотиты; 8 – граница Мохо; 9 – направления сил растяжения и сжатия; 10 – глубинный Орельский разлом и движение блоков с образованием структурного барьера; 11 – зоны минерализации (окварцевания и серицитизации); 12 – направление флюидного потока и движение обогащенных рассолов, гидротерм; 13 – движение вадозных вод; 14 – направление движение флюидного потока с глубинного очага

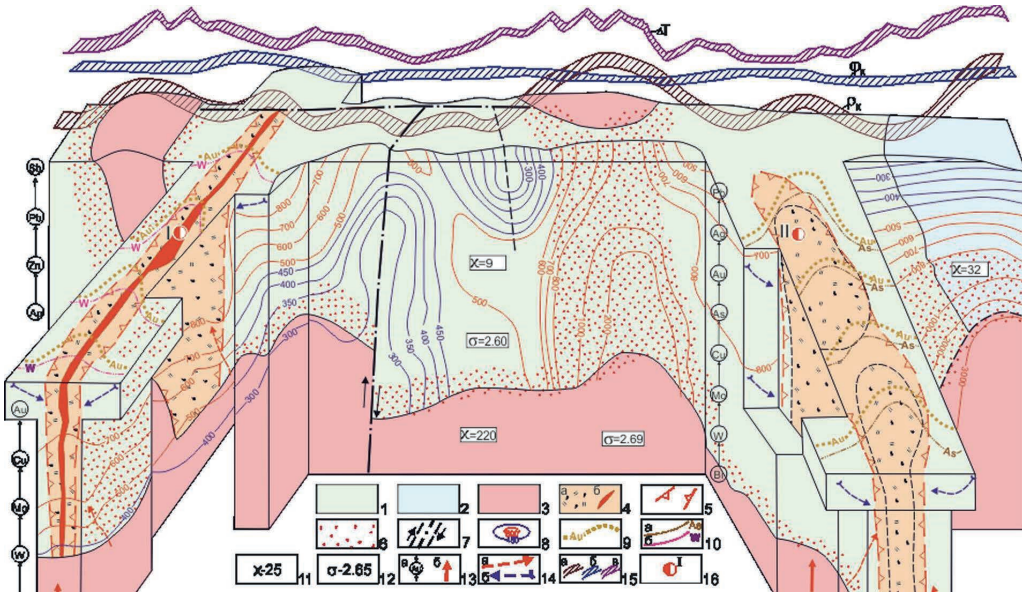


Рис. 2. Геолого-геофизическая модель рудоносных зон Сунгачан и Петровская
1 – флишоидная толща мела ($К_1pn$); 2 – флишоидная толща юры (J_1ks); 3 – гранодиориты; 4 – метасоматиты рудных зон: окварцевание, серицитизация (а), кварцевое прожилкование (б); 5 – контур рудных зон с высоким содержанием золота; 6 – зоны ороговикования; 7 – глубинный разлом, направление движения блоков; 8 – изолинии метода МКПВП; 9 – содержание во вторичных ореолах золота (от 0,01 до 0,08 г/т); 10 – содержание во вторичных ореолах: а – мышьяка (0,006–0,06 %), б – вольфрама (0,0008–0,004 %); 11 – магнитная восприимчивость ($25 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ); 12 – плотность (г/см^3); 13 – геохимическая зональность рудных элементов для зон Сунгачан и Петровская (а) и движение флюидного потока (б); 14 – движение гидротерм (а) и вадозных вод (б); 15 – графики: а – $\rho_к$ СЭП (500–5000 Омм), б – $\varphi_к$ СЭП (0,3–0,8 градусов), в – $_{\Delta}T$ (50–150 нТл); 16 – рудопроявления: I – Сунгачан, II – Петровское

кой колонны и соответственно рудные тела имеют более контрастный по физико-механическим и геохимическим свойствам метасоматический чехол относительно вмещающих пород [2].

Магнитометрический параметр ΔT надежно определял положение золоторудных тел в том случае, если эти минерализации сопровождались пирротином или магнетитом: тогда он выступал в роли прямого индикатора. Параметр ΔT так же успешно использовался в случае потери породами (андезиты, дациты, риолиты) магнитности в результате метасоматических изменений (серицитизация, хлоритизация, окварцевания), происходящих при рудном процессе. При ороговиковании вмещающих осадочных пород происходит привнос магнетита, что влечет повышении магнитной восприимчивости и соответственно поля ΔT.

Геофизические параметры на стадии локального прогнозирования наиболее многочисленны, основными из них являются поляризуемость ($ф_к$), электрическое сопротивление ($\rho_к$), нестационарное магнитное поле, естественная радиоактивность (γ) и гамма-спектрометрические параметры (U, Th, K). К наиболее информативным из геофизических параметров относится $ф_к$ метода ВП, используемый в различных модификациях и целях (СЭП и МКП-ВП). Геохимическими критериями служили повышенные содержания в вторичных и первичных ореолах рассеяния Au, Ag, Cu, Pb.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В. А Основы минерагении золота. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – 262 с.
2. Копылов М. И. Особенность интерпретации геолого-геофизических данных при локальном прогнозировании в рудных районов // Геофизические исследования Урала и сопредельных регионов. – 2008. – С. 62–65.
3. Романовский Н. П., Малышев Ю. Ф., Дуан Жуйянь [и др.] Золотоносность Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. – 2006. – Т. 25, № 6. – С. 3–15.

Костровицкий С. И. (serkost@igc.irk.ru)
Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск

КИМБЕРЛИТЫ, ИХ ПЕРВИЧНЫЙ СОСТАВ, АЛМАЗОНОСНОСТЬ

Рассмотрена модель формирования кимберлитов. Ее основные положения: 1) источник кимберлитов – астеносферный расплав; 2) астеносферный расплав дифференцировал на фазы, характеризующиеся существенно карбонатным и карбонатно-силикатным составами; 3) в зависимости от состава расплава формировались кимберлиты относительно высоко-Mg или высоко-Fe типов. Значительную роль в формировании кимберлитов сыграла мощность литосферной мантии (ЛМ) под тем или иным кимберлитовым полем. В южной части Якутской провинции, обладавшей максимальной мощностью ЛМ, формировались преимущественно высоко-Mg и Mg-Fe кимберлиты. На севере провинции при низкой мощности ЛМ формировались в основном высоко-Fe кимберлиты (Fe-Ti тип). Поскольку кимберлит из дайки Великан оказался лишенным дезинтегрирующего материала ЛМ, сделан вывод, что его состав отвечает первичному составу кимберлитов, совпадающему с составом исходного астеносферного расплава. Алмазоносность кимберлитов зависит от их состава и структурно-текстурного типа. Максимальная алмазоносность установлена для кимберлитов высоко-Mg петрохимического типа. Все трубочные алмазные месторождения выполнены пирокластическим и вулканокластическим кимберлитами (кимберлитовыми брекчиями).

Ключевые слова: кимберлит, первичный расплав, астеносфера, литосферная мантия, алмазоносность кимберлитов.

Широкий диапазон вариации химического состава кимберлитов сводится к наличию трех основных петрохимических типов (в вес. %): высоко-Mg ($FeO < 8$, $TiO_2 < 1$); Mg-Fe ($8 < FeO < 12$, $1 < TiO_2 < 2$); Fe-Ti ($FeO > 12$, $TiO_2 > 2$) [1]. Формирование каждого из петрохимических типов кимберлитов было связано с составом первичного расплава, в котором при восхождении изменялось соотношение карбонатной и силикатной компонент астеносферного расплава. Предполагается, что астеносферный расплав в момент его активации, предшествующий началу кимберлитового вулканизма, оказался подверженным процессу дифференциации на фазы, характеризующиеся существенно карбонатным и карбонатно-силикатным составами. Различная дезинтегрирующая и проникающая способность этих фаз предопределила при их подъеме разный объем обломочного материала ЛМ, захваченного и частично ассимилированного кимберлитовым расплавом.

Кимберлит высоко-Mg типа образовался во время подъема астеносферного расплава существенно карбонатного состава, обладающего высокой дезинтегрирующей способностью, что привело к дроблению и последующему захвату максимального количества обломочного материала ЛМ. В формировании кимберлита Mg-Fe и Fe-Ti типов участвовал астеносферный расплав преимущественно силикатного состава, характеризующийся относительно низкой дезинтегрирующей способностью. Отметим, что силикатная часть расплава содержала, как правило, минералы низко-Cr мегакристной ассоциации.

Существенную роль в формировании разных типов кимберлитов сыграла мощность ЛМ под тем или иным полем. Максимальное число кимберлитовых тел, выполненных высоко-Mg типом кимберлита, установлено в южных полях Якутской кимберлитовой провинции (ЯКП), под которыми мощность ЛМ составляет 150–200 км. При этом самая максимальная мощность ЛМ отмечена под Накынским полем, в котором были обнаружены кимберлитовые тела, выполненные только высоко-Mg типом кимберлита. И, напротив, под северными полями, которые характеризуются относительно низкой мощностью ЛМ (150–200 км), доминирующее число кимберлитовых тел выполнено Fe-Ti типом.

Возвращаясь к вопросу о составе первичного кимберлитового расплава, отметим, что при изучении расположенных рядом двух кимберлитовых тел Куойкского поля (трубка Обнаженная и дайка Великан находятся всего в 1 км друг от друга) выяснилось, что они выполнены контрастными по текстуре и составу кимберлитами. Трубка Обнаженная выполнена пирокластическим брекчиевой текстуры кимберлитом высоко-Mg, низко-Ti состава, а дайка Великан –

гипабиссальным массивной текстуры кимберлитом относительно высоко-Fe, высоко-Ti состава. Если кимберлит из трубки Обнаженная характеризуется очень высокой насыщенностью обломочным материалом ЛМ (и ксеногенными макрокристами, и мантийными ксенолитами), то кимберлит дайки Великан совершенно лишен его, и это дало основание для вывода, что исходный кимберлитовый расплав для дайки Великан не был подвергнут процессу ассимиляции и поэтому может рассматриваться как первичный. Его состав как усредненный по нашим неопубликованным и литературным данным (Илупин и др., 1978) (в вес. %): SiO_2 – 21,8, TiO_2 – 3,5, Al_2O_3 – 4,0, FeO – 10,6, MnO – 0,19, MgO – 21,0 , CaO – 17,2, Na_2O – 0,24, K_2O – 0,78, P_2O_5 – 0,99, CO_2 – 12,6.

Активизация астеносферного расплава, связанная с проникновением глубинных разломов до уровня астеносферы, сопровождалась метасоматическим воздействием на наиболее глубинные породы ЛМ с формированием деформированных лерцолитов, кристаллизацией низко-Cr мегакристной ассоциации минералов. Завершение кристаллизации мегакристов происходило уже непосредственно в кимберлитовом расплаве-флюиде при его прохождении через ЛМ. Контаминация кимберлитовым расплавом литосферного материала приводила к возрастанию его магнезиальности и хромистости, и это нашло отражение в соответствующем изменении составов мегакристов. Астеносферный расплав-флюид был источником как для образования низко-Cr мегакристной ассоциации минералов, так и для формирования кимберлитов.

Ключевую роль в понимании природы кимберлитов и минералов играет изучение Hf-Sr-Nd изотопной систематики. Для кимберлитов ЯКП было показано сходство изотопных характеристик как для южных алмазоносных, так и северных с убогой алмазоносностью полей (Костровицкий и др., 2022). Ряд исследователей [3] показал сходство Hf-Nd изотопной систематики и возрастных определений для мегакристов Ilm и вмещающих кимберлитов из разных провинций мира. М. Копылова и другие [2] подтвердили данный вывод на материале мегакрист Grt и Cpx из трубки Джерико (Канада).

Активизация астеносферного расплава, связанная с проникновением глубинных разломов до уровня астеносферы, сопровождалась метасоматическим воздействием на наиболее глубинные породы ЛМ с формированием деформированных лерцолитов, кристаллизацией низко-Cr мегакристной ассоциации минералов. Завершение кристаллизации мегакристов происходило уже непосредственно в кимберлитовом расплаве-флюиде при его прохождении через лито-

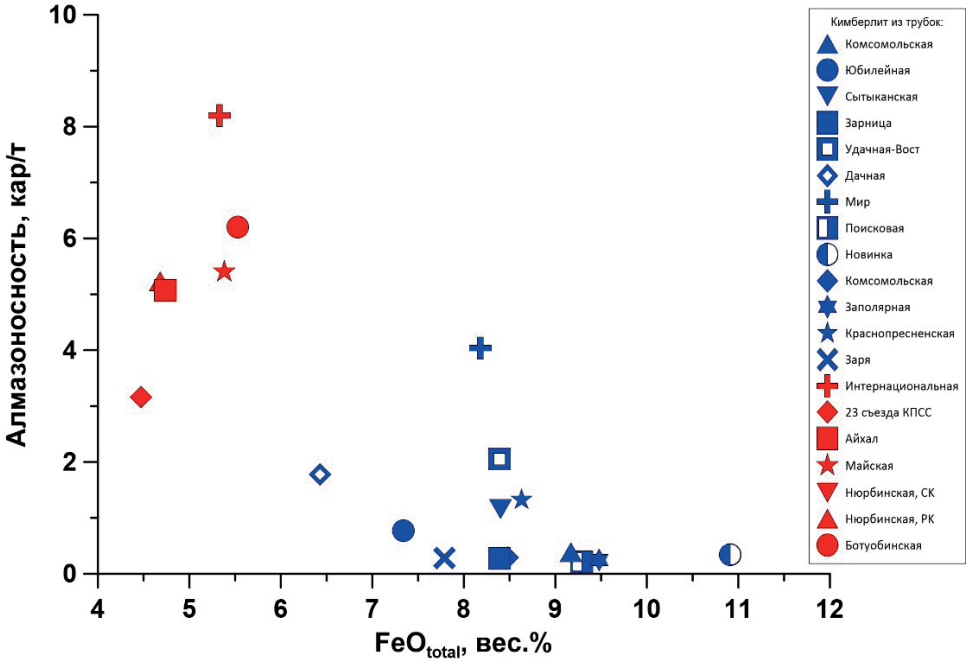


Рис. 1. Зависимость алмазоносности месторождений от содержания $FeO_{tot.}$ в кимберлитах: красные значки – высоко-Mg кимберлит, синие значки – Mg-Fe кимберлит

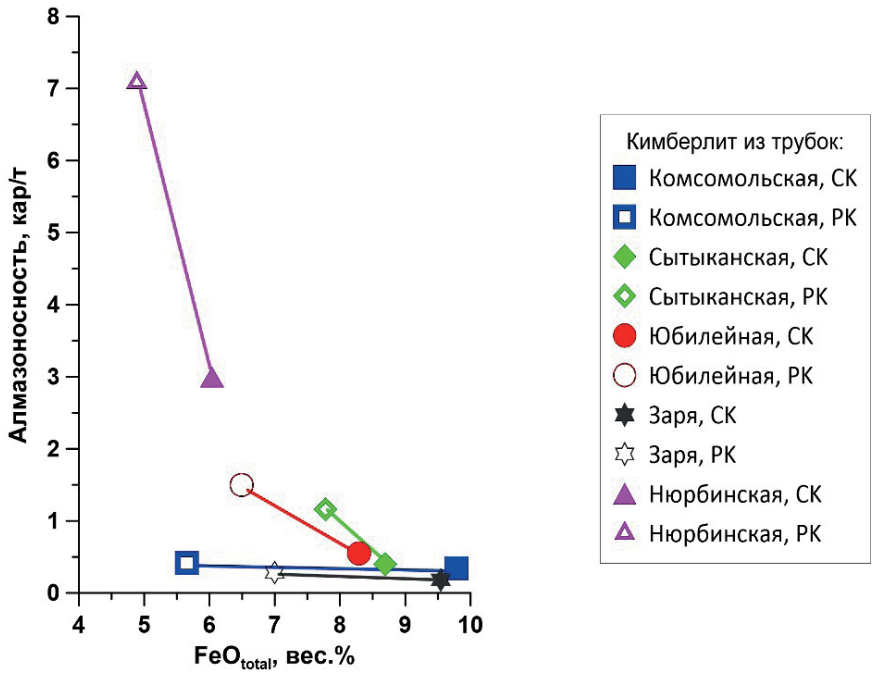


Рис. 2. Зависимость алмазоносности месторождений от содержания FeO$_{tot.}$ в кимберлитах:. СК – когерентный кимберлит; РК – пирокластический кимберлит

сферную мантию. Контаминация кимберлитовым расплавом литосферного материала приводила к возрастанию его магнезиальности и хромистости, и это нашло отражение в соответствующем изменении составов мегакристов. Астеносферный расплав-флюид был источником как для образования низко-Cr мегакристной ассоциации минералов, так и для формирования кимберлитов.

Алмазоносность месторождений коррелируется с химическим составом кимберлитов. Наиболее высокие содержания алмазов отмечены на трубках Нюрбинская, Ботуобинская, Майская, Интернациональная, Имени XXIII съезда КПСС и Айхал, сложенных низко-Fe, низко-Ti кимберлитами (рис. 1). Большинство месторождений, в том числе наиболее крупные (Юбилейная, Зарница, Мир), заполнены кимберлитами магнезиально-железистого петрохимического типа, которые в целом характеризуются пониженным содержанием алмазов. Вулканокластические и пирокластические кимберлиты являются более алмазоносными по сравнению с когерентными кимберлитами (рис. 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Костровицкий С. И., Яковлев Д. А. Кимберлиты Якутской кимберлитовой провинции. – Новосибирск : СО РАН, 2022. – 468 с.
2. Kopylova M. G., Nowell G. M., Pearson D. G., Markovic G. Crystallization of megacrysts from protokimberlitic fluids: geochemical evidence from hi-Cr megacrysts in the Jericho kimberlite // Lithos. – 2009. – V. 112. – P. 284–295.
3. Nowell G. M., Pearson D. G., Bell D. R., Carlson R. W., Smith C. B., Kempton D., Noble S. R. Hf Isotope Systematics of Kimberlites и their Megacrysts: New Constraints on their Source Regions // Petrology. – 2004. – V. 45. – P. 1583–1612.

Кошкарев Д. А. [1] (koshkarevDA@alrosa.ru), Летникова Е. Ф. [2] (efletnik@igm.nsc.ru), Серов И. В. [3] (SerovIV@alrosa.ru)
[1] АК «АЛРОСА» (ПАО) г. Мирный; [2] ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; [3] АК «АЛРОСА» (ПАО) г. Новосибирск

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ СТРОЕНИЮ ВОСТОЧНОГО ПРИСАЯНЬЯ И ВЗГЛЯД НА ПЕРСПЕКТИВЫ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ РЕГИОНА

Наличие цирконов в лампроитах Ингашинского поля с возрастом 300 млн лет, активный вулканизм на рубеже 640 млн лет, доказанная докембрийская алмазоносность, развитие грубообломочных осадочных и вулканогенно-осадочных образований в Восточном Присаянье требуют пересмотра перспективности территории на коренную и россыпную алмазоносность.

Ключевые слова: перспективы алмазоносности, возраст магматизма, кимберлиты, лампроиты, вулканогенно-осадочные породы, конгломераты, алмазы.

Интерес к Восточному Присаянью геологов-алмазников обусловлен, в первую очередь, наличием промышленной Ингашетской (Шелеховской) россыпи алмазов и присутствием в Урикско-Ийском грабене алмазоносных лампроитовых жил Ингашинского поля. Рассматриваемая территория входит в Присаяно-Енисейскую алмазоносную субпровинцию.

Проведенные в 2011–2012 гг. минерагенические исследования в Бирюсинской части Восточного Присаянья в основном подтвердили существовавшие ранее представления о коренной алмазоносности площади [3] – тезис о наличии в пределах площади кимберлитового поля, предположительно нижнепалеозойского возраста. В пользу данного предположения говорит находка двух кристаллов алмазов в графической рубашке с магматогенной поверхностью под оболочкой. Наличие мезопротерозойских источников в бассейне р. Бирюса представлялось маловероятным, так как обнаружить промежуточные коллектора индикаторных минералов кимберлитов в докембрийских осадочных образованиях на то время не удалось. Соответственно, основной поисковой моделью являлись лампроитоиды основного состава, слагающие дайковые тела среднепалеозойского возраста Елашского комплекса (370 млн лет), а в поле развития докембрийских пород – неопротерозойские (660–630 млн лет) слюдяные кимберлиты, аналогичные таковым из трубки Южная, расположенной вблизи Большетагнинского щелочно-карбонатитового массива.

В 2013 г. были опубликованы данные [1] о находке цирконов с возрастом 300 млн лет в одной из лампроитовых жил Ингашинского поля, возраст которого ранее определялся как ~ 1,3 млрд лет. Другими словами, данная находка указывает на проявление алмазоносного магматизма верхнепалеозойского возраста на территории. Ранее магматитов аналогичного возраста на данной территории обнаружено не было. Соответственно, можно рассматривать еще одну поисковую модель алмазоносных магматитов в границах Присаянья – верхнепалеозойские (менее 300 млн лет) лампроиты ультраосновного состава.

Следует отметить, что из рассматриваемых поисковых моделей только в последней подтверждена алмазоносность пород. Породы, на которых основаны две первые модели (с докембрийским и среднепалеозойским возрастами), не содержат алмазы, но являются их гипотетическими носителями. Например, докембрийская алмазоносность Присаянья доказывается наличием алмазов в хужирской свите мотской серии, возраст которой определен как 625 млн лет [2].

Потенциально источники алмазов из конгломератов могли ассоциировать с докембрийскими магматическими комплексами мантийной природы, известными в пределах южной части платформы, представленными в пределах Жидойского (632 ± 2 млн лет) и Белозиминского (643 ± 3 млн лет) массивов. Наличие подобных комплексов позволяет допускать, что параметры геологической среды могли обеспечивать возможность проявления в регионе родственного этим щелочным образованиям более древнего или близковозрастного, но в любом случае докембрийского алмазоносного магматизма [2].

Кроме того, широкое распространение магматизма, в том числе ультракалиевого, установлено практически на всем протяжении от р. Бирюсы до р. Хужира.

Впервые об активной вулканической деятельности в позднем докембрии Бирюсинского Присаянья было сказано в конце 1960-х гг. в геологическом отчете о поисковых работах на марганец в этом районе под руководством Е. Н. Бессолицина. На наличие вулканической постройки, по мнению авторов отчета, указывали остатки кальдерных образований и вулканических брекчий, игнимбриты щелочных порфиров, псефитовые туфы. Вулканы извергали базальтовые, трахитовые и кислые высококалиевые магмы с высокой степенью эксплозивности. Однако в дальнейшем эти материалы не получили развития, и вулканогенно-осадочные отложения были включены в осадочную карагасскую серию, а присутствующие здесь долериты были отнесены к нерсинскому комплексу. Спустя 50 лет были получены минералогические, геохимические и геохронологические данные, свидетельствующие о проявлении позднерифейского эксплозивного вулканизма с участием высококалиевой пирокластики в Бирюсинском Присаянье. Минералогические и петрографические исследования позволили установить широкое распространение высококалиевой пирокластики, игнимбритов, трахибазальтов. Возраст высококалиевых вулканических пород определен на основе U-Th-Pb-датирования циркона в 640 млн лет. Lu-Hf-изотопная систематика цирконов указала на связь этого вулканизма с магмами мантийного генезиса. В 150 км к югу от бассейна р. Бирюса установлено Аршанское вулканическое поле, которое практически граничит с Белозиминским рудным полем [4].

С одной стороны, широкое развитие вулканизма в Присаянье в период 640 млн лет играет отрицательную роль в прогностике коренной алмазоносности региона, так как вероятные, более древние алмазоносные магматиты были уничтожены эксплозивными процессами либо перекрыты мощными толщами вулканогенно-осадочных пород. С другой стороны, сам факт наличия высококалиевого магматизма с мантийными источниками указывает на высокую вероятность проявления и более глубинных, алмазосодержащих фаций более древнего возраста. На это указывает широкое распространение хромшпинели в трахибазальтах ранних стадий вулканизма, которая по содержанию оксида хрома аналогична шпинелям алмазной фации (свыше 60 % Cr_2O_3). Часто хромшпинель представлена включениями в карбонатном матриксе мантийного происхождения.

Решить вопрос о возможном присутствии на изучаемой площади магматических тел, аналогичных трем основным поисковым моделям, возможно лишь поиском их минералогических признаков. На сегодняшний день, кроме алмазов, на территории не установлены ни контрастные ореолы индикаторных минералов кимберлитов, ни единичные их находки без следов механического износа. То есть единственным поисковым признаком являются сами алмазы.

Проведение поисковых работ по алмазам облегчается широким развитием в Восточном Присаянье конгломератов. Этот класс осадочных пород в настоящее время полностью выпадает при изучении седиментационных бассейнов позднего докембрия юга Сибирской платформы.

В Урикско-Ийском грабене юга Сибирской платформы наиболее древними являются базальные и внутриформационные конгломераты ермосохинской свиты. Их мощность составляет до 400 м. Выше по разрезу в левом борту реки Ия в районе Аршанского месторождения марганца наблюдаются два различающихся по составу конгломератовых комплекса. Нижний представлен валунными конгломератами с хорошо окатанными обломками, среди которых преобладает кварц и кварциты, гнейсограниты, граниты и реже осадочные породы. Со стратиграфическим несогласием на них залегает комплекс красноцветных вулканогенно-осадочных пород, в том числе железо-марганцевых руд Аршанского месторождения. В верхней части этого разреза отмечаются туфоконгломераты, где обломки в основном представлены вулканитами и реже кварцем и кварцитами. К этому же стратиграфическому уровню в Уриксо-Ийском грабене относятся золотоносные и алмазосодержащие конгломераты Хужирского месторождения. Также обнаружены не отмеченные на геологических картах конгломераты междуречья рек Каменка – Уват и туфоконглобрекчии Марского и Бирюсинского-2 палеовулканов позднего рифея. Конгломераты по реке Каменка представлены двумя различными горизонтами. Нижний, мощностью несколько сотен метров, является полимиктовым валунно-галечным конгломератом, где обломки представлены вулканитами основного и, возможно, ультраосновного состава, гранитами, кварцитами и кварцем. Предварительное минералогическое изучение матрикса конгломератов позволило установить в нем зерна хромита, состав которого отвечает хромитам алмазо-

носной ассоциации. Верхние галечно-валунные конгломераты имеют кварцевый матрикс, среди обломков преобладают кварц, кварциты и граниты.

На сегодняшний день ни одна из вышеуказанных разновидностей грубообломочных пород не опробована на алмазы. Проведение площадного опробования конгломератов и конглобрекчий Восточного Присаянья позволит более точно оценить минерагенический потенциал территории, в частности на докембрийскую алмазоносность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладкочуб Д. П., Костровицкий С. И., Донская Т. В. [и др.] Возраст цирконов из алмазоносных лампроитов Восточного Саяна как индикатор известных и ранее не установленных эндогенных событий на юге Сибирского кратона // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 450, № 5. – С. 567.
2. Гладкочуб Д. П., Иванов А. В., Донская Т. В. [и др.] Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса от океана к континенту : Материалы научной конференции, Иркутск, 18–21 октября 2022 года. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2022. – С. 54–56.
3. Егоров К. Н., Киселев А. И., Меньшагин Ю. В., Минаева Ю. А. Лампроиты и кимберлиты Присаянья: состав, источники, алмазоносность // Доклады РАН. – 2010. – Т. 435, № 6. – С. 779–783.
4. Изох А. Э., Летникова Е. Ф., Избродин И. А. [и др.] // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2024. – Т. 32, № 4. – С. 50–72.

Криволуцкая Н. А. [1] (nakriv@mail.ru), Краснова Е. А. [2] (eakrasnova@gmail.com), Грязнова А. С. [1] (anastagr@yandex.ru), Свирская Н. М. [1] (nsvirsk@mail.ru), Гонгальский Б. И. [3] (brgon@mail.ru)

[1] ФГБУН «ГЕОХИ» РАН, г. Москва; [2] МГУ, г. Москва; [3] ИГЕМ РАН, г. Москва

ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ СЕРЫ В РУДАХ НОРИЛЬСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассматривается одна из важнейших проблем генезиса норильских PGE-Cu-Ni руд – образование больших объемов серы и ее тяжелый изотопный состав за счет ассимиляции магмами сульфатов вмещающих пород. Предложена альтернативная гипотеза поступления тяжелой серы из мантии, источником которой были древние сульфидные залежи медистых песчаников.

Ключевые слова: медно-никелевые месторождения, ассимиляция, базальтовые магмы, ангидрит, генезис.

Норильские месторождения являются главной базой получения никеля и металлов платиновой группы не только в России, но и в мире. Определение условий их образования имеет как фундаментальное научное, так и практическое значение, позволяя прогнозировать обнаружение подобных объектов на Сибирской платформе и в других районах Земли. Их геологическое строение существенно отличается от строения других месторождений и характеризуется сочетанием маломощных (в среднем 100 м) габбро-долеритовых тел с крупными залежами сульфидных руд, которые, по оценкам А. П. Лихачева [5], в среднем составляют 15 об. % от силикатных пород. В отдельных разрезах Хараелахского интрузива сульфиды могут занимать 25 и более процентов [10], что на два порядка превышает растворимость серы в базитовых расплавах. Проблема источника серы и ее концентрирования в виде рудных залежей является ведущей проблемой в генезисе магматических сульфидных руд в целом, а в Норильском районе – в особенности.

Впервые к ней привлек внимание М. Н. Годлевский, который отметил во вмещающих осадочных породах большой объем сульфатов – гипса и ангидрита, которые могли бы быть поставщиками серы в базитовые магмы. Для проверки этой гипотезы он совместно с Л. Н. Гриненко

[1] начал изучать изотопный состав серы сульфидов в рудных телах, который оказался тяжелым (в среднем $\delta^{34}S$ = +10…+12 ‰) по сравнению с другими медно-никелевыми месторождениями, в которых это значение близко к 0. Позже огромный объем данных по изотопному составу серы из месторождений Норильского района был получен Л. Н. Гриненко, но масс-балансовые расчеты убедили её, что источником серы в рудах не может быть только ангидрит, а, скорее всего, в образовании сульфидов принимают участие серосодержащие газы, поступающие из локализованных в основании осадочного чехла залежей углеводородов [2]. При этом рудоносные массивы рассматривались как отдельные тела, локализованные среди разных по составу пород. В разработанной В. А. Радько [6] модели эти интрузивы представляют собой горизонтальные части каналов, по которым магма изливалась на поверхность, а сульфиды, образующиеся в верхней части этих каналов при взаимодействии магмы с ангидритом, накапливались у дна камеры. В этом случае при протекании большого объема расплава, соответствующего породам отдельных свит – надеждинской [9] или мокулаевской [6], могут формироваться мощные залежи сульфидных руд, подобные наблюдаемым в природе. Такой механизм очень привлекателен для объяснения образования крупных сульфидных тел не только в Норильске, но и других районах, поэтому он получил широкое признание [8, 9].

Однако при проведении исследований в этой области авторами было установлено много контраргументов.

1. Геологическое строение контактовых зон интрузивов свидетельствует об отсутствии мощных бессульфатных зон, ожидаемых при длительном взаимодействии магмы с породами, – в самой кровле Хараелахского массива обнаружены крупные стяжения ангидрита без признаков их плавления или разложения.

2. Поскольку магмы внедрялись не в чистый ангидрит, а в ангидритсодержащие толщи (известняки, доломиты и др.), то при их ассимиляции они должны были бы обогащаться не только серой, но и другими элементами. Состав рудоносных массивов должен был бы сильно зависеть от состава окружающих его пород, в то время как он является очень выдержанным, несмотря на локализацию в разных отложениях – карбонатных, терригенных, вулканогенных.

3. Текстурно-структурные особенности контактовых пород свидетельствуют о быстрой закалке родоначального расплава (стекло, стекловатые включения в породообразующих минералах, имеющих зональное строение), препятствующей длительному взаимодействию его с вмещающими породами.

4. Отсутствие значительной ассимиляции подтверждается как петрографическими наблюдениями, так и геохимией пород: только в узких приконтактовых зонах (первые метры) фиксируется изменение состава габбро-долеритов [4].

5. Масс-балансовые расчеты свидетельствуют о том, что при извлечении серы из ангидрита должен высвобождаться огромный объем кальция, который должен фиксироваться в области контакта массива с вмещающими породами зонах, что не находит подтверждения.

Важным этапом в изучении генезиса руд явилось обнаружение тяжелой серы ($\delta^{34}S$ = +8,7… +12,6 ‰) в ряде ультрабазит-базитовых массивов на севере Восточной Сибири, сформированных мантийными магмами [3]. К ним относятся Дюмталейский интрузив и ряд массивов быррангского комплекса на Таймыре, а также интрузивные тела в нижнем течении р. Кулюмбэ. Все они расположены на крыльях Енисей-Хатангского прогиба, представляющего собой крупную палеорифтовую зону. Возможность присутствия тяжелой серы в мантии можно объяснить двумя причинами: неизвестными процессами фракционирования серы в глубинных условиях и вовлечением коровой серы в нее в результате геодинамического развития территории. Последний вариант в настоящий момент представляется более реальным, учитывая огромный объем серы, сконцентрированный в месторождениях Арктической зоны Восточной Сибири.

В качестве наиболее вероятного контаминанта обычно рассматривается ангидрит, который мог с осадками поступать в глубину. При его разложении могли образовываться серосодержащие газы, насыщающие мантийные магмы. Однако изотопный состав ангидритов намного тяжелее, чем норильских сульфидов: в девонских породах $\delta^{34}S$ варьирует от +22 до +24 ‰. Анализ ангидритов из более древних отложений (ордовик-силур) показал, что сера в них еще более тяжелая – до +36 ‰. При разложении минерала состав серы его должен еще более утя-

желяться и, следовательно, сильно отличаться от состава норильских сульфидов. Конечно, первичная сера мантийных магм также вносит свой вклад в баланс серы, но её количество крайне мало по сравнению с наблюдаемым объемом сульфидных руд. Мы изучили состав сульфидов из медистых песчаников Игаркинского района, которые, как оказалось, характеризуются также тяжелым изотопным составом серы ($\delta^{34}S$ = +9,6…+20,1 ‰) в отличие от других месторождений данного типа, например Удоканского месторождения [7], характеризующихся преимущественно отрицательным изотопным составом серы в рудах (до -24 ‰). Эти сульфиды с наибольшей вероятностью могли служить источником тяжелой серы для норильских месторождений. Одним из доказательств такого процесса являются повышенные содержания меди в норильских рудах (Cu / Ni = 2) по сравнению с другими медно-никелевыми месторождениями мира, в которых никель преобладает. В случае образования сульфидного расплава еще на уровне мантии находят подтверждение и повышенные концентрации платиноидов в норильских рудах относительно аналогичных месторождений: только норильские магмы прошли длительный путь от источника до камеры кристаллизации через мощный слой коры (состоящий из фундамента и чехла). Это длительное взаимодействие сульфидного расплава с силикатным позволило первому аккумулировать большое количество металлов платиновой группы. Хотя нельзя исключить и повышенное количество этих элементов в источнике, так как они были обнаружены и в медистых песчаниках наряду с медью.

Таким образом, необычный состав серы месторождений севера Восточной Сибири может быть обусловлен рядом причин, главной из которых является ее комплексный источник, возникший в результате геодинамической эволюции территории, приведший к вовлечению большого количества корового материала в мантию в позднем палеозое.

Авторы благодарны И. Ф. Габлиной за любезно предоставленные образцы с Гравийского месторождения и Т. А. Веливецкой за изотопный анализ сульфидов.

Исследования выполнены в рамках Государственных заданий ГЕОХИ РАН и ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годлевский М. Н., Гриненко Л. Н. Некоторые данные об изотопном составе серы сульфидов норильских месторождений // Сов. геология. –1963. – № 1. – С. 27–39.
2. Гриненко Л. Н. Сероводородсодержащие газовые залежи как источник серы при сульфуризации магм промышленно-рудоносных интрузий Норильского района // ДАН СССР. – 1984. – Т. 278, № 3. – С. 730–732.
3. Криволуцкая Н. А. Мантийная природа изотопно-тяжелой серы в рудах Норильских месторождений // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 454, № 3. – С. 319–321.
4. Криволуцкая Н. А., Плечова А. А., Костицын Ю. А., Беляцкий Б. В., Рощина И. А., Свирская Н. М., Кононкова Н. Н. Геохимические аспекты ассимиляции базальтовыми расплавами вмещающих пород при образовании Норильских медно-никелевых руд // Петрология. – 2014. – Т. 22, № 2. – С. 147–170.
5. Лихачев А. П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М. : Эслан, 2006. – 496 с.
6. Радько В. А. Модель динамической дифференциации интрузивных траппов северо-запада Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1991. – № 11. – С. 19–27.
7. Gongalsky B., Krivolutskaya N. World-Class Mineral Deposits of Northeastern Transbaikalia, Siberia, Russia. – Springer, Switzerland AG, 2019. – 321 p.
8. 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. – No. 104. – P. 291–301.
9. Naldrett A. J. A model for the Ni-Cu-PGE ores of the Noril'sk region and its application to other areas of flood basalts // Economic Geology. – 1992. – V. 87. – P. 1945–1962.
10. Torgashin A. S. Geology of the massive and copper ores of the western part of the Oktyabr'skoe deposit // Proceedings of the Sudbury-Noril'sk symposium, OGS special. – 1994. – V. 5. – P. 231–242.

Кудрявцева Н. Г. (ngkudryavtseva@tsnigri.ru), Кузнецов В. В. (okt@tsnigri.ru), Серавина Т. В. (seravina@tsnigri.ru), Иваненкова Е. В. (ivanenkova@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННОЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ БОЛЬШОГО АЛТАЯ

Рассмотрены особенности структурно-формационного и металлогенического районирования Большого Алтая, включающего территории России (Алтайский край, Горный Алтай), Восточного Казахстана, а также Китайского и Монгольского Алтая.

Ключевые слова: складчатые системы, структурно-формационные зоны, геологические формации, колчеданно-полиметаллические месторождения.

Вопросы геологии и металлогении территории Большого Алтая, входящей в состав России (Алтайский край и Горный Алтай) и Восточного Казахстана, освещены в целом ряде статей [2, 4, 5, 8]. Данное исследование посвящено этой же территории, но с включением Китайского и Монгольского Алтая.

Территория Большого Алтая включает герцинскую Зайсанскую складчатую область и каледонские структуры Горного Алтая, которые имеют продолжение в пределах Китайского и Монгольского Алтая.

Зайсанская складчатая область по особенностям тектонического строения и металлогении подразделяется на две части: северо-восточную (Юго-Западный Алтай) раннегерцинскую и юго-западную (Иртыш-Зайсанская) позднегерцинскую. Первая включает Холзунско-Сарымсактинскую, Рудноалтайскую, Белоубинско-Маймырскую и Иртышскую структурно-формационные зоны (СФЗ).

Складчатая система Юго-Западного Алтая развилась на окраине Алтае-Саянского палеоконтинента, структурно-формационные комплексы которого представлены кремнисто-терригенными формациями венд-раннепалеозойского силурийского возраста, пронизанными позднекаледонскими гранитоидами. Анализ развития структур, а также латерально-вертикальных рядов геологических формаций позволил выделить три основных этапа формирования складчатой системы Юго-Западного Алтая, отвечающих различным геодинамическим режимам ее развития. Первый этап охватывает промежуток времени от раннего девона до франского века и обусловлен процессами континентального рифтогенеза [4], второй – от фаменского века до раннего карбона и соответствует островодужным обстановкам, третий – коллизионный (от среднего карбона до перми). В рифтогенный этап (D_1–D_2gv_2) в северо-восточной части данной складчатой системы, отвечающей Холзунско-Сарымсактинской СФЗ, формировался прогиб, выполненный красноцветными и пестроцветными карбонатно-терригенными отложениями, которые выше сменяются морскими вулканогенно-осадочными, объединяемыми в известково-кремнисто-терригенную трахидацит-трахириолитовую формацию со стратиформным свинцово-цинковым и железомарганцевым оруденением.

Западнее, в пределах Рудноалтайской СФЗ, сформированы рифтогенные прогибы: северо-восточный, который фиксируется в пределах Змеиногорского, Лениногорского и Зыряновского, и юго-западный – Золотушинского и Прииртышского рудных районов. Прогибы выполнены вулканогенно-осадочными породами базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации (D_1–D_3), определяющей металлогеническую специализацию Рудного Алтая на колчеданно-полиметаллическое оруденение [6]. Причем с нижней частью отложений этой формации – базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой – ассоциирует свинцово-цинковое колчеданное оруденение, а с верхней – базальт-риолитовой (D_2gv_2–D_3f_2) – медно-свинцово-цинковое и медно-цинковое колчеданное.

Вулканогенно-осадочные породы рифтогенного этапа в значительной мере перекрыты отложениями островодужного (D_3fm–C_1). Становление структур данного этапа отвечает модели формирования активных окраин с островодужным режимом развития. В этот период формируются междуговые бассейны, выполненные терригенно-карбонатными отложениями и вулканические дуги, сложенные породами андезидацитовой и андезибазальтовой формаций,

с которыми ассоциируют мелкие месторождения и проявления золото-серебро-полиметаллические и золото-кварцевые. В завершающий коллизионный тектоно-магматический цикл (C_2–P) с габбро-гранодиорит-гранитной формацией ранней стадии (C_{2-3}) ассоциируют месторождения золото-сульфидно-кварцевой, а с пермскими гранитоидами гранит-лейкогранитной формации поздней стадии – редкометалльные месторождения (W, Mo, Be).

Иртыш-Зайсанская складчатая область включает Калба-Нарымскую, Западно-Калбинскую, Чарскую, Жарма-Саурскую и Сарсазанскую СФЗ. Она представляет собой активную континентальную окраину одноименного гипотетического океана, осевой структурой которой является Чарский рифтогенный прогиб [5], выполненный вулканогенно-осадочными породами пестрого состава (D_3fm) и известково-терригенными углеродистыми флишоидной формации (C_1s), к которым приурочены золото-сульфидно-кварцевые месторождения. В восточной части этой структуры развиты Калба-Нарымский прогиб, выполненный породами аспидной формации (D_3–C_1), и Западно-Калбинский, выполненными отложениями флишоидной формации (C_1v).

Островодужный этап (D_3fm–C_1s) фиксируется в структурах к западу от Чарского прогиба, где он выражен формированием пород андезибазальтовой формации (Жарма-Саурская СФЗ) и карбонатно-терригенной флишоидной (Сарсазанская СФЗ), в которых проявлены золото-кварцевые, медно-порфировые и другие типы месторождений. В коллизионный этап с породами гранит-лейкогранитной формации (P) ассоциируют многочисленные редкометалльно-редкоземельные месторождения.

К востоку от герцинской Зайсанской складчатой области расположены каледонские структуры Горного Алтая, в пределах которых выделяются Чарышско-Чуйская, Чарышско-Талицкая, Коргонско-Теректинская и Холзунско-Чуйская СФЗ. В пределах этих зон отмечаются сложнодислоцированные верхнедокембрийские метаморфические образования, слагающие Теректинский блок [7]. Наибольшее распространение на данной территории получили среднекембрийские-нижнеордовикские (C_2–O_1) флишоидные образования, представленные аркозовыми песчаниками, алевролитами, сланцами, а также туфовидными породами. Эти образования распространены в пределах территории России, Восточного Казахстана и продолжаются в Монгольском Алтае и Китае. Возраст этих образований не превышает тремадока (O_1) [1].

Резко подчиненную территорию занимают породы силура (S_{1-3}), представленные вулканогенно-терригенными, туфогенно-терригенными и карбонатно-терригенными образованиями. Нижнепалеозойские отложения прорваны телами гранитоидов различного возраста, с которыми связаны редкометалльные месторождения, проявленные как в России, Казахстане, так и в Монголии и Китае. С этими же интрузиями связаны проявления золота. В начале герцинского цикла Горно-Алтайский каледонский комплекс испытал регенерацию, в результате чего сформировались грабен-синклинорные прогибы, выполненные существенно вулканогенными девонскими образованиями. Наиболее крупный Коргонский прогиб, совпадающий с Коргонско-Теректинской СФЗ, выполнен отложениями трахидацит-трахириолитовой известково-кремнисто-терригенной формации среднего девона (D_2gv_1), аналогичными таковым в Холзунско-Сарымсактинской зоне. С ними ассоциируют стратиформные свинцово-цинковые и железомарганцевые месторождения. Среднедевонские вулканогенно-осадочные отложения отмечаются и в пределах Монгольского Алтая [1], где они вмещают медно-свинцово-цинковые колчеданные месторождения, сходные с рудноалтайскими.

В пределах территории Китайского Алтая девонские отложения представлены породами свиты «Кангбутиебао» (D_1), которая включает вулканические и пирокластические породы, метаморфизованные в зеленосланцевой и амфиболитовой фациях, и свиты «Алтай» (D_{2-3}) [3]. Последняя в нижней части разреза представлена дацитами, а в верхней – пиллоу-базальтами, андезитами и пирокластическими породами. Девонские отложения Китайского Алтая, также как и Монгольского, включают колчеданно-полиметаллические месторождения рудноалтайского типа.

Таким образом, металлогеническая специализация девонских вулканогенно-осадочных пород Рудного Алтая на колчеданно-полиметаллическое оруденение характерна и для Китайского и Монгольского Алтая. Кроме того, следует отметить, что поскольку структуры Иртыш-Зайсанской области и Горного Алтая продолжаются в пределы Китайского и Монгольского

Алтая, то и сопровождающие их месторождения других формационных типов (золото, железо, марганец, медь, редкие металлы) имеют место на территории Монголии и Китая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая карта Монголии масштаба 1 : 1 000 000. –Улан-Батор, 1998.
2. Дьячков Б. А., Мизерная Т. А., Пяткова А. П. [и др.] К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Отечественная геология. – 2021. – № 5. – С. 3–17.
3. Кай Кеда, Сун Мин, Ян Чао, Лонг Хиаопин, Хиао Венджио. Обзор геологического строения Китайского Алтая (Северо-Западный Китай) и его тектоническая эволюция в палеозое // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – С. 2056–2074.
4. Кудрявцева Н. Г. Ряды рудных формаций месторождений цветных и благородных металлов в различных геодинамических обстановках Юго-Западного Алтая // Руды и металлы. – 2001. – № 6. – С. 44–52.
5. Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Геодинамические обстановки формирования месторождений цветных и благородных металлов Большого Алтая // Отечественная геология. – 2022. – № 2. – С. 12–23.
6. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В. [и др.] Основы прогноза колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая: монография. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 207 с.
7. Милановский Е. Е. Геология СССР. Часть 2 Урало-Монгольский подвижной пояс и смежные метаплатформенные области. – М. : Изд-во МГУ, 1989. – 271 с.
8. Щерба Г. Н., Дьячков Б. А., Стучевский Н. И. [и др.] Большой Алтай (геология и металлогения) геологическое строени. В 3 книгах. Кн. 1. – Алма-Ата : Гылым, 1998. – 304 с.

Кужугет Р. В.[1] (rkuzhuget@mail.ru), Анкушева Н. Н.[1, 2] (ankusheva@mail.ru)

[1] Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл;

[1, 2]Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс

ВОЗРАСТ, БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ Au-Mo-Cu-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (ВОСТОЧНАЯ ТУВА, РОССИЯ)

Ранне-среднекембрийское Au-Mo-Cu-порфировое месторождение Кызык-Чадр характеризуется закономерностями эволюции минеральных парагенезисов, температур, состава и концентрации флюидов при переходе от медно-порфирового к эпитермальному этапу. Поздние Au-Ag минеральные ассоциации и золото-сульфидно-кварцевые жилы по изотопным и минералого-геохимическим характеристикам могут быть отнесены к промежуточному эпитермальному (intermediate sulfidation) типу и являются продуктом деятельности единой медно-порфировой системы.

Ключевые слова: золото-медно-порфировое оруденение, кварц, флюидные включения, стабильные изотопы, Тува.

Саяно-Тувинское нагорье представляет собой аккреционно-коллизионную структуру, возникшую при геодинамической эволюции и закрытии Палеоазиатского океана [4], с Au-Mo-Cu-порфировыми месторождениями Ак-Суг и Кызык-Чадр и выделено в отдельную провинцию с Au-Mo-Cu-порфировым оруденением [2]. Эволюция геолого-тектонических структур региона была длительной и происходила многоэтапно с последовательной сменой геодинамических режимов (океанический с примитивными островодужными комплексами ~ 1000–600 млн лет, островодужный – 570–518 млн лет, аккреционно-коллизионный – 510–450 млн лет и т. д.) [5], с каждым из которых сопряжен комплекс магматических и рудных формаций.

Au-Mo-Cu-порфировые месторождения Саяно-Тувинского нагорья связаны с известково-щелочными интрузивными породами ранне-среднекембрийских интрузивных комплексов Тувы. Они локализованы в пределах Таннуольско-Хамсаринской рудной зоны, которая контролируется одноименной палеоостроводужной системой венд-раннекембрийского возраста, сформировавшейся в результате субдукционных процессов [4].

Месторождение Кызык-Чадр находится в Пий-Хемском районе Тувы, в верховьях реки Кызык-Чадр, в 70 км от г. Кызыла. Месторождение открыто в 1951 году и находится в краевой части Ожинского полиформационного плутона, сложенного породами таннуольского ($Є_2$) и кызыкчадрского ($Є_{2-3}$) интрузивных комплексов. В южной части плутона расположен полифазный Кызыкчадрский интрузивный габбро-диорит-гранодиорит-гранитный массив размером 12,5 × 3 км, который прорывает интрузивные породы таннуольского габбро-тоналит-плагиогранитного комплекса ($Є_{1-2}$) и метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы туматтайгинской свиты ($V–Є_1$) и перекрыт ордовикскими, сирурийскими и раннедевонскими отложениями [1].

Au-Mo-Cu-порфировые руды и Au-Cu-кварцевые жилы месторождения Кызык-Чадр связаны с поздними порфировыми фазами (кварцевые диорит-порфиры, гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры) кызыкчадрского комплекса в центральной части массива, слагающими малые пластинообразные и дайкообразные тела, прорывающие гранитоиды главных фаз [3]. По петрохимическим характеристикам породы кызыкчадрского комплекса относятся к известково-щелочной серии с повышенной калиевой щелочностью. Возраст формирования гранитов Кызыкчадрского массива, определенный по цирконам (U-Pb, SHRIMP II), составляет 508 ± 7 млн лет, кварцевых порфиров – 507 ± 2 млн лет [1]. По нашим исследованиям, Pb возраст циркона из диорит-порфиров Кызык-Чадрского месторождения, определенный LA-ICP-MS методом, составляет 514 ± 3 млн лет, гранодиорит-порфиров – 513 ± 2 млн лет, эксплозивных брекчий – 509 ± 3 млн лет, что предполагает образование оруденения в ранне- и среднекембрийское время при переходе геодинамической обстановки от островодужной (570–518 млн лет) к аккреционно-коллизионной (510–450 млн лет).

Au-Mo-Cu-порфировое оруденение месторождения Кызык-Чадр с прожилково-вкрапленной минерализацией сопровождается зональным ареалом гидротермально-метасоматических изменений, типичных для медно-порфировых объектов [3]. Анализ пространственного распределения основных минералов позволил выделить семь устойчивых минеральных ассоциаций. В ранних пирит-халькопирит-молибденит-кварцевой и Au-полисульфидно-кварцевой минеральных ассоциациях развиты молибденит, халькопирит и другие простые сульфиды с золотом и электрумом, типичные для Cu-порфировых руд; в поздних Au-сульфидно-кварцевой и Au-блекловорудно-кварцевой ассоциациях – халькопирит, блеклые руды (Ag до 4,4 мас. %), золото, электрум, Hg-электрум, Hg-кюстелит, теллуриды и селениды Au и Ag, характерные для эпитермальных Au и Ag объектов или поздних стадий Au-Cu-порфировых месторождений. Установлено, что в Au-сульфидно-кварцевых жилах развита минеральная ассоциация, которая аналогична Au-сульфидно-кварцевой ассоциации прожилково-вкрапленных руд.

Исследование газово-жидких включений показало, что формирование ранних стадий минеральной ассоциации происходило при давлении при $P \sim 1{,}1$ кбар из углекислотно-водно-хлоридного (Na–K) флюида при концентрации солей 5,4–36,2 мас.% NaCl-экв. при 457–321 °C, поздних – углекислотно-водно-хлоридного (Na–K) флюида с соленостью 3,4–10,2 мас.% NaCl-экв. при снижении температур от 360 до 230 °C и вариациях фиктивности fO_2, fS_2, fSe_2 и fTe_2, что обусловило широкое разнообразие минеральных форм Au и Ag. Эти результаты согласуются с температурами минералообразования поздних стадий по парагенезису петцит–гессит–самородное золото (Бортников и др., 1988), которые составляют 285–253 и 264–227 °C.

Значения $\delta^{34}S_{H_2S}$ флюида разных минеральных ассоциаций прожилково-вкрапленных руд (от -1,9 до +3,2 ‰) и Au-сульфидно-кварцевых жил среди гранитов (от +2,4 до +4,9 ‰) характеризуются околонулевыми значениями, что свидетельствует об участии магматической серы (от -5 до +5 ‰) (Ohmoto, Rye, 1979; Ohmoto, 1986; Hoefs, 2009). Это позволяет утверждать, что они являются производными единой Cu-порфировой системы. Значения $\delta^{18}O_{H_2O}$ флюида ран-

них минеральных ассоциаций (от +6,6 до +8,1 ‰) свидетельствуют об участии магматогенного флюида, поздних минеральных ассоциаций (от +2,7 до +6,2 ‰) и золото-сульфидно-кварцевых жил (от +3,1 до +5,9 ‰) – указывают на смешение магматического флюида с метеорными водами (Ohmoto, Rye, 1979; Ohmoto, 1986; Hoefs, 2009).

Таким образом, установлено, что на изученном Au-Mo-Cu-порфировом объекте наблюдается закономерная эволюция минеральных парагенезисов, температур, состава и концентрации флюидов при переходе от Cu-порфирового к эпитермальному этапу развития системы. В рудных жилах и на поздних стадиях прожилково-вкрапленных руд развита эпитермальная Au-Ag минерализация intermediate sulfidation (IS) типа единой Au-Cu-порфировой системы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ: проект № 23-27-00344 (https://rscf.ru/project/23-27-00344/).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Н. И., Берзон Е. И., Семенов М. И. Кызыкчадрское медно-порфировое месторождение (Тува): геохимические особенности и возраст магматизма // Региональная геология и металлогения. – 2014. – Т. 59. – С. 70–79.
2. Кудрявцев Ю. К., Третьякова Е. Н., Сальников А. Е., Рахимипур Г. Р. Геолого-геохимические модели разноранговых рудных объектов (Au)-Mo-Cu-порфирового семейства. – М. : ИМГРЭ, 2012. – 141 с.
3. Старостин И. А., Черных А. И., Гирфанов М. М. Палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского медно-порфирового рудного поля (Республика Тыва) // Руды и металлы. – 2023. – № 4. – С. 52–73.
4. Berzin N. A., Kungurtsev L. V. Geodynamic interpretation of Altai-Sayan geological complexes // Russian Geology and Geophysics. – 1996. – V. 37. – P. 56–73.
5. Rudnev S. N., Serov P. A., Kiseleva V. Yu. Vendian–Early Paleozoic granitoid magmatism in Eastern Tuva. – 2015. – V. 56 (9). – P. 1232–1255. – DOI 10.1016/j.rgg.2015.08.002 // Russ. Geol. Geophys.

Кузнецов В. В. (okt@tsnigri.ru), Серавина Т. В. (seravina@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ФОРМАЦИОННЫЕ ТИПЫ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ И КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На основании приведенных обширных литературных данных и изучения авторами закономерностей локализации полиметаллических месторождений в основных металлогенических зонах Российской Федерации, а также создания эталонных моделей месторождений в их пределах приведена классификация формационных типов свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений.

Ключевые слова: свинцово-цинковые и колчеданно-полиметаллические месторождения, формационные типы месторождений, SEDEX, MVT, VMS.

Руды свинцово-цинковых месторождений являются комплексными и характеризуются сложным минеральным составом. Помимо двух главных металлов – Zn и Pb (при этом в большинстве случаев цинк преобладает над свинцом) – в рудах в том или ином количестве содержатся Cu, Ag, Au, Cd, In, Sn, Sb, Bi, Se, Te, которые извлекаются в качестве попутных компонентов. В свинцово-цинковых рудах сосредоточены более 80 % мировых запасов кадмия, 40–50 % таллия, 25–30 % германия, 20–25 % селена, теллура, индия, 15–20 % галлия и висмута. Особо стоит обратить внимание на то, что они служат важнейшим источником серебра: около 32 % его мировой добычи извлекаются попутно при переработке свинцово-цинковых руд.

Существует значительное количество классификаций свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений. Отметим следующие: Кривцов А. И. и др. (1986, 2002,

2010) [3, 4, 5], Cox D. P. и др. (1986) [8], Горжевский Д. И. и др. (1997) [2], Ручкин Г. В. и др. (2002) [6, 7], Galley A. G. и др. (2007) [9], Mosier D. L. и др. (2009) [11], Pirajno F. (2009) [13], Shanks W. C. (2012) [12], Kuznetsov V. V. и др. (2020) [10], Викентьев И. В. и др. (2023) [1].

В настоящее время принято выделять четыре группы месторождений:

SEDEX (Sedimentary Exhalative) – серебро-свинцово-цинковые или серебросодержащие колчеданно-свинцово-цинковые месторождения в терригенных, углеродисто-терригенных и терригенно-карбонатных формациях.

MVT (Mississippi Valley-type) – свинцово-цинковые месторождения в карбонатных формациях.

VMS (Volcanogenic Massive Sulfide) – золото-серебросодержащие колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогеннных ассоциациях. В данной группе выделяется самостоятельный подтип жильных месторождений (**VMS_G**).

Skarn type – месторождения скарнового типа.

Месторождения типа SEDEX, согласно первоначальному определению (Carne R. C. и Cathro R. J.), представлены пластовыми или слоистыми табличными сульфидными телами, которые формируются в углистых сланцах или других мелкозернистых обломочных породах. Классификация месторождений SEDEX была существенно расширена последующими исследователями, включившими в нее несколько генетически или геологически связанных типов месторождений (Lydon J. W., Hedenquist J. W., Goodfellow W. D., Lydon J. W.). Согласно данным Goodfellow W. D., Lydon J. W., тип SEDEX включает в себя три подтипа – месторождения седиментационно-эксгаляционные, придонные (ирландский подтип – Irish), а также месторождения, схожие с месторождением Брокен Хилл (BHT). Отметим, что Ирландский подтип сходен с группой MVT.

Месторождения типа MVT были выделены в отдельный класс свинцово-цинковых месторождений с 1930-х годов (Bastin E. S.). Классификация месторождений MVT остается несколько проблематичной. Ряд исследователей делают упор на тектонические условия, другие авторы проводят систематизацию на основании литологии вмещающих пород, а также существует точка зрения «наложенной» минерализации, поскольку карбонаты обычно очень быстро литифицируются, что позволяет им формировать эпигенетические структуры в условиях, близких к морскому дну.

Колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогеннных ассоциациях (VMS). Эта терминология используется более 35 лет и охватывает временные и пространственные ассоциации сульфидной минерализации, связанные с подводными вулканическими процессами. Похожие термины для колчеданных месторождений в вулканогенных ассоциациях (VMS), встречающиеся в литературе, включают: «вулканогенные сульфиды», «вулканические массивы сульфидов», «эксгаляционные массивы сульфидов», «вулканогенно-эксгаляционные массивы сульфидов», «подводно-эксгаляционные массивы сульфидов», «вулканические породы, вмещающие массивы сульфидов», «вмещающие массивы сульфидов вулканогенно-осадочные породы», «связанные с вулканитами массивы сульфидов» и «вулканофильные залежи массивов сульфидов». В ряде более ранних исследований термины «медноколчеданные» и «колчеданные» месторождения использовались применительно к богатым колчеданным рудным телам, связанным с офиолитовыми вулканическими циклами на Кипре и в других местах. Позже термин «колчеданные полиметаллические» месторождения был применен многими авторами к минерализации VMS на современном океаническом дне, которая содержит значительное количество металлов.

На основании приведенных обширных литературных данных и изучения авторами закономерностей локализации полиметаллических месторождений в основных металлогенических зонах Российской Федерации, а также создания эталонных моделей месторождений в их пределах предлагается следующая классификация формационных типов свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений.

Группа SEDEX

1. Медно-свинцово-цинковый колчеданный в углеродисто-терригенных породах (филизчайский). Примеры месторождений: Холоднинское, Линейное, Кызыл-Дере (Российская Федерация),

Филизчайское (Азербайджан), Брокен-Хилл, МакАртур Ривер, Маунт-Айза, Хилтон, Сенчури, Джордж Фишер (Австралия), Хорвард Пасс, Салливан, Том (Канада) Ред-Дог (США), Грасберг (ЮАР), Мегген, Раммельсберг (Германия), Хуошаоюнь, Чангба-Личжау (КНР), Пири-Ленд (Гренландия) и другие.

2. Свинцово-цинковый стратиформный в терригенных породах (лайсвальский). Примеры месторождений: Лайсваль (Швеция), Ларжантье (Франция) и другие.

Группа MVT

1. Свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных породах (миргалимсайский) Примеры месторождений: Сардана, Павловское, Воздвиженское, Савинское-5, Саурей, Луговое, Таборное, Сухопитское, Морянихинское (Российская Федерация), рудные районы юго-востока Миссури, Три-Стрейт, Вибурнум, Ист Тенесси (США), Мехдиабад (Иран), Пайн-Пойнт (Канада), Адмирал Бей (Австралия), Миргалимсай, Талап, Шалкия (Казахстан), Дженгеле, Мфуати (Конго), Учкулачское, Эскимазар (Узбекистан), Фангкоу (КНР), Реосин (Испания), Скорпион (Намибия), Туиссит (Марокко) и другие.

На основании исследований Г. В. Ручкина и А. И. Донца (2002) [6, 7] в данном типе выделяются следующие подтипы:

1.1. свинцово-цинковый с германием иногда с флюоритом (сарданский);

1.2. пирит-свинцово-цинковый с флюоритом (миссисипский);

1.3. пирит-свинцово-цинковый (силезско-краковский).

1.4. барит-цинково-свинцовый (миргалимсайский);

1.5. свинцово-цинковый с пиритом (шалкиинский);

1.6. пирит-барит-свинцово- цинковый (учкулачский).

2. Железо-марганцево-барит-свинцово-цинковый колчеданный в трахитоидных вулканогенно-терригенно-карбонатных породах (атасуйский): месторождения Горевское, (Российская Федерация), Жайрем, Ушкатын-I, Каражал (Казахстан).

3. Свинцово-цинковый в карбонатных породах, часто со скарнами (дальнегорский) – Skarn type. Примеры месторождений: Николаевское, Партизанское, II Советское (Российская Федерация), Алтын-Топкан, Кургашинкан (Узбекистан).

Группа VMS

1. Медно-свинцово-цинковый колчеданный в осадочно-вулканогенных породах (рудноалтайский). Примеры месторождений: Корбалихинское, Рубцовское, Новозолотушинское, Салаирское, Каменушинское, Кызыл-Таштыгское, Озерное, Назаровское (Российская Федерация), Риддер-Сокольное, Новолениногорское, Тишинское, Малеевское, Чекмарь, Орловское, Белоусовское, Зыряновское (Казахстан), Нью-Браунсвик, Кидд-Крик (Канада), Рио Тинто, Наса Вальверде, Асналькольяр, Ла Сарса (Испания), Невес-Корво, Алжуштрел (Португалия), Вудлон, Элура, Роузбери (Австралия), Саса-Тораница (Македония), Рампура-Агуча (Индия), Кекетале (КНР) и другие.

2. Свинцово-цинковый медноколчеданный в осадочно-вулканогенных породах (малокавказский). Примеры месторождений: Шамлуг (Армения), Радка, Челопеч (Болгария), Хокуроку, Дайкоку, Учинотаи, Шаканаи (Япония), Батерст (Канада), Хандиза (Узбекистан), Маднеули (Грузия) и другие.

3. Свинцово-цинковый жильный в разнообразных породах (VMS_G). 3.1. нойон-тологойский (месторождения: Нойон-Тологойское, Ново-Широкинское, Талман, Красногорское, Майминовское, Арцевское, Лидовское (Российская Федерация), 3.2. садонский (месторождения: Садон, Згид (Российская Федерация), Кер-д'Ален (США) и другие).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викентьев И. В., Дамдинов Б. Б., Минина О. Р., Спирина А. В., Дамдинова Л. Б. Классификация процессов полиметаллического рудообразования и переходный VMS–SEDEX–MV-тип – пример гигантского Озерного месторождения в Забайкалье, Россия // Геология рудных месторождений. – Т. 65, № 3. – 2023. – С. 201–237.
2. Горжевский Д. И., Ручкин Г. В., Клименко Н. Г. Минеральное сырье. Свинец и цинк : Справочник. – М. : ЗАО «Геоинформмарк», 1997. – 47 с.

3. Кривцов А. И., Бородаевская М. Б., Волчков А. Г. Оценка прогнозных ресурсов меди, свинца, цинка, никеля, кобальта : Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. − М. : ЦНИГРИ, 1986. – Ч. VI. – 107 с.
4. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Володин Р. Н., Волчков А. Г. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «медь». – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 212 с.
5. Кривцов А. И., Ручкин Г. В., Кузнецов В. В. Роль и место месторождений рудноалтайского типа в колчеданном семействе / Большой Алтай – уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии. − Усть-Каменогорск, 2010. – С. 20–22.
6. Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Донец А. И. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «свинец и цинк». – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 169 с.
7. Ручкин Г. В., Донец А. И. Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах / Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 123 с.
8. Cox D. P., Singer D.A. Mineral deposit models // U. S. Geological Survey Bulletin. – 1693. – 379 p.
9. Galley A. G., Hannington M., Jonasson I. Volcanogenic massive sulphide deposits // Mineral deposits of Canada – A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. – 2007. – Special Publication 5. – P. 141–161.
10. Kuznetsov V. V., Seravina T. V. VMS and SEDEX (+MVT) deposits of the Russian Federation // Геология и охрана недр. – 2020. – № 3. – P. 27–33.
11. Mosier D. L., Berger V. I., Singer D. A. Volcanogenic massive sulfide deposits of the world – Database and grade and tonnage models // U. S. Geological Survey Open-File Report. – 2009. – 1034. – 46 p.
12. Shanks W. C., Thurston R. Volcanogenic massive sulfide occurrence model // U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report. – 2010-5070-C. – 2012. – 345 p.
13. Pirajno F. Hydrothermal Processes and Mineral Systems. – Netherlands : Springer, 2009. – 1252 p.

Кузнецова С. В. (svkuzv@yandex.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ БРЕКЧИЙ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЗАЙЦЕВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ЗМЕИНОГОРСКОГО РАЙОНА РУДНОГО АЛТАЯ

Рассмотрены особенности рудных брекчий, выявленных в составе колчеданно-полиметаллической минерализации Зайцевского рудного поля Змеиногорского района Рудного Алтая.

Ключевые слова: колчеданно-полиметаллические месторождения, текстуры, изотопный состав.

В результате работ, проведенных ФГБУ «ЦНИГРИ», колчеданно-полиметаллическое оруденение Рудноалтайского типа, отнесенное к группе VMS, выявлено в пределах Зайцевского рудного поля Змеиногорского района Рудного Алтая. Стратиформные рудные тела локализованы в вулканогенно-осадочных породах, которые относятся к нижней рудоносной формации – базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной. Зайцевская рудная зона сложена вкрапленными, прожилково-вкрапленными, брекчиевыми и массивными рудами [5].

Было выявлено несколько типов рудных брекчий. Ниже приводится их подробное описание. В пределах рудных тел вскрыты брекчиевые руды пирит-халькопиритовые (медно-колчеданные) и сложенные преимущественно сфалеритом.

Пирит-халькопиритовые (медно-колчеданные) рудные брекчии представляют собой обломки сульфидов разного размера в лавобрекчиях кислого состава. Цемент измененный, серицит-хлоритового состава, при преобладании хлорита. В нем присутствуют мелкие обломки кварца и рудных минералов.

Обломки сульфидов в брекчии имеют размеры от нескольких миллиметров до 2 см. Встречаются как угловатые, так и окатанные разности. Крупные обломки раздроблены.

Пирит в пределах пирит-халькопиритовых брекчий представляет собой обломки гипидиоморфных зерен различной степени сохранности. Грани выровненные, сглаженные, по пириту развивается серицит-хлоритовая нерудная масса. В зернах наблюдается густая сеть трещин.

Халькопирит развивается как псевдоморфно по раздробленному пириту, так и в интерстициях нерудной массы и по трещинам в пирите.

Мелкий кластический материал рудных минералов в цементе представлен пиритом и гематитом.

Сфалеритовые брекчиевые и массивно-брекчиевые руды. Брекчии с обломками сфалерита (рисунок) образуют прослои среди вулканогенно-осадочных пород, представленных конгломерато-брекчиями алевролитов, туфами, туфопесчаниками, алевролитами, кластолавами, гравелитами. Мощность прослоев достигает 50 см, мощность массивно-брекчиевых руд – до 20 см. В массивных участках количество обломков, представленных сфалеритом, достигает 95 %. Единичные обломки представлены алевролитами. Сортировка и окатанность материала является различной. В верхней части некоторых прослоев (ближе к подошве рудного тела) наблюдались своеобразные «карманы», заполненные окатанными обломками 5–10 мм вместе с тонким материалом в цементе. На контакте с ними наблюдаются крупные угловатые обломки. Массивно-брекчиевые руды слагают прослои в средней части рудного тела, обломки здесь угловатые, по размеру достигают 3 см. Некоторые обломки несут следы откалывания. В крупных неокатанных обломках наблюдаются текстуры отрыва, характерные для брекчий обрушения. Снизу вверх по вертикали в брекчиях значительно увеличивается количество мелкого кластического материала, представленного тем же сфалеритом.

В целом по расположению и крупности обломков в брекчиях намечается неясно выраженная слоистость.

Сфалерит из обломков имеет массивный облик. Эмульсионная вкрапленность встречается эпизодически, преобладают разности без «халькопиритовой болезни». После диагностического травления выявляется крупнозернистое, двойниковое строение сфалерита обломков. По трещинам и ослабленным зонам сфалерита развивается небольшое количество пирита, галенита и халькопирита (см. рисунок).

На контакте с мелким кластическим материалом верхней части интервала наблюдается прослой с линзами колломорфного почковидного пирита. Особенностью данного пирита является присутствие в центре почек единичных пиритовых глобулей, которые обрастали колломорфными агрегатами и могли служить затравками для формирования пиритовых почек вокруг них.

Цемент брекчий замещен кварц-серицит-хлорит-сфалеритовым агрегатом, иногда присутствует карбонат. Сфалерит, который развивается по цементу, представлен мелкозернистой раз-

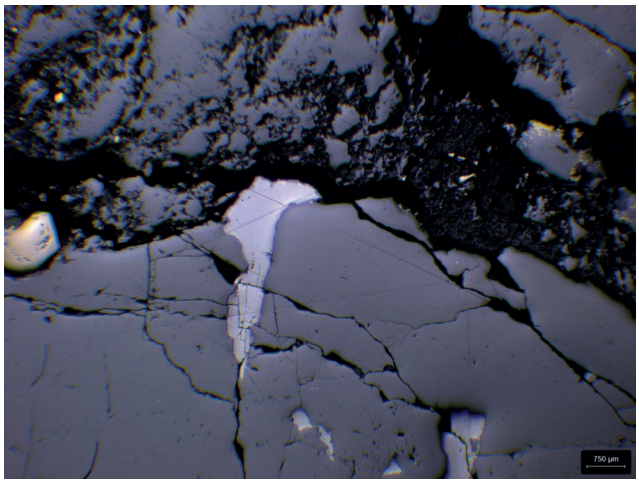


Рисунок. Раздробленный обломок сфалерита из рудной брекчии:
по трещине в обломке развивается галенит

ностью и находится в тонком прорастании с минералами метасоматитов, вместе с которыми почти нацело замещает цемент. Сфалерит из обломков, пирит и галенит, ассоциирующие с ним, корродированы этим агрегатом. В ряде случаев сфалерит цемента образует каемки вокруг сфалерита обломков, а также развивается вдоль трещин в нем.

Подобная же цинковая минерализация наблюдается в цементе конгломерато-брекчий и гравелитов. В этих породах обломки сульфидов очень редки и представлены почти исключительно алевролитами, в небольшом количестве присутствуют обломки кварца. Особенностью этих образований является значительно переработанный цемент и практически не затронутый обломочный материал, в том числе мелкий.

Изучение изотопного состава серы сульфидов ранее исследованных месторождений, локализованных в породах данной субформации, показало изотопный состав, близкий к 0 ‰ [4]. На Зайцевском рудопроявлении подобный изотопный состав установлен для сульфидов обломков брекчий (образцы без сульфидного цемента) 0,1…0,7 ‰, что свидетельствует о магматическом источнике серы при формировании сульфидов обломков [3]. Данные по изотопному составу пирита, содержащего глобулярный пирит в ядре почек, показали отрицательные значения изотопного состава серы пирита (-3,4 ‰). Низкий $\delta^{34}S$ может быть связан с влиянием бактериальной серы при образовании глобулярного пирита [1]; далее при осаждении пирита происходило обрастание глобулярного пирита колломорфным пиритом с образованием сульфидных корок. Распространение рудных брекчий с текстурами, характерными для брекчий обрушения, косвенно свидетельствует о существовании на поверхности морского дна гидротермальной сульфидной постройки [2].

Сульфиды, которые замещали цемент брекчий, образовались путем замещения слабо литифицированного осадка и выполнения полостей в результате процесса придонного переотложения в частично проницаемой среде, предложенного Пирси [5]. Для отложения сульфидов по модели Пирси нужна полупроницаемая среда, которой и могли являться еще не литифицированные брекчии и гравелиты, благоприятные для циркуляции гидротермального раствора. В пользу модели Пирси [5] также свидетельствует более тяжелый изотопный состав серы из образцов брекчий с сульфидным цементом (до 3 ‰).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриненко В. А., Гриненко Л. Н. Геохимия изотопов серы. – М. : Наука, 1974. – 273 с.
2. Зайков В. В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин (на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири). – Изд. 2-е, доп. – М. : Наука, 2006.
3. Ковалев К. Р., Гаськов И. В., Перцева А. П. Изотопный состав серы колчеданно-полиметаллических руд месторождений азиатской части России // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42, № 2. – С. 83–112.
4. Кузнецова С. В. Структурно-текстурные признаки гидротермально-осадочного происхождения руд колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая : автореферат дисс. на соискание учен. степени кандидата геол.-мин. наук.
5. Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К., Иваненкова Е. В. Колчеданно-полиметаллическое оруденение Рудного Алтая типа VMS на примере Зайцевского рудного поля (Змеиногорский рудный район) // Отечественная геология. – 2025. – № 2 (в печати).
6. Piercey S. J. A semipermeable interface model for the genesis of subseafloor replacement type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits // Economic Geology. – 2015. – V. 110. – P. 1655–1660.

Лабусов В. А.[1, 2] (info@vmk.ru), Дзюба А. А.[2], Бабин С. А.[2], Селюнин Д. О.[2], Зарубин И. А.[2], Неклюдов О. А.[1], Семёнов З. В.[2], Ващенко П. В.[2]
[1] ООО «ВМК-Оптоэлектроника», ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск;
[2] ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ ПРОБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Разработан не имеющий аналогов в мире спектрометр высокого разрешения для экспресс-определения валовых содержаний благородных металлов (БМ – Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Rh и Ru) в порошковых геологических пробах методом сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектрометрии, который построен на базе светосильного полихроматора «Гранд» с высокоскоростными детекторами БЛПП-4000. Принцип работы спектрометра: порошковая проба равномерно в течение 20 секунд вводится в плазму электрической дуги переменного тока, где частицы нагреваются и образуют атомный пар, а входящие в их состав атомы химических элементов излучают на характерных для них длинах волн. В компьютер вводится временна́я последовательность из десятка тысяч спектров этого излучения. Когда частицы, содержащие БМ, попадают в плазму, наблюдаются вспышки (сцинтилляции) их линий в спектрах. С помощью программного обеспечения находят эти вспышки, измеряют их интенсивность и рассчитывают валовые содержания БМ, число и размеры частиц-носителей БМ. Преимущества спектрометра в его чувствительности (пределы обнаружения БМ находятся на уровне их средних содержаний в земной коре – 1–50 мг/т), производительности (до 500 проб за смену), а также в простоте пробоподготовки (пробы достаточно измельчить до 200 меш).

Ключевые слова: спектрометр Гранд-Поток, геологические порошковые пробы, сцинтилляционная атомно-эмиссионная спектрометрия.

Атомно-эмиссионная спектрометрия в настоящее время является одним из наиболее информативных многоэлементных методов анализа веществ и материалов. Широкое распространение для анализа геологических порошковых проб в настоящее время получили спектрометры с индуктивно-связанной плазмой, позволяющие одновременно определять десятки элементов Периодической системы Д. И. Менделеева с пределами обнаружения на уровне единиц мкг/кг. При этом вещества, находящиеся в твердой фазе, требуют химической пробоподготовки для предварительного перевода их в раствор, которая существенно увеличивает трудоемкость и длительность аналитического цикла, а также является основным источником погрешностей результатов анализа.

Альтернативой атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой является прямая атомно-эмиссионная спектрометрия с дуговым разрядом между графитовыми электродами [1]. При прямом анализе порошковых объектов не требуется предварительная химическая подготовка пробы и, соответственно, исключены загрязнения и потери исходного состава, снижаются время и затраты на проведение анализа. Существуют два варианта введения проб в дуговой разряд: (1) навеску 3–50 мг анализируемого вещества помещают в кратер графитового электрода; (2) навеску 100–250 мг порошка просыпают через кварцевую воронку. Второй способ позволяет уменьшить время, затрачиваемое на регистрацию спектра при использовании более представительных навесок. Благодаря прямому анализу вещества в твердой фазе исключаются возможные источники заражений и потери аналита на этапе предварительной подготовки пробы к анализу. Однако анализируемые пробы содержат множество разнообразных химических элементов, что приводит к насыщенности их спектров аналитическими линиями разной интенсивности, для разделения которых требуется высокое спектральное разрешение, но зачастую его увеличение приводит к ухудшению светосилы прибора, что в свою очередь приводит к увеличению пределов обнаружения. Ввиду этого наиболее востребованы спектрометры с высоким спектральным разрешением и светосилой.

Около 40 лет назад для снижения пределов обнаружения благородных металлов (БМ – Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Rh и Ru) в порошковых геологических пробах был предложен метод сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектрометрии (САЭС) и, хотя удалось продемонстрировать его эффективность с использованием ФЭУ, создать на их основе прибор не смогли. Возрождение этого метода стало возможно благодаря прогрессу в микроэлектронике и компьютерной технике. Авторы данной работы около 10-ти лет развивают этот метод, создавая специальные источники возбуждения спектров порошковых проб, светосильные спектрометры высокого разрешения, быстродействующие системы регистрации спектров на основе линеек фотодетекторов и специальные алгоритмы обработки спектров.

В настоящее время разработан спектрометр высокого разрешения «Гранд-Поток» [2, 3], отвечающий особым требованиям геологической отрасли при поисках благороднометалльных месторождений. Спектрометр включает в себя светосильный спектральный прибор «Гранд» с высокоскоростными многоканальными анализаторами эмиссионных спектров (МАЭС) и электродуговую установку «Поток» для возбуждения в электрической дуге спектров эмиссии порошковых проб методом просыпки-вдувания. С целью повышения временно́й и пространственной разрешающей способности, а также чувствительности созданы быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек фотодетекторов БЛПП-4000, регистрирующие последовательность спектров со скоростью до 1000 спектров/с. Спектрометр реализует метод САЭС при экспрессопределении БМ в порошковых геологических пробах без предварительной химической пробоподготовки.

Принцип работы спектрометра: порошковая проба равномерно в течение 20 секунд вводится в плазму электрической дуги переменного тока, где частицы нагреваются и образуют атомный пар, а входящие в их состав атомы химических элементов излучают на характерных для них длинах волн. В компьютер вводится временна́я последовательность из десятка тысяч спектров этого излучения. Когда частицы, содержащие БМ, попадают в плазму, наблюдаются вспышки (сцинтилляции) их линий в спектрах (рис. 1). С помощью программного обеспечения эти вспышки находят, измеряют их интенсивность и рассчитывают валовые содержания БМ, число и размеры частиц-носителей БМ.

Преимущества спектрометра заключаются в его чувствительности – пределы обнаружения БМ в порошковых пробах находятся на уровне их кларков (средних содержаний БМ в земной коре – 1–50 мг/т, см. таблицу), экспрессности – производительность анализа составляет до 500 проб за смену, а также в простоте пробоподготовки – пробы достаточно измельчить до 75 мкм. Спектрометр не имеет аналогов в мире.

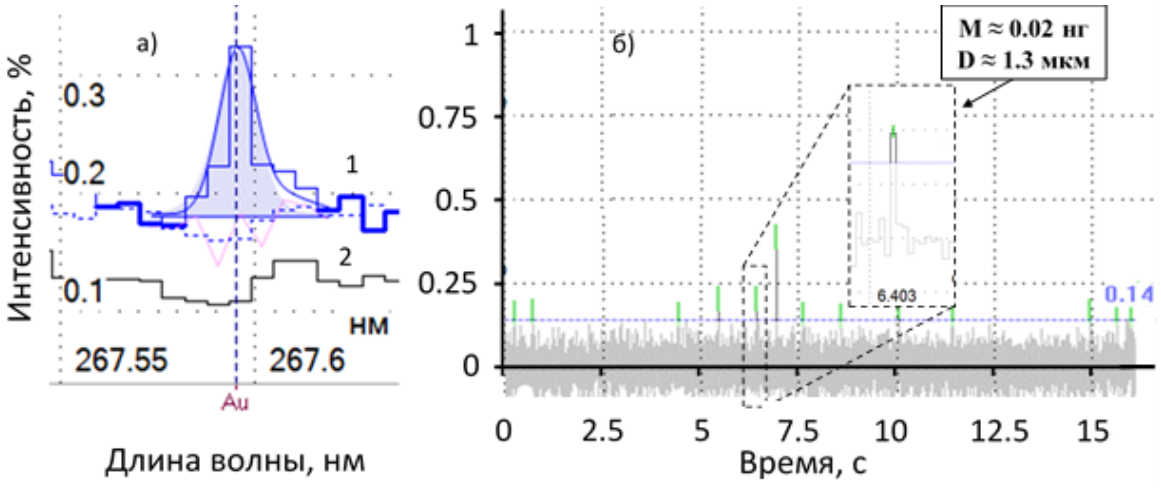


Рис. 1. Спектры в окрестности линии Au 267.595 нм:
а – во время вспышки (1) и интегральный по времени (2), б – зависимость интенсивности этой линии от времени, здесь крупно выделена вспышка от отдельной частицы золота и указаны ее приблизительный диаметр D и масса M

Таблица. Среднее содержание в земной коре и минимальные концентрации благородных металлов и элементов-спутников, определяемые в порошковых геологических пробах спектрометром «Гранд-Поток» методом САЭС [1]

Элемент	Ед. изм., % мас.	Среднее содержание в земной коре	C_{min} в градуировочных образцах
Au	10^{-7} (мг/т)	4.3	0.6
Ag		60	4
Pt		5	4
Pd		10	1.3
Rh		1	30
Ru		50	0.4
Ir		1	3
Os		50	10
As	10^{-4} (г/т)	1.7–1.8	0.88
Bi		0.009–0.17	0.04
Cd		0.13–0.20	0.025
Cu		47–55	11
Ni		58–75	5
Pb		16–12.5	2
S		470–200	50000
Sb		0.5–0.2	0.8
Se		0.05	17
Sn		2.5-2	1.8
W		1.3–1.5	0.2



Рис. 2. Внешний вид атомно-эмиссионного спектрометра Гранд-Поток (Институт им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург)

Спектрометр внедрен в производство на предприятии «ВМК-Оптоэлектроника» под наименованием Гранд-Поток. Он является средством измерения массовой доли определяемых элементов состава веществ и материалов (№ 89108–23 в Госреестре средств измерения РФ). Точность и воспроизводимость результатов анализа подтверждены аттестованными методиками измерений, как например ФР.1.31.2024.48285 (разработчик ООО «ГРК “Быстринское”»).

Использование нескольких десятков спектрометров «Гранд-Поток» в аналитических лабораториях России (предприятия Росгеологии: АО «Дальневосточное производственно-геологическое объединение», г. Хабаровск; АО «Северо-Восточное производственно-геологическое объединение», г. Магадан и др.), Республики Казахстан (ТОО «Центр Консалтинг», Алматы

и др.) и Республики Узбекистан (предприятия Госкомгеологии: ГП «Центральная лаборатория», г. Ташкент; ГУП «Восточно-Кураминская геологоразведочная экспедиция», г. Ангрен и др.) для поиска месторождений БМ показало их высокий экономический эффект по соотношению скорость/стоимость анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильева И. Е., Шабанова Е. В. Этапы развития дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии в приложении к анализу твердых геологических образцов // Аналитика и контроль. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 280–295. https://doi.org/10.15826/analitika.2021.25.4.007.
2. Лабусов В. А., Дзюба А. А., Гаранин В. Г., Пелипасов О. В., Зарубин И. А., Борисов А. В., Болдова С. С., Григорьева С. В., Путьмаков А. Н., Селюнин Д. О., Бабин С. А., Саушкин М. С. Спектрометры оптические Гранд – новое средство измерения массовых долей определяемых элементов // Аналитика и контроль. – 2024. – Т. 28. – № 3. – С. 259–269. DOI: 10.15826/analitika.2024.28.3.004.
3. Сайт предприятия «ВМК-Оптоэлектроника»: http://www.vmk.ru/.

Лаломов А. В. (lalomov@mail.ru), Григорьева А. В. (grig@igem.ru),
Иванова Ю. Н. (jnivanova@yandex.ru)
ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва

ИСТОЧНИКИ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ЛУКОЯНОВСКОГО РОССЫПНОГО РАЙОНА

Характерной особенностью редкометалльно-титановых россыпей Лукояновского россыпного района (ЛРР) Нижегородской области является наличие хромшпинелидов, содержания которых достигают промышленных значений. Предполагается, что хромшпинелиды поступали в россыпи их местных локальных источников.

Ключевые слова: россыпи, хромшпинелиды, Лукояновский россыпной район.

Россыпи ЛРР отличаются от аналогичных редкометалльно-титановых россыпей Восточно-Европейской мегапровинции повышенным содержанием хромшпинелидов. Они локализуются в прибрежно-морских отложениях средней юры (рис. 1).

По мнению многих исследователей региона [1, 5], формирование россыпей происходило за счет промежуточного источника подстилающих россыпевмешающую толщу пермских отложений, на образование которой большое влияние оказали состав и история развития Уральского складчатого региона. Но большая удаленность хромсодержащих офиолитовых массивов Урала, слабая окатанность зерен хромшпинелидов (рис. 2) и низкая зрелость минерального состава тяжелой фракции россыпей ЛРР (наличие большого количества неустойчивых при выветривании минералов) указывает на то, что формирование пермско-юрских отложений этого региона происходило без участия (или при слабом участии) кор химического выветривания.

Морфологические особенности рудных минералов позволяют предположить несколько источников сноса рудного материала как ближнего, так и дальнего. Исследование химического состава хромшпинелидов наиболее изученной и перспективной Итмановской россыпи показало, что в большинстве своем они аналогичны хромшпинелидам офиолитовой формации (рис. 3).

Представляется, что при общем влиянии на формирование осадочного чехла центральной и восточной частей Восточно-Европейской платформы на рубеже перми и триаса палеоорогена Уралид на состав тяжелой фракции отложений района заметное влияние оказала Пучеж-Катунская кольцевая структура диаметром около 80 км, расположенная к северу от Лукояновского купола. По мнению одних исследователей, эта структура является метеоритным кратером, образованным падением крупного метеоритного тела, произошедшим в интервале верхней перми–средней юры (байоса). В ряде работ был предложен сценарий ее эндогенно-эксплозивного и вулкано-тектонического происхождения [3].

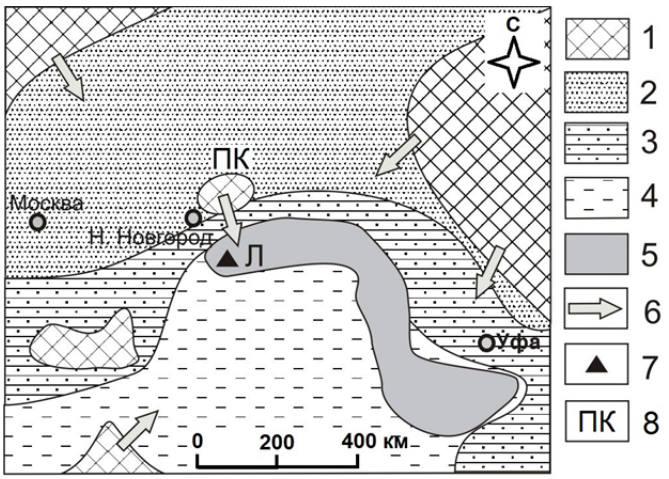


Рис. 1. Схема распространения перспективных отложений батского яруса средней юры, по материалам [1, 4]:
1 – горная и равнинная суша, область эрозии; 2 – равнинная суша, область осадконакопления; 3 – прибрежная равнина, временами заливаемая морем; 4 – мелководное море, терригенные осадки; 5 – площади развития перспективных продуктивных отложений; 6 – главные направления сноса обломочного материала; 7 – Лукояновский россыпной район; 8 – Пучеж-Катунгская структура

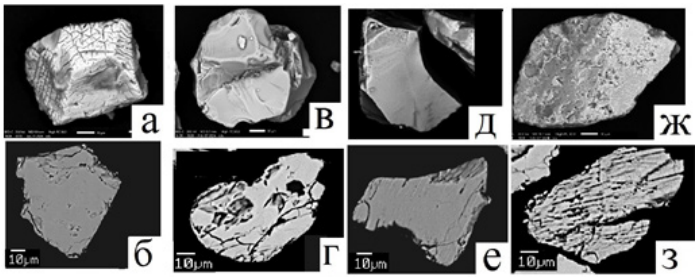


Рис. 2. Морфологические типы зерен хромшпинелидов Итмановской россыпи ЛРР (слева BSE-изображения зерен на пленке, справа – сечения в полированных шашках):
а–б – зерна, частично сохранившие очертания октаэдра (тип 1); в–г – обломки зерен различной степени окатанности (тип 2); д–е – неокатанные осколочные обломки зерен (тип 3); ж–з – частично окатанные зерна со следами поверхностного растворения (тип 4)

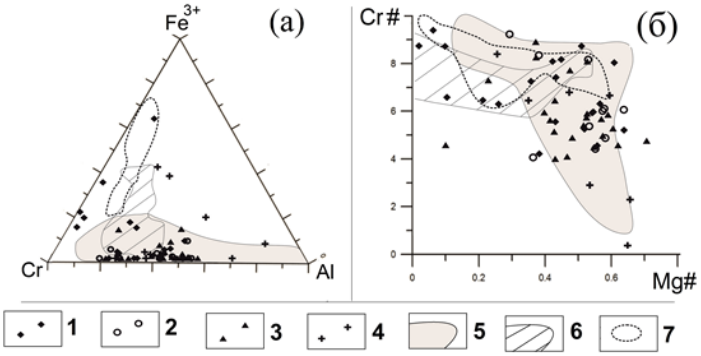


Рис. 3. Классификационные диаграммы Cr–Al–Fe^{3+} (а) и Mg#–Cr# (б) для хромшпинелидов Итмановской россыпи ЛРР:
1–4 – морфологические типы зерен хромшпинелидов (см. рис. 2); 5–7 – поля составов хромшпинелидов (50%-й контур) из: 5 – офиолитов, 6 – расслоенных интрузивных массивов (layered intrusions), 7 – концентрически-зональных платиноносных массивов (Alaskan zoned ultramafic complexes); поля составов хромшпинелидов из ультрамафитов различной формационной принадлежности даны по [6]

Съемочно-поисковыми работами было установлено, что среди гнейсов и амфиболитов наблюдаются маломощные тела пироксенитов, горнблендитов и перидотитов, а архейские породы Воротиловского выступа перспективны на выявление месторождений редких земель цериевой группы и хрома [2].

Нетипичный для редкометалльно-титановых россыпей умеренно зрелый минеральный состав тяжелой фракции, повышенное содержание хромшпинелидов, широкий разброс показателей окатанности тяжелых минералов указывает на то, что помимо общих благоприятных для россыпеобразования условий на формирование россыпи большое влияние оказали местные источники, расположенные в районе Воротиловского выступа фундамента.

Более обоснованное доказательство этой модели возможно после анализа хромитов и циркона из пород Пучеж-Катункской структуры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00109, https://rscf.ru/project/24-27-00109/

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гурвич С. И., Болотов А. М. Титано-циркониевые россыпи Русской платформы и вопросы поисков. – М. : Недра, 1968. – 185 с.
2. Кирков И. Г., Кочергина В. А., Хайдарова Д. А. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Средневолжская. Лист O-38-XXVI (Пучеж). Объяснительная записка. – М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», – 2021. 112 с.
3. Колодяжный С. Ю., Кузнецов Н. Б., Романюк Т. В. [и др.] Природа Пучеж-Катункской импактной структуры (центральная часть Восточно-Европейской платформы): результаты изучения U-Th-Pb изотопной системы зерен детритового циркона из эксплозивных брекчий // Геотектоника. – 2023. – № 5. – С. 70–95.
4. Лаломов А. В., Рахимов И. Р., Григорьева А. В. Хромитовые россыпные проявления Волго-Уральского бассейна – вопросы генезиса, источников и промышленного потенциала // Георесурсы. – 2021. – № 3. – С. 70–75. – DOI: https://doi.org/10.18599/grs.2021.03.17
5. Патык-Кара Н. Г. Минерагения россыпей: типы россыпных провинций. – М. : ИГЕМ РАН, 2008. – 526 с.
6. Barnes S., Roeder P. The Range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // Journal of Petrology. – 2001. – V. 42. – P. 2279–2302.

Литвиненко И. С.
ФГБУН «СВКНИИ ДВО РАН», г. Магадан

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ПРОГНОЗ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ПО РОССЫПЯМ

Изложен метод локального количественного прогнозирования золотого оруденения на основе информации по россыпям. Рассчитаны значения переходного коэффициента от запасов золота в россыпях к запасам в эродированной части рудных тел различных формационных типов коренных источников.

Ключевые слова: золото, россыпи, коренные источники, формационные типы, прогнозирование.

Основы предлагаемого метода локального количественного прогнозирования золотого оруденения разрабатывались совместно с С. Г. Желниным на рудных и россыпных объектах Центрально-Колымских районов Северо-Востока России. Он опирается на данные о типоморфных особенностях золота, закономерностях его распределения и запасах в промышленной части россыпных месторождений и сведения о геолого-геоморфологических условиях формирования россыпей (тип коренного источника, динамика новейших движений, порядок водотока и т. д.).

За исходное металлогеническое подразделение для прогнозирования принимается рудное поле, с рудными телами которого с достаточной определенностью связываются группа россыпей, россыпь или участок россыпи. Количественный прогноз осуществляется поэтапно: вначале определяются запасы в эродированной части месторождений, затем оставшиеся в недрах.

Масса металла в эродированной части рудных тел слагается из суммы выявленных (добытых или разведанных балансовых) и неучтенных запасов в россыпях, потерь золота при окатывании и истирании его частиц в процессе образования россыпей и количества присутствовавшего в эродированных частях рудных тел мелкого (менее 0,25 мм) золота. Оно лишь частично сохраняется в ходе формирования пластовых концентраций и лишь частично учитывается при разведочно-эксплуатационных работах [2].

Неучтенные запасы в россыпях составляют запасы золота за пределами промышленного контура и потери, обусловленные несовершенством технологического оборудования и методов эксплуатации россыпных месторождений. Доля их от добытого золота, по материалам П. П. Богомягкова, С. Г. Желнина, Ю. А. Травина и др. (СВКНИИ ДВО РАН, научный архив-фонды. Научный отчет № 1942, 1983. Л. 275–286; и др.), колеблется от 10 % в долинах средних и высоких порядков районов интенсивных новейших движений до 35 % в долинах низких порядков районов слабых новейших поднятий. Потери при окатывании золотин, исходя из результатов выполненных в лабораторных условиях экспериментов [3], составляют от 5 % в россыпях с относительно мелким золотом долин низких порядков районов слабых новейших поднятий до 20 % в россыпях с крупным золотом районов интенсивного новейшего горообразования. На долю мелкого золота в зависимости от формационного и структурно-морфологического типа коренного источника, по данным технологических проб в выявленных рудных проявлениях и месторождениях Северо-Востока России, приходится от 5 до 90 %.

Значения переходного коэффициента от запасов золота в россыпях к запасам в эродированной части рудных тел (Кп), соответствующие минимальному и максимальному проценту потерь золота при формировании и отработке россыпей, приведены в таблице.

Таблица. Значения переходного коэффициента от запасов золота в россыпях к запасам в эродированной части рудных тел ($К_п$)

Формация	Структурно-морфологический тип оруденения	$К_п$
Золото-кварцевая	Жильный: секущие жилы, линзы, гнезда согласные жилы, линзы, гнезда	1,5–1,9 1,8–3,2
	Прожилково-вкрапленный в осадочных породах	2,3–8,9
	Прожилково-вкрапленный в дайках	1,5–3,2
Золото-серебряная	Жильный, прожилково-вкрапленный	2,0–32,3 (5,2–16,2)
Золото-редкометалльная	Жильный, прожилково-вкрапленный	2,2–3,2
Золото-кварц-сульфидная	Жильный, прожилково-вкрапленный Прожилково-вкрапленный (залежи)	1,9–2,5 3,3–5,4
Золото-сульфидная	Прожилково-вкрапленный	8,8–16,2
Золотоносная молибден-медно-порфировая	Жильный, прожилково-вкрапленный Вкрапленный	6,6–10,8 8,8–16,2

Прогнозная оценка части запасов, оставшейся в недрах, основывается на информации о масштабах проявления золота в эродированной части, сведениях о зональности и размахе оруденения по известным (эталонным) месторождениям и данных о величине денудационного среза рудных тел.

При отсутствии данных о зональности оруденения в основу определения величины эродированных частей рудных колон берется положение, что к моменту завершения формирования палеоген-неогеновой региональной поверхности выравнивания коренные источники либо только вскрывались, либо подходили к поверхности выравнивания [1]. В этом случае средняя величина эрозионных вырезов речных долин от реликтов поверхности выравнивания на их междуречьях принимается как средняя величина эродированных частей рудных колон, распределение золота по их падению условно считается равномерным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Желнин С. Г. Условия образования аллювиальных россыпей золота на Северо-Востоке Азии. – М. : Наука, 1979. – 120 с.
2. Шило Н. А. Учение о россыпях : Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Изд. 2, перераб. и доп. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 576 с.
3. Шумилов Ю. В., Желнин С. Г., Сальманова В. А., Анисимова Т. В. О характере поведения золота в водно-аллювиальной среде при образовании россыпных месторождений (по данным эксперимента) // Колыма. – 1977. – № 1. – С. 31–33.

Лихоман О. А.
ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», г. Саратов

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РОССЫПЕЙ В МЕЗОЗОЙСКИХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОРЕНБУРГСКОГО УРАЛА

Методика геологоразведочных исследований, применяемая при многолетнем изучении на территории Оренбургского Урала и Предуральского прогиба Уральской шлиховой партией СГУ, показала себя чрезвычайно эффективной для установления закономерностей формирования и размещения россыпей разнообразных генетических типов и широкого возрастного диапазона и позволила выявить перспективы золотоносности богатого полезными ископаемыми района.

Ключевые слова: методика исследования, геологические карты, россыпное золото, рудная нагрузка, ключевые участки.

На территории Оренбургского Урала и Предуральского прогиба, отличающихся различным геологическим строением палеозойского фундамента и историей развития в мезозойско-кайнозойское время, применённая при проведении многолетних геологоразведочных работ Уральской шлиховой партией при СГУ имени Н. Г. Чернышевского обширная методика исследований позволила установить закономерности формирования и размещения россыпей разнообразных генетических типов и широкого возрастного диапазона, начиная с нижнего триаса и кончая современными [1, 2].

Методика исследований включала в себя составление на исследованную площадь в масштабе 1 : 200 000 рабочих вариантов карт (геологические карты поверхности, карты рыхлых отложений, геоморфологической, палеогеографической, неотектонической, кор выветривания, шлиховой и рудной нагрузки), базирующихся на всех имеющихся материалах и являющихся основой карты россыпей. К карте россыпей и прогноза разработана и составлена легенда.

Комплекс полевых исследований (шлиховое, протолочное, гранулометрическое, технологическое, литохимическое, геохимическое и бороздовое опробование, геоморфологические наблюдения, поисковые маршруты, детальное изучение опорных разрезов, горные и буровые работы) на участках, являющихся ключевыми, помог выяснению палеогеографической обстановки, стратиграфического положения отдельных толщ, продуктивности мезозойско-палеозойских отложений, распределения в них по вертикали и латерали полезной минерализации, установлению критериев и признаков образования россыпей, пространственной и генетической связи разновозрастных рыхлых образований с современными и древними формами рельефа. По разработанной легенде составлены карты россыпей золота, платины, циркона, монацита, ильменита и рутила с элементами прогноза и направления геологических работ. В легенде к карте россыпей и прогноза особое внимание уделено россыпям золота, наиболее изученным и имеющим промышленное значение.

Поисковые маршруты в пределах ключевых участков проводились с целью выбора наиболее представительного разреза для шлихового, протолочного и геохимического опробования, для изучения литологического, гранулометрического и петрографического состава обломоч-

ных пород, фациальной изменчивости, условий залегания и напластования, закономерностей внутреннего строения рыхлых толщ, ориентировки обломков, наличия размывов и перемывов, определения состава и количества цемента, выявления условий, благоприятных для накопления тяжелых минералов, прослеживания обогащенных слоев и горизонтов по простиранию и т. д.

При геоморфологическом обследовании участков обращалось особое внимание на морфометрические измерения, изучение генезиса и возраста аллювиальных фаций и их детальное картирование, формы речных долин и развитые в их пределах микроформы рельефа. Изучалось плановое распределение гидросети, деформация и расчлененность террас, измерялись скорости течения, размерность обломков у плотиковой и приплотиковой части и насыщенность этого слоя глинистым материалом.

Шлиховые пробы отбирались в поисковых маршрутах и при геоморфологических наблюдениях из горизонтов рыхлых отложений с целью установления содержания полезного компонента и его спутников, направления, ширины и протяженности конусов выноса тяжелых минералов от коренного источника [5].

Протолочному опробованию подвергались все литологические разности в разрезе мезозойских и кайнозойских отложений на ключевых и опорных участках. На обнаженных участках опробовались все гипогенно измененные и неизмененные литологические разности кристаллических пород. Сопоставление минералогического состава дает надежную информацию об источниках сноса и россыпеобразующей роли различных образований палеозойского фундамента.

Гранулометрическое опробование мезозойских и кайнозойских отложений проводилось с целью определения объема, размерности, петрографического состава, степени окатанности обломков по классам и т. д. Эти данные несут информацию об источниках сноса, их удаленности, помогают прослеживать древние долины, дают сравнительный цифровой материал по динамике потока и условиям переноса обломочного материала.

Технологические пробы отбирались только в пределах продуктивных горизонтов для установления коэффициента рыхления, процента каменистости, степени промывистости и налипаемости цемента опробованных отложений.

По единичным заверочным шурфам для определения истинного содержания золота и других компонентов в разрезе продуктивного горизонта применялось валовое опробование.

В результате проведенных исследований на основании рабочих вариантов карт и полевых исследований по описываемой легенде на территорию юга Южного Урала впервые в масштабе 1 : 200 000 составлена карта россыпей и прогноза. Карта составлена по двум комплексам минералов: а) благородным и редким минералам – золоту, платине, серебру, киновари, касситериту, шеелиту, висмутовым минералам, молибдениту, танталиту и колумбиту; б) минералам цветных металлов и их спутникам – халькопириту и борниту, хризоколле, куприту, халькозину, малахиту, азуриту, самородной меди, галениту, сфалериту, самородному свинцу, самородному цинку, арсенопириту, пириту, бариту, марказиту, флюориту. Для всех минералов установлены закономерности распределения по площади. Примененная методика исследования позволяет рекомендовать участки на поиски полезных ископаемых.

Комплексный анализ фактического материала позволил на территории Оренбургского Урала и Предуралья выделить 9 россыпеносных районов (золото-платиновых, золото-комплексных): Верхне-Суундукский, Средне-Суундукский, Верхне-Джарлинский, Верхне-Кумакский, Тургайский, Южно-Предуральский, Западно-Елизаветинский, Джитыгаринский, Саринский (см. рисунок) с указанием конкретных, разнообразных по возрасту и генезису, продуктивных горизонтов в зависимости от геолого-тектонических условий формирования рельефа, расположения коренных источников полезных ископаемых, палеогеографической, геоморфологической и тектонической позиции структур, фациальных условий осадконакопления. Верхне-Суундукский район многими исследователями относится к перспективным для возобновления россыпной золотодобычи (Левитан, 1974; Сигов, Ромашов, 1976; Тищенко, 1987; Тищенко, Юшина, 1995) [3].

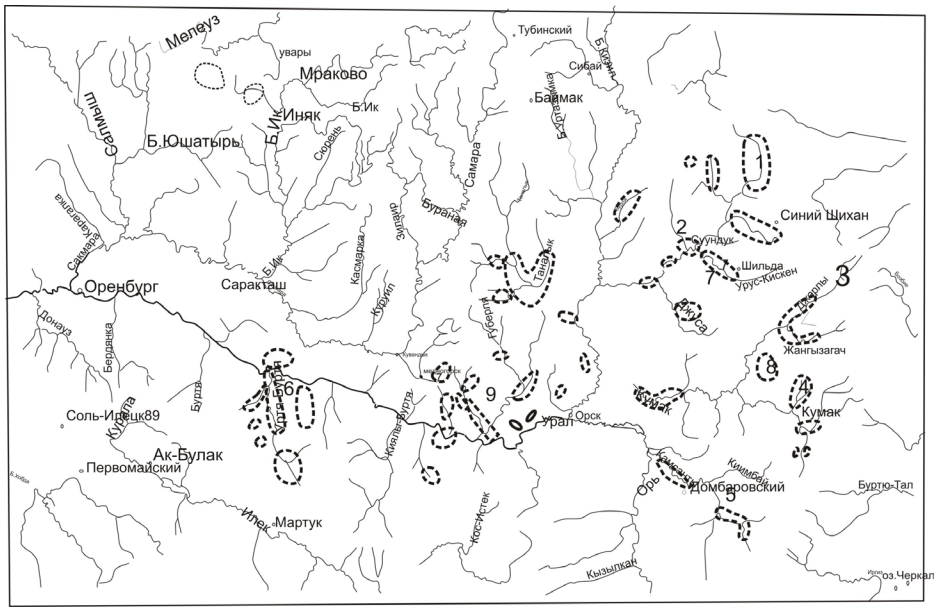


Рисунок. Районы россыпной золотоносности Южного Урала:
1 – Верхне-Суундукский, 2 – Средне-Суундукский, 3 – Верхне-Джарлинский, 4 – Кумакский, 5 – Тургайский, 6 – Южно-Предуральский, 7 – Западно-Елизаветинский, 8 –Джитыгаринский, 9 – Саринский

Для эоцен-олигоценовых пролювиальных образований косых пластов, неоген-четвертичных ложковых россыпей, терригенных и русловых отложений р. Суундук и её притоков характерны россыпи золота, платины и других минералов. Золото в русловых отложениях рек Суундука, Безымянки, Байтука, Солончатки, Айдырли указывает на обогащение аллювия рек благородным металлом за счёт многочисленных источников сноса [4]. В террасовых отложениях с мощностью продуктивного горизонта до 5–8 метров промышленная значимость надпойменного аллювия подчёркивается кондиционными содержаниями золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихоман О. А. Актуальные проблемы металлогении ртути Южного Урала // ДАН. – 2013. – Т. 453, № 2. – С. 176–179.
2. Лихоман О. А. Актуальные проблемы геологии Внешней зоны Южного Урала // Материалы 13 Уральского литологического совещания. От анализа вещества к бассейновому анализу. – Екатеринбург : 2020. – С. 128–130.
3. 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 (г. Воронеж, ВГУ, 13–18 сентября 2021 г.). – Воронеж : 2021. – С. 54–56.
4. Лихоман О. А. Роль колчеданных месторождений в образовании россыпей золота (Оренбургский Урал) // XIII международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». ФГБУ «ЦНИГРИ», Москва, 10–12 апреля 2024 г. – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 228–231.
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». ФГБУ «ЦНИГРИ», Москва, 13–16 апреля 2021 г. – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 131–133.

Лохов Д. К. (dlkhv@yandex.ru), Федорова К. С., Захаров С. Н.
Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург

ФОРМАЛИЗОВАННАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ДЮМТАЛЕЙСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЮЖНЫЙ ТАЙМЫР) НА СУЛЬФИДНОЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

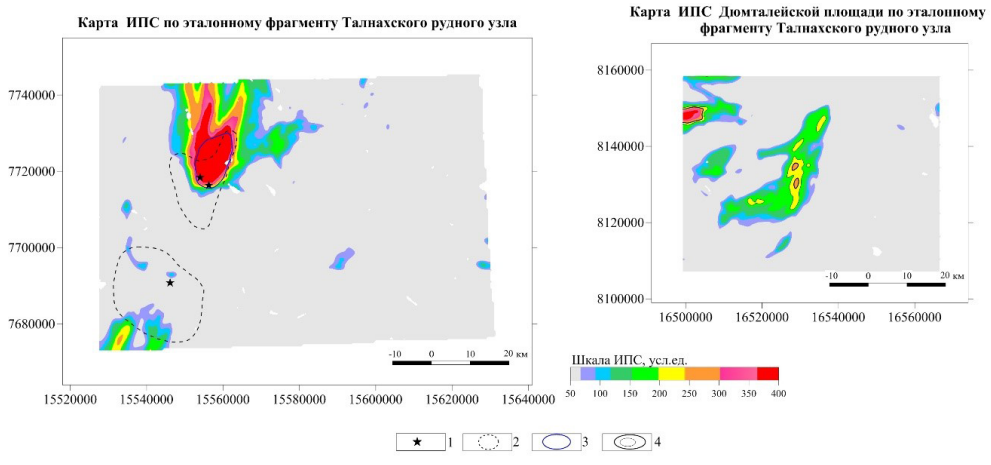
Актуальность поиска и разведки новых платиноидно-медно-никелевых месторождений в настоящее время трудно переоценить. Особенно важным данный вопрос представляется в свете освоения и развития территорий севера Красноярского края, так как эксплуатирующиеся месторождения (Норильск и Талнах) в значительной степени исчерпали свои запасы. В свете данной проблемы интерес может представлять выявление и изучение новых перспективных объектов. В качестве примера такого объекта может выступать Дюмталейский интрузив, расположенный на Южном Таймыре. Рассмотрены геолого-геофизические признаки перспектив наличия Cu-Ni-Pt оруденения в пределах Дюмталейского массива и структур его обрамления.

Ключевые слова: прогноз, геофизика, потенциальные поля, медь, никель.

Дюмталейский интрузив расположен в среднем течении р. Большая Таймыра, вблизи её притоков рек Дюмталей и Луктах на пересечении Южно-Таймырского и Тарейско-Котуйского региональных разломов среди вулканогенных и терригенно-угленосных образований поздней перми и раннего триаса. Возраст интрузива определяется как средне-позднетриасовый [2, 4].

В 1990–1997 гг. ПО «Норильскгеология» проводило поисковые работы на сульфидные медно-никелевые руды на Дябакатаринском и Тальниковском перспективных участках Центрального Таймыра. В ходе данных работ и был впервые выявлен и изучен Дюмталейский дифференцированный массив умеренно щелочных габброидов с оксидным титано-магнетитовым и сульфидным медно-никелевым оруденением. В 1996–1998 гг. при проведении структурно-поискового бурения по южному обрамлению Таймырской складчатой области Дюмталейский интрузив был прослежен в скважинах на 54 км [2, 4]. Ввиду наличия сульфидных медно-никелевых руд, а также рассеянной платиноидной минерализации, Дюмталейский интрузив часто сопоставляется с месторождениями Норильского промышленного района. Данное сходство подчёркивается и петрографическим составом рудовмещающих пород [2, 5].

В геофизических полях Дюмталейский интрузив отмечается интенсивными положительными аномалиями аномального магнитного поля и поля силы тяжести.



1 - Талнахский и Норильский рудные узлы; 2 - известные медно-никелевые месторождения; 3 - контур эталонной площади; 4 - изолинии аномальных зон ИПС

Рисунок. Формализованная оценка перспективности Дюмталейской площади на поиски медно-никелевых руд

Для формализованной оценки перспективности Дюмталейской площади на поиски медно-никелевых руд в качестве эталона использовался схожий по своему геологическому строению с исследуемой площадью фрагмент Талнахского рудного узла, включающий Талнахское и Октябрьское месторождения [1, 4]. Формализованная (количественная) оценка перспективности площади по комплексу геофизических признаков выполнена с использованием алгоритмов распознавания образов, реализованных в технологии «ИПС» (информационный параметр сходства) [3]. Набор информативных геофизических признаков, отражающий рудоконтролирующие критерии, был получен для эталонного фрагмента Талнахского рудного узла и использован для расчета ИПС по Дюмталейской площади.

В результате прогнозных построений установлено, что в средней части Дюмталейской площади выделяется обширная аномальная зона ИПС, включающая локальные аномалии более высокой интенсивности (см. рисунок). Кроме того, в северо-западной части площади выделяется аномальная зона, сравнимая по интенсивности с эталонной площадью.

Результаты данной работы могут быть полезны для выявления и изучения новых перспективных медно-никелевых объектов в пределах Таймыро-Североземельской складчатой области и прилегающих районов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Лист R-45 (Норильск). – СПб. : ВСЕГЕИ, 2016.
2. Зеленецкий Д. С., Асламов Ю. В., Аристов В. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Лист S-46 (Тарея). СПб. : ВСЕГЕИ, 2017.
3. Зеленецкий Д. С., Асламов Ю. В., Аристов В. В. Опережающее геофизическое обеспечение прогнозно-металлогенических исследований масштаба 1 : 500 000 в Яно-Колымской золоторудной провинции // Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений – достижения и перспективы. – М. : 2008. – С. 82–83.
4. Комарова М. З., Козырев С. М., Кокорин Н. И., Кнауф В. В. Расслоенная интрузия реки Дюмталей. Петрология, рудоносность. Недра Таймыра // Под ред. О. Н. Симонова. Вып. 3. – Норильск : ВСЕГЕИ, 1999.
5. Туганова Е. В. Формационные типы, генезис и закономерности размещения сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2000.

Мальковец В. Г. [1] (MalkovetsVG@alrosa.ru), Гибшер А. А. [1] (GibsherAA@alrosa.ru), Яковлев И. В. [1] (YakovlevIgV@alrosa.ru), Милаушкин М. В. [1] (MilaushkinMV@alrosa.ru), Гаранин К. В. [2] (GaraninKV@polyus.com)

[1]АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Новосибирск, [2]УК «Полюс», г. Москва

«ГИТ-ЭКСПЕРТ» – ПО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВЕЩЕСТВЕННО-ИНДИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КИМБЕРЛИТОВ И ПРОГНОЗА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ И КАЧЕСТВА АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ

В ГРК АК «АЛРОСА» (ПАО) проводится разработка программного продукта «ГИТ-Эксперт» для обработки комплекса вещественно-индикационных характеристик кимберлитов, алмаза и минералов-спутников алмаза с целью прогноза потенциальной алмазоносности кимберлитов и качества алмазного сырья. Данный программный продукт состоит из аналитических модулей, справочников, референсных и лабораторных баз данных. Аналитические модули, согласно их наименованию, проводят обработку соответствующих вещественно-индикационных характеристик кимберлитов, алмаза и минералов-спутников алмаза. В справочниках хранится информация по кимберлитовым телам, содержанию и стоимостным характеристикам алмазного сырья. Референсные базы данных содержат информацию о вещественно-индикационных

характеристиках эталонных объектов (образцах), информация о которых проверена экспертом (экспертами). В лабораторных базах данных хранится информация по текущим пробам.

Ключевые слова: кимберлит, алмазоносность, минералы-спутники алмаза, литосферная мантия, геотерма, «алмазное окно».

В пределах Сибирского кратона к настоящему времени открыты свыше 1350 кимберлитовых тел, и менее 1 % из них содержат алмазы в количествах, достаточных для их коммерческой эксплуатации. Большинство месторождений алмазов в Якутии были открыты в XX веке в пределах так называемых открытых территорий. Необходимо отметить, что эпоха простых открытий очевидно осталась в прошлом. В настоящее время временной интервал между обнаружениями месторождений алмазов составляет свыше 10 лет. Последнее значимое открытие – тело Майское – состоялось в пределах известного Накынского кимберлитового поля в 2006 г. Таким образом, очевидно, что алмазоносные кимберлиты являются одними из самых трудных целей в поисковой геологии. Все вышеперечисленное однозначно свидетельствует о необходимости актуализации, модернизации и совершенствования применяемых методик поиска и оценки (переоценки) кимберлитовых тел.

В ГРК АК «АЛРОСА» (ПАО) проводится разработка программного продукта «ГИТ-Эксперт» для обработки комплекса вещественно-индикационных характеристик кимберлитов, алмаза и минералов-спутников алмаза с целью прогноза потенциальной алмазоносности кимберлитов и качества алмазного сырья. Данный программный продукт состоит из аналитических модулей, справочников, референсных и лабораторных баз данных. **Аналитические модули**, согласно их наименованию, проводят обработку соответствующих вещественно-индикационных характеристик кимберлитов, алмаза и минералов-спутников алмаза. В настоящий момент список аналитических модулей следующий: «МСА-Эксперт», «Геохимия граната-Эксперт», «Петрохимия-Эксперт», «Петрография-Эксперт», «Алмаз-Эксперт», «Включения в алмазе-Эксперт», «Микроалмазы-Эксперт», «Микрооксиды-Эксперт», «РТ-Эксперт», «Петрофизика-Эксперт» и, собственно, «ГИТ-Эксперт». В **справочниках** хранится информация по кимберлитовым телам, содержанию и стоимостным характеристикам алмазного сырья. **Референсные базы данных** содержат информацию о вещественно-индикационных характеристиках эталонных объектов (образцах), информация о которых проверена экспертом (экспертами). В **лабораторных базах данных** хранится информация по текущим пробам. Проверенные и выверенные данные из лабораторных проб могут переводиться в референсные базы данных.

Аналитические модули системы «ГИТ-Эксперт» выполняют разные задачи, однако ключевой идеей системы является перевод разнородных геологических, минералогических, петрографических, петрофизических и прочих вещественно-индикационных параметров в числовой вид с целью последующей их обработки математико-статистическими методами. В основу каждого модуля положены существующие критерии или представления о связи тех или иных вещественно-индикационных параметров с алмазоносностью и качеством алмазного сырья. Некоторые критерии, такие как минералогический критерий Н. В. Соболева о связи высокохромистых низкокальциевых гранатов гарцбургит-дунитового парагенезиса с алмазоносностью кимберлитов, широко используются в практике алмазопоисковых работ [3, 4]. В некоторых случаях, к примеру, существуют лишь эмпирические представления о связи алмазоносности с содержанием TiO_2 в кимберлитах. Разработку новых критериев алмазоносности кимберлитов существенно затрудняет качество имеющихся в наличии данных предшествующих исследований по вещественно-индикационным параметрам кимберлитов. Зачастую отбор проб кимберлитов на разные виды анализов происходил не только из разных интервалов опробования одной скважины, но даже из разных скважин. В некоторых случаях имеются лишь литературные данные по некоторым кимберлитовым телам. Кимберлитовые тела зачастую состоят из нескольких фаз внедрения. Хорошо известно, что содержание алмазов может заметно варьировать в пределах одного кимберлитового тела. Разница в содержании алмазов может быть связана как с разными фазами внедрения кимберлитов, так и с отбором проб в разных фациях кимберлитового тела: кратерная фация, диатрема или подводящая гипабиссальная дайка. Идеологией, положенной в основу данной работы, является отбор проб на все виды исследований из одной разновидности

пород из одного интервала (отбор из кернового материала скважин) или глыбы (отбор материала из карьера или из камер подземного рудника) кимберлитов.

В настоящий момент АК «АЛРОСА» получены патенты на аналитические модули «МСА-Эксперт» [1] и «Геохимия граната-Эксперт» [2]. Модуль «МСА-Эксперт» позволяет рассчитывать кристаллохимические формулы минералов, строить разнообразные дискриминационные диаграммы и выдавать качественный прогноз потенциальной алмазоносности. Модуль «Геохимия граната-Эксперт» позволяет обрабатывать данные по микроэлементному составу гранатов, рассчитывать палеогеотерму на момент выноса гранатов на поверхность, реконструировать термальную мощность литосферы, Y-край, мощность «алмазного окна» и глубинные разрезы литосферной мантии под отдельными кимберлитовыми телами и также выдавать качественный прогноз потенциальной алмазоносности. Модули позволяют проводить обработку данных по минералогии МСА и геохимии граната в едином ключе – используя единый набор и формат графиков, которые могут быть скопированы из программы и вставлены в различные текстовые редакторы. Использование данных модулей существенно увеличивает скорость обработки данных и снижает трудозатраты на описание минералогических проб.

Создание выверенных баз данных по вещественно-индикационным параметрам кимберлитов позволит нам провести их обработку методами многомерного статистического анализа для big data. В результате мы ожидаем получить новые зависимости, которые, возможно, ускользали от взгляда исследователей при анализе стандартных бинарных диаграмм.

Одной из важнейших составляющих, положенных в основу разрабатываемой системы ГИТ-Эксперт, является идеология сохранности как полученных данных с точной их привязкой, так и сохранность самих образцов, из которых были получены эти данные. Научный прогресс в области аналитических методов исследования геологических образцов за последние 30 лет произвел существенный скачок как в разнообразии методов, так и в их точности. Точная привязка образцов и наличие референсных сохранных коллекций исследованных образцов позволит любому исследователю в будущем вернуться к данным образцам для их повторного изучения более совершенными методами и методиками. Сохранность референсных коллекций – важная составляющая работы исследователей.

Источники финансирования: собственные средства АК «АЛРОСА» (ПАО).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611824 «МСА-Эксперт (KIM-Expert)».
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685114 «Геохимия гранатов-Эксперт».
3. Соболев Н. В., Лаврентьев Ю. Г., Поспелова Л. Н., Соболев Е. В. Хромовые пиропы из алмазов Якутии // Доклады Академии Наук СССР. – 1969. – Т. 189, № 1. – С. 162–165.
4. Sobolev N. V., Lavrent'ev Y. G., Pokhilenko N. P., Usova L. V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their paragenesis // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1973. – V 40. – P. 39–52.

Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Керимли У. И.
БГУ, г. Баку, Азербайджанская Республика

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ОРДУБАДСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

Рассматривается прогнозная оценка полиметаллического оруденения в Ордубадском рудном районе, проявленного в пределах Агдаринского, Насирвазского, Шекердаринского рудных полей. Охарактеризована перспективность отдельных рудных полей на полиметаллическое оруденение.

Ключевые слова: Ордубадский рудный район, полиметаллы, перспективные участки, прогнозная оценка.

Полиметаллическое оруденение в Ордубадском рудном районе проявлено в пределах Агдаринского, Насирвазского, Шекердаринского рудных полей. На указанных рудоносных площадях сосредоточены в основном все известные в пределах одного из наиболее перспективных на Малом Кавказе областей проявления медных и полиметаллических руд. Распределяясь неравномерно, последние протягиваются по полосе север-северо-западного направления вдоль западной рамы Мегри-Ордубадского гранодиоритового массива и образуют обособленные узлы концентраций, отделенные друг от друга безрудными или слабоминерализованными площадями. Эти узлы приурочены к локальным брахиантиклинальным поднятиям с вулканическими постройками и выделяются нами как конкретные рудные поля [1, 5]. В пределах рудных полей оруденение локализуется на участках развития вторичных кварцитов вдоль разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного направлений среди нижнеэоценовых вулканогенных толщ, представленных порфиритами, их туфами, туфоконгломератами и туфопесчаниками. Наиболее широким распространением пользуется оруденение прожилково-вкрапленного и жильного типов, отмечаемых во всех рудопроявлениях исследуемых рудных полей. Пластообразно-линзовидные залежи массивных руд характерны для Агдаринского колчеданно-полиметаллического месторождения и Насирвазского полиметаллического проявления. Небольшие залежи отмечаются также на Сапдаринском медно-полиметаллическом проявлении [2, 5]. Массивные руды приурочены к контакту вторичных кварцитов и залегают в основании терригенно-вулканомиктовой пачки.

Сапдаринское проявление изучено слабо. Это в основном оруденение прожилково-вкрапленного типа, отмечаются также небольшие линзовидные тела среди протяженных (до 2,2 км) и мощных (от 3–5 до 30–40 м) зон гидротермально-измененных пород, развитых на площади около 4 км^2. Наряду с основными компонентами руды содержат также золото от 0,8 до 6,5–9,5 г/т. Объект заслуживает детального опоискования на глубоких горизонтах и оценки перспектив на полиметаллическое и золотое оруденение.

Агдаринское поле расположено к югу от Насирвазского, отделяясь от него слабоминерализованным промежутком в 3 км. В пределах поля известны Агдаринское колчеданное полиметаллическое месторождение, Кванцкое, Мазринское и Говурмадаринское полиметаллические проявления жильного типа. Проявления не получили положительной оценки из-за небольших масштабов.

Агдаринское месторождение детально разведано. Здесь подсчитаны запасы свинца, цинка, меди, золота и серебра. Запасы по сумме свинца и цинка не превышают 10 тыс. т (при соотношении Pb : Zn = 1 : 3); запасы меди несколько более 1 тыс. т. Частично месторождение разрабатывалось: было добыто до 3 тыс. т руды. Здесь наряду с цинком и свинцом в рудах в промышленных концентрациях присутствуют медь, серебро и золото. Среднее содержание золота составляет 3,7 г/т, серебра 168,5 г/т. В отдельных штуфных пробах содержание золота достигает 38 г/т, серебра до 872 г/т. Площадь Агдаринского месторождения осложнена многочисленными разрывными нарушениями. По нашим данным, сплошная полиметаллическая рудная залежь благодаря сбросу разбита на отдельные блоки, приподнятая часть которой ныне обработана. Задачей будущих разведочных работ является выявление опущенных блоков этой залежи. Учитывая геологическую позицию, занимаемую Агдаринским месторождением, наиболее целесообразной представляется проходка буровых скважин [1, 2].

Насирвазское колчеданно-полиметаллическое месторождение находится в северо-западном продолжении Агдаринского месторождения и является составной частью Насирваз-Агдаринского рудного поля, где помимо Насирвазского месторождения расположено Ширалинское рудопроявление. Месторождение охватывает вулканическую постройку Гюлюм-гюлюм, которая сложена лавобрекчиями и лавами андезит-базальтов нижней толщи последовательно дифференцированной формации.

Основным структурным элементом месторождения является полого залегающий (35–45°) разлом северо-восточного простирания, который играет роль рудоконтролирующей структуры. К лежачему боку разлома приурочена залежь колчеданно-полиметаллической минерализации, которая по форме представляет собой линзу небольшого размера. Руды, слагающие линзу, имеют массивное строение и сложены галенитом, сфалеритом, пиритом, халькопиритом. За-

лежь на поверхности и в глубину оконтурена наземными горными выработками и скважинами. Главными компонентами руд являются свинец и цинк, среднее содержание которых составляет 6,6–8,9 %. Содержание меди 1 %. Насирвазское рудное поле, в северо-западной части рудоносной полосы, объединяет одноименное полиметаллическое и Сапдаринское медно-полиметаллическое проявления. Рудное поле и проявления детально опоискованы, на Насирвазском месторождении проводились поисково-разведочные работы. Среднее содержание свинца 6,6 %, цинка 8,9 %, меди 1 %. Рудная залежь с глубиной выклинивается. Содержание полезных компонентов в этих зонах значительно ниже, чем в линзе (свинец – от 0,98 до 1,5 %, цинк от 1,77 до 8 %, медь от 0,18 до 0,2 %).

Аналогично Агдаринскому на Насирвазском месторождении залежь массивных колчеданно-полиметаллических руд со стороны лежачего бока контактирует с вторичными кварцитами с прожилково-вкрапленной минерализацией. Содержания цинка, свинца и меди значительно ниже и составляют соответственно 0,01–0,34 %, 0,02–1,2 % и 0,01–0,5 %, что часто не позволяет считать указанный тип оруденения промышленным. Основную массу прожилковых руд слагает пирит и реже халькопирит.

Говурмадаринское месторождение полиметаллических руд также расположено в приконтактовой полосе Мегри-Ордубадского батолита и сформировано отложениями нижнего эоцена, прорываемыми дайковыми образованиями гранит-порфирового состава. Минерализация имеет пирит-галенит-сфалеритовый состав, главные минералы – галенит и сфалерит, отмечаются пирит, халькопирит, блеклая руда, золото.

Гюмушлугское рудное поле приурочено к области развития палеозойского терригенно-карбонатного комплекса в северо-западной части Аразской металлогенической зоны. Оно занимает вытянутую в северном направлении рудоносную площадь размером около 90 км^2 и объединяет эксплуатируемое *Гюмушлугское месторождение* и *Данзикское проявление* полиметаллического (свинцово-цинкового) оруденения. Оруденение залегает в известняках среднего девона (живетского яруса), слагающих ядро антиклинали, и контролируется разломами северо-западных простираний. Морфологически оно представлено секущими крутопадающими жилами мощностью до 1,5 м и прослежено с перерывами на расстояние 500–600 м. Кроме жильного типа рудных тел на месторождении выявлены пластовые залежи. Фактически они являются небольшой мощности (~ 10–15 м) телами растеков, отходящих от рудоконтролирующих трещин и локализующихся в двух горизонтах известняков, разделенных глинистыми сланцами [3, 4].

В аналогичных геологических условиях находится детально опоискованное Данзикское проявление, расположенное в 8 км к северу от Гюмушлугского месторождения. Здесь выявлены не имеющие промышленного значения несколько мелких (до 150 м по длине и 0,15–0,85 м по мощности) кварц-баритовых жил с вкрапленным и тонкопрожилковым свинцово-цинковым оруденением, содержащим свинец (от 0,1–0,3 % до 9 %) и цинк (0,2–0,5 %). Рудопроявление перспективно на обнаружение рудных тел промышленного значения, аналогичных Гюмушлугскому месторождению. Необходимо проведение работ по изучению глубоких горизонтов рудопроявления [5].

Перспективы рудного поля в целом не могут считаться полностью установленными. Здесь не исключена возможность выявления новых промышленных концентраций скрытого полиметаллического оруденения. Свидетельством является наличие крупных свинцово-цинковых месторождений в девонских отложениях в сопредельных областях Ирана. Положительные результаты поисков в Ордубадском рудном районе обуславливают целесообразность продолжения геологоразведочных работ на полиметаллы в пределах Агдаринского рудного поля среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ нижнего эоцена. К числу наиболее перспективных участков относятся Насирвазское рудное поле и ряд других, на которых целесообразно проведение детальных поисковых и поисково-оценочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Керимли У. И. Эндогенная минерагения и прогноз благороднометального оруденения коллизионного этапа развития Мисхано-Зангезурской зоны (юго-западная полоса Мегри-Ордубадского гранитоидного интрузива) : автореферат дис. доктора философии по наукам о Земле. – Баку : М-во образования Азерб. Респ., БГУ, 2014. – 24 с.

2. Курбанов Н. К. Геолого-генетические предпосылки прогноза и поисков месторождений цветных и благородных металлов в альпийской вулканогенной эвгеосинклинали Малого Кавказа // Труды ЦНИГРИ. – Вып. 189. – М. : ЦНИГРИ, 1984. – С. 3–36.
3. Мансуров М. И. Перспективы поисков и прогноза месторождений цветных и благородных металлов Мехманинского рудного поля (Малый Кавказ, Азербайджан) // Сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 143–145.
4. Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Керимли У. И. Основы прогнозирования перспективных участков и новых типов оруденения Мехманинского рудного поля (Карабахское поднятие, Азербайджан) // Сборник тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2023. – С. 308–310.
5. Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана (условия формирования, закономерности размещения, научные основы прогнозирования) / Ответственный редактор В. М. Баба-заде. – Баку : Озан, 2005. – 808 с.

Мартынов В. Т., Мартынов И. В. (artarus@gmail.com)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

СПОСОБ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Предлагаемый способ подсчета запасов по зонам, имеющим однородное содержание полезного компонента, позволяет значительно снизить ошибки определения среднего содержания, увязав аномально высокие содержания с общими особенностями концентраций полезного компонента в недрах.

Ключевые слова: подсчет запасов, однородные совокупности, логарифмически нормальное распределение.

Подсчет запасов месторождений обычно основывается на предположении геологической и статистической однородности всей выборочной совокупности проб. Поэтому промышленные руды и подсчетные блоки оконтуриваются способом линейной интерполяции или интерполяции на середину расстояния между пробами (пересечениями). В последнем случае каждой пробе (пересечению), независимо от содержания в ней и в соседних пробах металла, придается одинаковая площадь подсчетного блока. В связи с этим на месторождениях с неравномерным распределением промышленной минерализации или с неравномерным изменением мощности рудного тела необходимо вводить поправки для проб с выдающимся содержанием или раздувами мощностей. Известны более сорока способов учета проб с «ураганным» содержанием полезного компонента, целью которых является предотвращение завышения среднего содержания металла в подсчетном блоке.

При подсчете запасов по зонам, имеющим однородно содержание полезного компонента, можно значительно снизить ошибки определения среднего содержания, увязав аномально высокие содержания с общими особенностями концентраций полезного компонента в недрах. Эти особенности широко известны по материалам геологоразведочных и эксплуатационных работ на месторождениях цветных и благородных металлов. Во-первых, повсеместно отмечается, что распределение содержания полезных компонентов в рудах согласуется с логарифмическими законами теории вероятности, т.е. с увеличением содержания металла в пробах уменьшается относительная частота их встречаемости. Во-вторых, основные запасы находятся в рудах, в которых содержание полезного компонента выше среднего по объекту, а занимают они лишь часть площади объекта подсчета, т.е. на относительно меньшую частоту высоких содержаний приходятся большая часть запасов и меньшая площадь объекта.

Если не учитывать перечисленные особенности, то вычисленное содержание, как правило, не будет репрезентабельным, поскольку является результатом усреднения неоднородных статистических величин. Для создания массива статистических данных необходимо разграничить зоны с однородными совокупностями элементов [1]. В основу рекомендуемой методики положено требование статистической однородности членов выборочной совокупности проб, по которой производится расчет среднего содержания полезного компонента.

При логнормальном распределении содержаний металла график, построенный на логарифмически-вероятностной сетке (бланке) по точкам, соответствующим верхним границам логарифмических классов (оси абсцисс), накопленным в классах относительным частотам проб (оси ординат), выражается прямой линией. Статистическая неоднородность распределения содержания по рудному телу в целом или его отдельным частям (подсчетным блокам) на графике проявляется одним или несколькими изломами этой линии. Проекции точек излома на ось абсцисс дают границы статистически однородных и логарифмически нормальных по распределению полезного компонента зон, которым соответствуют определенные свойства изучаемого объекта.

Исходя из указанных особенностей распределения полезного компонента и условия, что распределение площадей, принадлежащих разным зонам, также близко к логнормальному, границы и площади зон определяют на графической проекции подсчетного блока. Логарифмическая интерполяция применяется после того, как принято решение о нецелесообразности дальнейшего сгущения разведочной сети для подсчета соответствующей категории запасов. Подсчет запасов полезного компонента в блоке выполняется суммированием запасов, вычисленных для каждой зоны.

Методика подсчета запасов подразделяется на две основные операции: сначала определяются численные границы и средние значения статистически однородных по содержанию полезного компонента выборочных совокупностей проб, затем устанавливаются площади зон, однородные по содержанию полезного компонента и подсчитываются запасы металла. Каждая операция включает ряд простейших математических приемов.

Определение численных границ и средних однородных по содержанию полезного компонента выборочных совокупностей проб складывается из: а) вычисления накопленных относительных частот в логарифмических классах (знаменатель геометрической прогрессии класса принят равным двум и нанесения на логарифмически-вероятностную сетку соответствующих точек (по оси абсцисс верхних границ классов содержаний, по оси ординат накопленных относительных частот); б) проведения линий, осредняющих ряд последовательных точек и нахождения мест их характерных изломов, проецирования последних на ось абсцисс и определения численных границ статистически однородных выборочных совокупностей и проб. Для каждой выделенной совокупности вычисляются среднее содержание на мощность в месте отбора проб и средняя арифметическая мощность рудного тела.

Особо следует подчеркнуть, что выделенные зоны характеризуются не только определенными средними содержаниями металла, средней мощностью жилы в блоке, но и условиями их размещения: литологическими, структурными условиями залегания и т. д. Например, руды первой и второй зон преимущественно расположены в габбродиоритах и крупнозернистых песчаниках, для остальных вмещающими породами являются переслаивающиеся мелко- и среднезернистые песчаники и т.д. В данном случае использование этих особенностей размещения зон в блоке при проведении границ между горизонтами подземных выработок оказалось невозможным. Количество же зон может служить критерием сложности геологического строения объектов исследования.

Подсчет запасов на основе оконтуривания зон однородных по содержанию металла дал наилучший результат. Объясняется это соответствием вычисленных вероятностных характеристик основных геологоразведочных признаков характеристиками генеральной совокупности эксплуатационного блока и принятого от способа интерполяции – закону распределения этих признаков.

Сопоставления результатов определения среднего содержания полезного компонента, выполненные для шестидесяти шести блоков трех месторождений с данными эксплуатационного

опробования, показали, что при использовании предлагаемой методики ошибка определения среднего содержания металла при вероятности 0,8 составляет менее ± 18 %, тогда как при других методах, широко применяемых в настоящее время, ее величина более ± 30 %.

Широкое использование предлагаемой методики наряду с общепринятыми приемами подсчета запасов позволит осуществить оценку ее эффективности и показать соответствие зон однородных по содержанию полезного компонента определенным геологическим особенностям строения объекта исследования.

Мелекесцева И. Ю. (melekestseva-irina@yandex.ru),
Котляров В. А. (kotlyarov@mineralogy.ru)
ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В РУДАХ СУЛЬФИДНЫХ УЗЛОВ СЕМЕНОВ И ИРИНОВСКОЕ (РОССИЙСКИЙ РАЗВЕДОЧНЫЙ РАЙОН, СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ)

В рудах узлов Семенов и Ириновское (Атлантический океан) установлены самородные золото и серебро, аурostибит, калаверит, сильванит, гессит, науманнит, акантит, аргентотетраэдрит-Zn, миаргирит, пиаргирит, стефанит, ленаит, полибазит. Золото входит в состав ковеллина и пирита, серебро – в состав золота, сфалерита, хоулиита и сульфидов Cu.

Ключевые слова: благородные металлы, золото, серебро, сульфиды, гидротермальные сульфидные поля, Российский разведочный район, Срединно-Атлантический хребет.

Руды океанических гидротермальных сульфидных полей содержат акцессорные минералы благородных металлов, которые могут представлять интерес при возможной добыче. В работе рассмотрены формы нахождения Au и Ag в рудах сульфидных узлов Семенов (13° 30′ с. ш.) и Ириновское (13° 20′ с. ш.), связанных с внутриокеаническими комплексами Срединно-Атлантического хребта.

Наибольшие концентрации Au (17,0–188,2 г/т; медиана 44,7 г/т) и Ag (128–1788 г/т, медиана 250 г/т) определены в Cu-Zn рудах поля Семенов-2 [5]. Видимая форма Au (~ 70 %) включает: 1) преобладающее самородное золото с размером зерен не более 10 мкм и содержанием Ag 0,31–23,07 мас. %, которое встречается в опале и редко в халькопирите и сфалерите (рисунок, а) [5]; 2) редкие аурostибит ($AuSb_2$), калаверит ($AuTe_2$) и сильванит ($AuAgTe_2$), обнаруженные в изокубаните и на контакте изокубанита и сфалерита [1]. Среди минералов Ag диагностированы гессит Ag_2Te, который приурочен к изокубанит-халькопирит-сфалеритовым агрегатам и опалу [1, 5], и Au-содержащее самородное серебро, которое ассоциирует с галенитом, самородным мышьяком и сфалеритом и As-содержащим (1,21–18,06 мас. % As) пиритом (см. рисунок, б). Невидимая форма Au и Ag (30 %) связана с их вхождением в ковеллин: 22,51–226,64 и 1201,25–2664,54 г/т соответственно [5].

Барит-пиритовые руды поля Семенов-1 содержат 0,53–4,76 г/т Au [6]. Более 90 % Au и Ag сконцентрировано в самородном виде в пирите и реже – барите (см. рисунок, в). Размер зерен самородных металлов не превышает 2 мкм, содержания Ag составляют 37–48 мас. %. Серебро также входит в состав акантита (Ag_2S), ленаита ($AgFeS_2$) и полибазита (?) ($(Ag,Cu)_{16}Sb_2S_{11}$). Невидимое золото находится в пирите и марказите (< 1,64 г/т) [6]. В сульфидном штокверке этого поля обнаружено самородное золото в ассоциации с пирротином, изокубанитом и халькопиритом [2].

В барит-пиритовых рудах поля Семенов-3 содержание благородных металлов низкое: 0,20–0,63 г/т Au и 6,3–20,4 г/т Ag, которые входят в состав пирита и марказита (не более 0,49 г/т) [4]. Единичные ЛА-ИСП-МС анализы с содержаниями 5,75 и 10,80 г/т Au свидетельствуют о присутствии самородной формы золота.

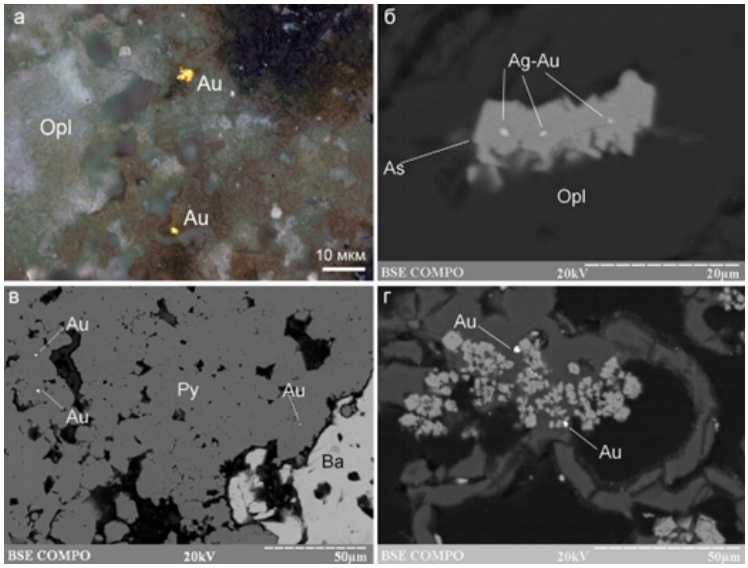


Рисунок. Минералы Au и Ag в рудах полей Семенов и Ириновское:
дендритовидные частицы самородного золота (Au) (а) и зерна Au-содержащего самородного серебра (Ag-Au) в кристаллах самородного мышьяка (As) (б) в опале (Opl) поля Семенов-2; в – частицы низкопробного самородного золота в пирите (Py) поля Семенов-1; г – зерна самородного золота на контакте пирита и опала поля Ириновское. Фото: а – отраженный свет, б–г – BSE-изображение

В опал-сфалеритовых трубах курильщиков поля Ириновское содержание Au составляет 2,4–14,2 г/т [3]. Многочисленные зерна самородного золота размером не более 2 мкм найдены в опале, на контакте опала и сфалерита, в оксигидроксидах Fe и смектитах (см. рисунок, г). Содержание Ag в рудах составляет 37,6–490,6 г/т. Видимая форма Ag включает акантит и сульфосоли, близкие по составу к аргентотетраэдриту-Zn ($Ag_6(Cu_4Zn_2)Sb_4S_{12}S$), миаргириту ($AgSbS_2$), пиаргириту ($Ag_3SbS_3$) и стефаниту ($Ag_5SbS_4$). Серебро также входит в состав сфалерита (0,37–2,56 мас. %), предположительно хоулиита (CdS) (1,71–21,01 мас. %), ковеллина (0,58–20,50 мас. %) и ярроуита (37,00–37,55 мас. %).

Таким образом, главным полезным компонентом в рудах полей Семенов-2 и Ириновское после Cu и Zn является Au, наибольшее количество которого находится в свободной форме. Барит-пиритовые руды поля Семенов-1 с низким содержанием Cu и Zn могут представлять интерес как источник золота. Мелкие размеры частиц золота и его связь с разными (включая нерудные) минералами указывают на то, что флотационное и гравитационное извлечение будет неэффективно. Необходимо тонкое измельчение и гидрометаллургическое извлечение золота либо при помощи цианирования, либо биовыщелачивания или обжига с последующим цианированием. Невидимое золото в сульфидах может быть извлечено, т. к. оно будет поступать во флотационный сульфидный концентрат. При условии вскрытия некоторая часть свободного золота, заключенного в сульфидах, будет поступать в сульфидный концентрат, но часть золота, заключенная в несульфидных минералах, будет уходить в хвосты. Присутствие теллуридов и стибнидов Au, а также нахождение Au-содержащего самородного серебра в самородном мышьяке могут быть причиной потерь благородных металлов или увеличения затрат в связи с применением дополнительных технологических приемов для их извлечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Firstova A., Stepanova T., Sukhanova A. [et al.] Au and Te minerals in seafloor massive sulphides from Semyenov-2 hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge // Minerals. – 2019. – V. 9. – Article № 294.
2. Martin A., Murton B., McLeod C. [et al.] Deep-sea drilling of the 13°30′ N oceanic core complex: Assessing links between fluid flow, metal enrichment and seafloor massive sulfide deposit formation near Semenov-1 // Lithos. – 2025. – V. 494–495. – № 5. – Article 107921.

3. Melekestseva I., Kotlyarov V., Tret'yakov G. [et al.] The heavy-metal fingerprint of the Irinovskoe hydrothermal sulfide field, 13°20′ N, Mid-Atlantic Ridge // Minerals. – 2022. – V. 12. – Article № 1626.
4. Melekestseva I., Maslennikov V., Safina N. [et al.] Sulfide breccias from the Semenov-3 hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge: authigenic mineral formation and trace element pattern // Minerals. – 2018. – V 8 (8). – Article № 321.
5. Melekestseva I., Maslennikov V., Tret'yakov G. [et al.] Gold- and silver-rich massive sulfides from the Semenov-2 hydrothermal field, 13°31.13′ N, Mid-Atlantic Ridge: A case of magmatic contribution? // Economic Geology. – 2017. – V. 112. – № 4. – P. 741–773.
6. Melekestseva I., Tret'yakov G., Nimis P. [et al.] Barite-rich massive sulfides from the Semenov-1 hydrothermal field (Mid-Atlantic Ridge, 13°30.87′ N): Evidence for phase separation and magmatic input // Marine Geology. – 2014. – V. 349. – P. 37–54.

Мельников А. В. (Melnikov_Anton1972@mail.ru)
ФГБУН ИГиП ДВО РАН, г. Благовещенск

ЗОЛОТОРУДНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ АННЕНСКОЕ – НОВЫЙ ВЫСОКОПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЪЕКТ КРУПНООБЪЕМНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПАЛЕОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА В ВЕРХНЕМ ПРИАМУРЬЕ

Авторами проведены исследования одного из перспективных на благороднометалльное оруденение проявления Анненское Верхне-Боконтинского рудного поля. Оно приурочено к толще песчаников, алевролитов, глинистых сланцев, пачкам их тонкого ритмичного переслаивания, седиментационных брекчий и конгломератов боконтинской толщи пермского возраста Токурской подзоны Селемджино-Кербинской зоны Амуро-Охотского звена Монголо-Охотской системы. Установлено, что содержание Au в кварц-сульфидных жилах достигает 214,8 г/т, Ag – до 10 г/т. В повышенных количествах отмечаются As (до 0,25 %), Zn (до 0,15 %), Sr (до 0,07 %), Ba (до 0,01 %), Ti (до 0,6 %) и Mn (до 0,15 %). В пределах Вехне-Боконтинского рудного поля известно еще несколько аналогичных «Анненскому» рудопроявлений золота, при изучении и опоисковании которых здесь можно ожидать обнаружение жильно-прожилкового золотого оруденения со свободным золотом и богатыми содержаниями в рудных столбах.

Ключевые слова: Анненское рудопроявление, Верхне-Боконтинское рудное поле, жильно-прожилковое золотое оруденение, золото, серебро.

Рудопроявление «Анненское» находится в бассейне одноименного ручья, левого притока р. Баганджи (бассейн р. Верхняя Стойба) Селемджинского района Амурской области. По геолого-структурному положению рудопроявление находится в Галамо-Шантарской мегазоне Монголо-Охотской складчато-надвиговой системы. В металлогеническом отношении рудопроявление «Анненское» расположено в Вехне-Боконтинском рудном поле Верхне-Стойбинского рудного узла Верхне-Селемджинской минерагенической зоны Джагдинской золотоносной провинции. В пределах Верхне-Боконтинского рудного поля расположено еще несколько аналогичных Анненскому рудопроявлений – Казанское, Утёсное, Оленьино, Мартыжакская группа проявлений и др., которые также могут рассматриваться как перспективные на обнаружение в их пределах месторождений с крупнообъемным оруденением золота.

История открытия и исследований. Рудопроявление «Анненское» открыто в 1948 г. в истоках одноименного ручья Угаханской партией под руководством Ю. О. Фефелова. Поисковые и поисково-оценочные работы проводились в 1957–1958 гг. Верхне-Мынской партией Карауракской экспедиции и в 1965–1966 гг. Верхне-Мынской партией ГСЭ ДВТГУ.

Структура рудного поля. Вмещающие породы. Гидротермальные изменения. Анненское рудопроявление расположено среди разнозернистых песчаников, темно-серых глинистых сланцев, мелкогалечниковых конгломератов, а также филлитизированных глинистых сланцев, мелкозернистых кварц-полевошпатовых песчаников, известковистых мелкозернистых кварц-

полевошпатовых песчаников, филлитизированных глинистых сланцев боконтинской толщи (P_2?bk) Токурской подзоны Селемджино-Кербинской зоны Амуро-Охотского звена Монголо-Охотской системы. Чередование в разрезе исключительно осадочных пород без присутствия магматических косвенно свидетельствует о накоплении пород в условиях с низкой магматической активностью.

Наиболее многочисленными в районе являются разломы северо-восточного направления. Отдельные наиболее крупные разломы хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках и фиксируются на местности дроблеными, развальцованными или листоватыми породами, зачастую обохренными с многочисленными желваками и жилами кварца. Наряду с ними встречаются пологопадающие разломы, с наклоном плоскостей сместителя в ту же сторону под углом 60–70°. Разломы сопровождаются интенсивным брекчированием, смятием и рассланцеванием пород. Иногда наблюдаются милониты, переходящие в окварцованные и карбонатизированные породы с желвакообразными гнездами светло-серого сливного кварца. Ширина зон измененных пород в плане вдоль разломов изменяется от 20–50 до 200–300 м.

Сопутствующие интрузии. Интрузивный комплекс в пределах рудопроявления «Анненское» представлен небольшими дайками андезитовых порфиритов. Дайковый комплекс пользуется широким распространением в пределах площади. Простирание даек северо-восточное, очень редко широтное и северо-западное. Углы падения плоскости крутые и колеблются в пределах 60–85°. Мощности их варьируют от 2–3 см до 15–20 м, протяженность от 20 до 400 м. Дайки имеют абсолютный возраст (определенный по валовому калию) 78 и 104 млн лет. Это позволяет рассматривать описанные породы как позднемеловые.

Описание рудных зон и тел. В пределах рудопроявления «Анненское» известны 10 кварцевых жил и около 20 кварцевых прожилков. 7 жил имеют северо-восточное (50–80˚) простирание, из которых 3 падают на юго-восток под углом 75–80˚ и 4 жилы на северо-запад под углом 40–60˚ и 3 жилы имеют северо-западное (290–325˚) простирание с падением на северо-восток под углом 60–80˚. Мощность жил 0,05–0,25 м, реже 0,6 м. По простиранию прослеживались только 4 жилы на протяжении 20–40 м. На глубину 5–12 м прослежены 7 жил. Жилы сложены в основном кварцем с обильной вкрапленностью пирита и арсенопирита. Золоторудные жилы приурочены к зонам разломов северо-западного и северо-восточного направлений и размещаются на СВ крыльях антиклинальных складок. Все вскрытые жилы залегают согласно с вмещающими породами и имеют сложное строение. По составу все жилы одинаковы и представлены молочно-белым или стекловато-белым кварцем средне- или крупнокристаллического сложения с пустотами выщелачивания, заполненными темно-бурой охрой. Кроме этого на рудопроявлении закартированы зоны окварцевания, дробления, милонитизации, кварцитов, кремнистых роговиков, эруптивных и тектонических брекчий, различных минерализованных даек протяженностью от 1 до 100 м, мощностью до 20 м. Контакты с вмещающими породами извилистые, четкие, резкие.

Содержание в рудах благородных металлов и прочих элементов. Химическим анализом по 10 кварцевым жилам содержание золота в бороздовых пробах варьирует от «следов» до 2,5–6,1 г/т. По жиле № 3 содержание золота до 34 г/т, по жиле № 1 – от «следов» до 14,4 г/т. В штуфных пробах по жиле № 1 установлено содержание золота от 8,0 до 214,8 г/т. Кроме того, в кварцевых жилах отмечаются повышенные содержания (в %): As – 0,05–0,25, Zn – 0,002–0,15, Sr – 0,07–0,04, Pb – 0,01–0,3, Ba – 0,002–0,01, Ti – 0,1–0,6, Mn – 0,07–0,15 и Ag – 0,1–10 г/т. Опробование зон окварцевания, дробления, милонитизации, кварцитов, кремнистых роговиков, эруптивных и тектонических брекчий, различных даек показало их слабую (до 1,3 г/т) золотоносность. Спектрозолотометрическим опробованием элювиально-делювиальных отложений на участке установлен один ореол рассеяния золота площадью 0,4 км^2, оконтурен по 55 пробам с золотом, из которых с содержанием 0,01–0,04 г/т (22 пробы), 0,05–0,09 г/т (15 проб), 0,1–0,4 г/т (11 проб) и 0,5–3,0 г/т (7 проб). Ореол приурочен к полю развития маломощных кварцевых жил с содержанием золота от 0,65 до 8,6 г/т (15 проб).

Рудные и нерудные минералы. Рудные минералы редки, их общее содержание в рудах не превышает 2–3 %. При минераграфическом изучении аншлифов было установлено, что в рудах преобладают пирит и арсенопирит, менее распространены галенит, сфалерит, халькопирит и

железная слюдка; к числу редких можно отнести самородные золото и серебро. Из минералов зон окисления преобладают гидроксиды Fe, лимонит.

Нерудные минералы представлены кварцем, карбонатом, хлоритом и серицитом. В результате просмотра протолочек из рудных жил рудопроявления установлены 3 морфологических типа кварца (по количественному убыванию): 1) сливной молочно-белый с редкими гранями, 2) прозрачный, зачастую в виде мелких друзовидных кристалликов, 3) плотный мелкозернистый, изредка сахаровидный, белый, изредка светло-желтый. Между этими разновидностями отмечаются постепенные переходы и прорастания. Это говорит о том, что молочно-белый цвет кварца и его мутный вид – следствие неравномерного скопления ГЖВ.

Характеристика самородного золота. Из протолочек отвалов канав рудопроявления золото (1–10 знаков на пробу), как правило, мелкое (до 0,3 мм), слабоокатанное, серебристо-желтого, желтого или красновато-желтого цветов, неправильной, комковатой, ноздреватой или дендритовидной формы. Кроме золота в шлихах отмечены единичные зерна киновари и шеелита. По результатам минераграфического анализа установлено, что золото формировалось в две стадии – вначале оно отлагалось в свободном виде и в сростках с арсенопиритом, а затем уже кристаллизовалось в пирите. Почти все золотинки несут на себе следы гидроксидов железа, что указывает на нахождение их в зоне окисления, хотя в целом цвет металла ярко-желтый.

Помимо рудопроявления «Анненское», в пределах Вехне-Боконтинского рудного поля, в области развития палеозойских образований, известно еще несколько имеющих с ним геолого-геохимическое сходство рудопроявлений («Казанское» – Au до 153 г/т, «Утёсное» – Au до 10,2 г/т, «Оленьино» – Au до 1 г/т, Мартыжакская группа пунктов минерализации – Au до 6,42 г/т), что, вероятно, свидетельствует о перспективности данного рудного поля в целом на благороднометалльное оруденение.

Заключение. Таким образом, по своим основным геологическим характеристикам, наличию черт сходства золоторудное проявление «Анненское» аналогично золоторудным месторождениям «Маломыр» и «Токур», из руд которых извлечены соответственно 53 и 39 тонн золота.

Следовательно, в пределах Верхне-Боконтинского рудного поля, в пределах которого находится исследуемое «Анненское» рудопроявление и большая группа аналогичных рудопроявлений («Казанская жила», «Утёсное», «Оленьино», «Мартыжак») и пунктов минерализации (Мартыжакская группа) золота, можно ожидать обнаружение жильно-прожилкового золотого оруденения со свободным золотом и богатыми содержаниями в рудных столбах.

Мельников А. В. (Melnikov_Anton1972@mail.ru)
ФГБУН ИГиП ДВО РАН, г. Благовещенск

ПЛАТИНОНОСНОСТЬ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ КАЛАРСКОГО И ЛУЧАНСКОГО БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ МАССИВОВ СТАНОВОЙ НИКЕЛЕНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ (ВЕРХНЕЕ ПРИАМУРЬЕ, РОССИЯ)

Приведены сведения о платиноносности и золотоносности титаномагнетитовых, никелевых и медно-никелевых месторождений и рудопроявлений Становой никеленосной провинции Верхнего Приамурья. С учетом новых данных по геологии, геохимии, вещественному составу руд приведено описание и сравнительный анализ месторождений и рудопроявлений платиносодержащих никелевых и медно-никелевых руд. Охарактеризованы предпосылки формирования, критерии прогноза и поисков крупных месторождений золото- и платиносодержащих никелевых и медно-никелевых руд в Верхнем Приамурье: геотектоническая и структурная позиция, глубинное строение, формационные особенности, магматизм эпохи оруденения, гидротермальные изменения пород, минеральные и геохимические ассоциации, типоморфизм сульфидных и платиновых минералов. Подчеркивается значительный потенциал титаномагнетитовых, никелевых и медно-никелевых руд Верхнего Приамурья на комплекс полезных ископаемых – золото, платиноиды, никель, медь, серу, кобальт.

Ключевые слова: платиноносность, золотоносность, прогнозные ресурсы платиноидов, базит-ультрабазитовые массивы, сульфиды.

Введение. Большинство рудных объектов цветных металлов Приамурья представлено в основном никелевым и медно-никелевым типом оруденения. Они расположены в пределах Становой никеленосной провинции, протягивающейся вдоль юго-восточной окраины Северо-Азиатского кратона на 1100–1300 км, при средней ширине 200–270 км. К ним относятся такие рудные объекты, как месторождения и рудопроявления Кун-Маньенского, Каларского, Лучанского, Ильдеусского, Моготской группы массивов, которые могут составлять значительную часть сырьевой базы цветных и благородных металлов Верхнего Приамурья. В последние десятилетия в отечественной и зарубежной литературе появились публикации о содержаниях золота и платиноидов в титаномагнетитовых, никелевых, медных, медно-никелевых месторождениях и рудопроявлениях, что свидетельствует о повышении интереса к этой проблеме и совершенствовании аналитических методов определения золота и платиноидов.

В 2022–2023 гг. автором были проведены исследовательские и ревизионные работы на рудных объектах ***Каларского*** и ***Лучанского*** базит-ультрабазитовых массивов в целях уточнения их структуры, геологического строения, геохимии, минералогии и содержаний золота и платиноидов в рудах и метасоматитах.

Каларский габбро-анортозитовый массив. В 2020–2022 гг. автором были приведены исследовательские и ревизионные работы на проявлениях медно-никелевых руд Арбагас, Баюкит, Людмилинское, Сайболах и Илин-Сала, по результатам которых была опубликована статья. В 2022–2023 гг. проводились работы на месторождениях титаномагнетитовых руд Большой Сэйим, Куранахское, а также проявлениях медно-никелевых руд Хотугу-Чабиникит, Имангра и Тас-Юрях.

Месторождение ***Большой Сэйим*** приурочено к краевой меланократовой (пироксениты, меланогаббро) части Куранахской ветви Каларского массива олекминского габбро-анортозитового комплекса позднеархейского возраста. Здесь среди габбро-диоритов и габбро установлены магнетит-ильменитовые руды. Содержание в рудах Pt – 0,5–1,0 г/т, Au – 0,1–0,3 г/т, Ag – 0,5–2 г/т, Ti – до 0,7 %, Ni – до 0,3 %, Co – до 0,1 %, Cr – до 0,7 %. Оценены прогнозные ресурсы платиноидов по категории P_3 в количестве 40 т.

Куранахское титаномагнетитовое месторождение расположено в бассейне р. Куранах, в центральной части Каларского массива. Здесь среди габбро-диоритов и габбро установлена зона с титаномагнетитовой минерализацией протяженностью до 1000 м и мощностью до 20 м. Рудная минерализация (магнетит, титаномагнетит, ильменит, пирит, галенит, халькопирит, самородная медь) пространственно тяготеет к блокам анортозитов и их обрамлению, представленному габбро и пироксенитами. Содержание в рудах Pt – 0,1–0,5 г/т, Au – до 0,45 г/т, Ti – до 0,4 %, Ni – до 0,1 %, Cu – до 0,1 %, Co – до 0,015 %, Zn – до 0,05 %. Оценены прогнозные ресурсы платиноидов по категории P_3 в количестве 30 т.

На проявлении медно-никелевых руд ***Хотугу-Чабиникит*** преимущественное распространение имеют гранитоиды, гнейсовидные гранитоиды раннего протерозоя. Среди них отмечаются тела габбро, габбро-диабазов, серпентинизированных перидотитов. В основных породах установлена сульфидная минерализация, представленная пиритом. Возможные типы оруденения: медно-никелевый или хромитовый в серпентинитах. Содержание в рудах Pt – до 1,3 г/т, Pd – до 0,4 г/т, Au – до 3,4 г/т, Ni – 0,05–0,1 %, Co – 0,002–0,05 %, Cu – 0,05–0,3 %, Cr – 0,05–1 %. Оценены прогнозные ресурсы платиноидов по категории P_3 в количестве 15 т.

Рудопроявление ***Имангра*** расположено в долине р. Имангра, ниже устья р. Большой Сэйим. Оно сложено ультраосновными породами, среди которых установлены минерализованные зоны мощностью 10–20 м, протяженностью до 100 м. Рудные минералы представлены пиритом. Содержание Ni – до 0,1 %, Co – до 0,05 %, Cr – до 0,4 %, Ti – до 1,0 %, Pt – 0,02–0,1 г/т, Au – 0,09–0,37 г/т, Ag – 0,22–2,7 г/т. Оценены прогнозные ресурсы платиноидов по категории P_3 в количестве 20 т.

Рудопроявление ***Тас-Юрях*** сложено габбро-анортозитами олекмо-каларского комплекса, гнейсами и слюдяными сланцами позднеархейского–раннепротерозойского возраста. В пи-

роксенитах, анортозитах и габбро-анортозитах установлены метасоматиты мусковит (серицит)-графит-полевошпатового состава с рудными минералами (пирит, пирротин, марказит, мельниковит, халькопирит, сфалерит, молибденит). Содержание сульфидов 2–3 %. Содержание в рудах Pt – 0,2–1,65 г/т, Au – 0,11–0,44 г/т, Ag – 0,55–5,2 г/т, Ni – 0,002–0,15 %, Cu – 0,1–0,3 %, Co – 0,003–0,03 %, Cr – 0,05–0,7 %, Ti – 0,05–2,5 %. Оценены прогнозные ресурсы платиноидов по категории P_3 в количестве 10–15 т.

Лучанский базит-ультрабазитовый массив сложен троктолитами и оливиновыми габбро с пластообразными обособлениями меланократовых троктолитов и плагиоклазовых дунитов. В плане интрузив представляет собой слабо вытянутый овал, размером 21 × 12 км. Жильная серия представлена габбро-диабазами, пегматоидными габбро, пироксенитами и перидотитами.

В 2020–2022 гг. автором были проведены исследовательские и ревизионные работы на проявлениях медно-никелевых руд Зейское и Лучинское, по результатам которых была опубликована статья. В 2022–2023 гг. работы продолжились на проявлениях медно-никелевых руд Топоныкит, Дайковое и Дунитовое.

Проявление ***Топоныкит*** находится на правом берегу р. Брянта, в 2 км ниже устья руч. Топоныкит, в южной части Лучанского массива. Минерализованная зона протяженностью 200 м и мощностью 120–150 м обнажается в цоколе надпойменной террасы. Зона сложена серией жил пироксенитов и перидотитов мощностью 10–20 м с равномерной вкрапленностью сульфидов до 20 %. Встречаются линзы массивной руды, сложенной пентландитом, пиритом, халькопиритом, марказитом, арсенопиритом. Содержание в руде Pd – 0,027–0,4 г/т, Pt – 0,07–0,1 г/т, Au – 0,1–0,3 г/т, Ag – 0,3–2,2 г/т, Cu – 0,015–0,45 %, Ni – 0,062–0,276 %, Co – 0,017–0,37 %, Cr – 0,02–0,08 %. По мнению автора, на проявлении вскрыты лишь верхние части рудных тел, что значительно повышает его перспективы на обнаружение медно-никелевого с платиноидами оруденения на глубину. Оценены прогнозные ресурсы платиноидов по категории P_3 в количестве 20 т, никеля – 400 тыс. т, меди – 300 тыс. т.

Дайковое проявление расположено в междуречье Брянта и Ильдеус и приурочено к юго-западному склону горы Ильдеус. В его строении принимают участие верлиты, роговообманковые перидотиты и их плагиоклазовые разности. Широко развиты маломощные (десятки метров) дайки плагиоперидотитов, пироксенитов и габбро-норитов. Сульфиды представлены пирротином, пентландитом, халькопиритом и пиритом. Содержание сульфидов составляет не более 1 %. Содержание Pd в аповерлитовых серпентинитах достигает 0,12–2,16 г/т, Pt – 0,05–0,2 г/т. На площади участка выявлены слабоконтрастные литогеохимические аномалии Ni – 0,1–0,4 %, Cr – 0,1–0,4 %, Co – 0,01–0,09 %, совпадающие с полями выхода на дневную поверхность ультраосновных пород. Автором оценены прогнозные ресурсы платиноидов по категории P_3 в количестве 25 т.

Рудопроявление ***Дунитовое*** расположено на правобережье р. Брянты. Вмещающие породы представлены троктолитами и оливиновыми габбро. Породы окварцованы и сульфидизированы. Канавами вскрыта зона с вкрапленной сульфидной минерализацией. Содержание Ni – 0,1–0,3 %, Au – 0,1–1,0 г/т, Pd – 0,2–2,55 г/т, Pt – 0,15–0,4 г/т. Рудные минералы представлены пиритом, пентландитом, халькопиритом и арсенопиритом. Оценены прогнозные ресурсы платиноидов по категории P_3 в количестве 10–15 т.

Заключение. Проведенное геохимическое опробование различных типов руд на платиноиды подтвердило повышенную платиноносность титаномагнетитовых, никелевых и медно-никелевых рудных объектов и выявило в их пределах участки с локальной платиноносностью и золотоносностью.

Необходимо продолжить систематические исследования и провести дополнительное опробование на платиноиды, в первую очередь, продуктов промышленной переработки никелевых, медно-никелевых, титаномагнетитовых руд разрабатывающихся известных месторождений Верхнего Приамурья (Кун-Манье, Куранахское, Большой Сэйим).

Попутная добыча платиноидов из вышеперечисленных месторождений Верхнего Приамурья вполне реальна и возможна уже на современном этапе развития технологий переработки руд (центробежные концентраторы, концентраторы сегрегационного и сегрегационно-диффузионного принципов действия), но отдельные вопросы этой проблемы требуют дальнейшего детального изучения.

Милаушкин М. В. (MilaushkinMV@alrosa.ru), Мальковец В. Г. (MalkovetsVG@alrosa.ru), Гибшер А. А. (GibsherAA@alrosa.ru), Яковлев И. В. (YakovlevIgV@alrosa.ru)
АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Новосибирск

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ГРАНАТОВ ИЗ ТРУБОК АЙХАЛ И ЮБИЛЕЙНАЯ (АЛАКИТ-МАРХИНСКОЕ КИМБЕРЛИТОВОЕ ПОЛЕ, СИБИРСКИЙ КРАТОН)

В данной работе на основе изучения химического состава клинопироксенов, гранатов и хромитов из концентрата тяжелой фракции исследован геотермальный режим, состав и мощность литосферы и «алмазного окна» в пределах кимберлитовых трубок Айхал и Юбилейная. Гранаты трубки Айхал представлены высокохромистыми гарцбургитами и лерцолитами, с высокой долей гранатов G10D, которые формировались в ассоциации с алмазом. Микроэлементный состав гранатов указывает на преобладающий S-type распределения РЗЭ, обусловленный воздействием на изначально истощенную перидотитовую мантию карбонатитового расплава/флюида. В меньшей степени был наложен низкотемпературный флогопитовый и высокотемпературный расплавный метасоматоз. В трубке Айхал практически полностью отсутствуют гранаты из «катаклазированных» перидотитов. Напротив, для Юбилейной характерно преобладание лерцолитовой ассоциации с превалирующим N-type распределения РЗЭ, наличием гранатов из «катаклазированных» перидотитов. В большей степени здесь был проявлен расплавный метасоматоз. Более высокая алмазоносность трубки Айхал по сравнению с трубкой Юбилейная, с нашей точки зрения, связана с отсутствием метасоматического воздействия расплавного метасоматоза на литосферную колонну под трубкой Айхал, который, напротив, интенсивно проявлен под трубкой Юбилейная, о чем свидетельствует высокая пропорция гранатов из катаклазированных перидотитов.

Ключевые слова: трубка, литосфера, алмазное окно, гранат, хромдиопсид, метасоматоз.

Химический состав клинопироксенов, хромитов и гранатов изучен методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Определение содержания редких элементов в гранатах выполнено методом масс-спектрометрии в НГУ (г. Новосибирск). Параметры *P-T* равновесия минералов рассчитаны с помощью различных термобарометров [3, 5]. Использованы фильтры, предложенные в работе [6] для выбора подходящих составов клинопироксенов для *P-T* оценок. Мантийная палеогеотерма реконструирована в FITPLOT [2]. Нижняя граница деплетированной литосферы – «Y-край» – определена на основе рассчитанных температур равновесия гранатов и содержания в них Y. Построение разрезов мантийных колонн выполнено по [4].

Мантийная палеогеотерма соответствует тепловому потоку 34,8 мВт/м^2, а мощность литосферы ~ 230 км. «Потенциальная мощность алмазного окна» для трубки Юбилейная составляет 108 км (от 122 до 230 км). «Реальная мощность алмазного окна», определенная по «Y-краю», спроецированному на полученную геотерму, составляет 53 км.

Трубка Айхал. *Количество изученных зерен граната n = 508, хромита n = 555.* Больше половины гранатов представлено гарцбургит-дунитовой ассоциацией – низко-Ca гарцбургиты (91 зерно; 18 %) и Ca гарцбургиты (202 зерна; 40 %). Остальные относятся к лерцолитовой (189 зерен; 37 %) и верлитовой ассоциациям (26 зерен; 5 %). Большая часть гранатов (87 %) является высокохромистой, с содержанием Cr_2O_3 > 5 мас.%. В области алмазной ассоциации находятся 155 гранатов (~ 30 %). Около 28 % гранатов относятся к G10, ~ 23 % к G10D. Микроэлементный состав гранатов указывает на преобладающий *S*-type распределения РЗЭ в гарцбургит-дунитах (77 %) и лерцолитах (57 %). Среднее содержание Y в гранатах составляет 6,7 ppm, в гранатах с Cr_2O_3 > 5 мас.% среднее содержание Y составляет 5,9 ppm. При проецировании на модельную геотерму, построенную по *P-T* параметрам клинопироксенов, ксенокристы граната демонстрируют распределение с отчетливой модой от 900 до 1100 °C, что соответствует глубинам ~ 150–170 км. Температура «Y-края», спроецированная на геотерму, дает значение ~ 170 км, мощность алмазного окна ~ 48 км, а интервал ~ 170–230 км (60 км) – «область распространения силикатного метасоматоза» (рис. 1, a, c). Химический томографичес-

кий разрез, построенный с использованием геотермы и перегиба («Y-края») при ~ 170 км демонстрирует преимущественное распространение гарцбургитов (33,9 %), в меньшей степени истощенных лерцолитов (16,3 %), метасоматизированных (28,3 %), фертильных лерцолитов (10 %) и расплав-метасоматизированных лерцолитов (11,4 %) (рис. 2, a).

Температуры равновесия хромитов (*T*Zn) варьируют от 608 до 1037 °C (см. рис. 1, c). Установлено бимодальное распределение температур хромитов с модами на 700 и 950 °C. Вторая мода совпадает с пиком распределения гранатов. Среднее содержание TiO_2 в хромитах 0,4 мас.% (медиана 0,2 мас.%). Согласно [1], из 555 изученных хромитов 127 зерен (23 %) попадают в поле алмазной ассоциации.

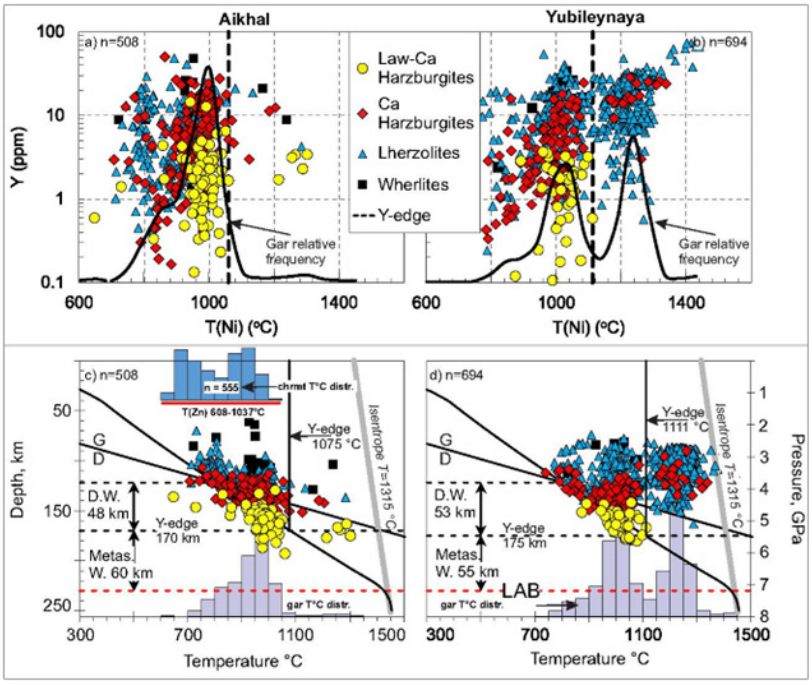


Рис. 1. Содержание Y, температуры равновесия и «Y-край» в гранатах из трубок Айхал (a) и Юбилейная (b), кривые – распределение гранатов по температуре. Геотерма трубки Юбилейная (34,8 мВт/м^2) с нанесенными *P-T* гранатов из Айхал (c) и Юбилейная (d). Гистограммы – температуры распределения гранатов и хромитов. D.W. – мощность области алмазного окна, Metas. W – мощность области распространения силикатного метасоматоза

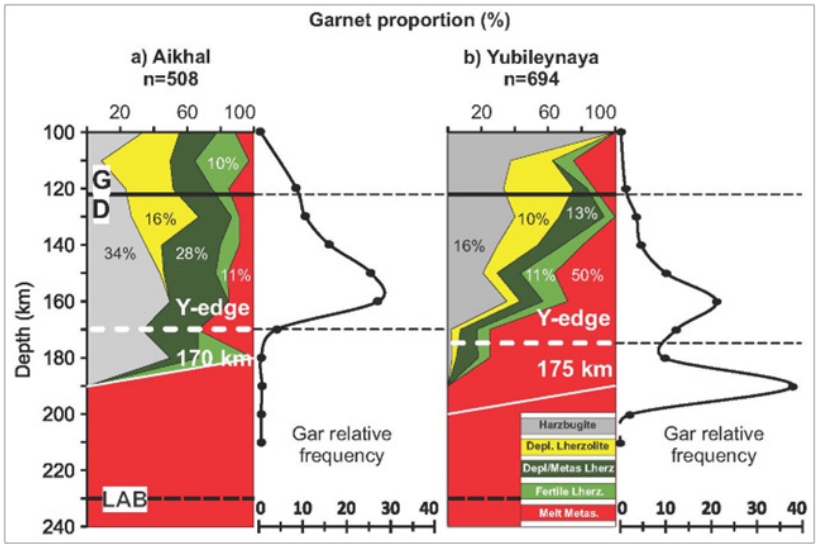


Рис. 2. Химический томографический разрез для трубок Айхал (a) и Юбилейная (b).

Трубка Юбилейная. *Количество изученных зерен n = 694.* Преобладает лерцолитовая ассоциация гранатов (494 зерна; 71,2 %). Остальные относятся к гарцбургит-дунитам – Ca гарцбургиты (150 зерен; 21,6 %), низко-Ca гарцбургиты (39 зерен; 5,6 %) и верлитам (11 зерен; 1,6 %). К высокохромистым, с содержанием Cr_2O_3 > 5 мас.%, относится 285 (41 %) гранатов. В области алмазной ассоциации находятся 82 граната (~ 12 %). Около 16 % гранатов относятся к G10, ~ 10 % к G10D. Микроэлементный состав гранатов указывает на преобладающий *S*-type распределения REE в гарцбургит-дунитах (77 %), в то время как в лерцолитах (25 % *S*-type) и (75 % N-type). Среднее содержание Y в гранатах составляет 13 ppm, в гранатах с Cr_2O_3 > 5 мас.%, 5,7 ppm. При проецировании на модельную клинопироксеновую геотерму ксенокристы граната демонстрируют бимодальное распределение с двумя пиками на 1050 и 1250 °C. В диапазоне 750–1150 °C распределены 53 % гранатов, тогда как остальные 47 % находятся в диапазоне температур 1150–1450 °C. Температура «Y-edge», спроецированная на геотерму, дает значение ~ 175 км, мощность алмазного окна ~ 53 км, а интервал ~ 175–230 км (55 км) – «область распространения силикатного метасоматоза» (см. рис. 1, b, d). Химический томографический разрез, построенный с использованием геотермы и перегиба («Y-края»), при ~ 170 км демонстрирует преимущественное распространение расплав-метасоматизированных лерцолитов (50 %), в меньшей степени истощенных гарцбургитов (16 %), истощенных лерцолитов (10 %), истощенных метасоматизированных (13 %) и фертильных лерцолитов (11 %) (см. рис. 2, б).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск : Наука, 1974. – 264 с.
2. Mather K. A. [et al.] Constraints on the depth and thermal history of cratonic lithosphere from peridotite xenoliths, xenocrysts and seismology // Lithos. – 2011. – V. 125, № 1–2. – P. 729–742.
3. Nimis P., Taylor W. R. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2000. – V. 139. – P. 541–554.
4. O'Reilly S. Y., Griffin W. L. Imaging global chemical and thermal heterogeneity in the subcontinental lithospheric mantle with garnets and xenoliths: Geophysical implications // Tectonophysics. – 2006. – V. 416, № 1–4. – P. 289–309.
5. 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: Solid Earth. – 1996. – V. 101, № B3. – P. 5611–5625.
6. Ziberna L. [et al.] Error sources in single-clinopyroxene thermobarometry and a mantle geotherm for the Novinka kimberlite, Yakutia // American Mineralogist. – 2016. – V. 101, № 10. – P. 2222–2232.

Мирходжаев Б. И., Жураев Ш. И., Оловов Х. Х., Элибаев Б. А., Авулов Ж. М., Рузиев А. Я., Муминов Т. Х. (info@navoiyuran.uz)

ГП «Навоиуран», г. Навои, Республика Узбекистан

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ НА ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ)

Рудные месторождения в углеродисто-кремнистых толщах, известные в литературе как «черносланцевый тип», локализуются в наиболее древних геологических образованиях Центральных Кызылкумов. Исследования руд позволили установить целый ряд промышленно-ценных элементов и генетических типов оруденения.

Ключевые слова: черносланцевые отложения, черные сланцы, углеродисто-кремнистая формация, тасказганская свита, Центральные Кызылкумы.

«Черные», или «углеродсодержащие» сланцы представляют собой сложный по вещественному составу комплекс горных пород (пластов, слоев, толщ), в строении которого выделены 4 составляющие части: алюмосиликатная, кремнистая, органогенная и рудная, что предопределяет 3 основных литологических типа: 1) углеродисто-глинисто-кремнистый; 2) углеродисто-кремнистый; 3) углеродисто-карбонатно-глинистый.

Стратиграфическое положение «черных сланцев» – одна сложных и однозначно не решенных проблем в геологии. Принята позиция о том, что эти образования занимают нижний стратиграфический уровень – от верхнего докембрия (R_{2-3}) до нижнего палеозоя (O_{1-2}) – и представляют углеродисто-кремнистую рудную формацию [4].

Формация включает геологические отложения следующих свит, содержащих основные ресурсы эндогенных урановых залежей: тасказганской, кокпатасской, ходжаахметской, катармайской. Но кроме этого углеродсодержащие кремнистые толщи частично входят в состав относительно более древних свит – джургантауской, маджерумской, карабулакской, кумбулакской, учкудуктаской, майлисуйской, а также и более молодых стратиграфических подразделений – аналогов бесапанской («серой»): коксайская, калтадаванская, кургантауская, тайманская, каратерекская; хотя мощности «чернослацевых» слоев в этих отложениях заметно уступают основным свитам. Суммарная мощность углеродистых толщ колеблется от 400 до 800 м. Например, мощность углеродистых сланцев тасказганской свиты оставляет около 600–800 м, кокпатасской – 350–450 м, катармайской – 150–200 м.

Рудоносность углеродисто-кремнистой формации, детально изученная в пределах двух рудных полей (Коспактауское, далее по тексту КРП, и Алтынтауское, АРП) оценивается высоко, при этом органическое вещество является одним из основных концентраторов таких полезных металлов, как V, Cu, Au, Mo, Re, Pb, Zn, U [1, 3, 6]. Содержание урана в среднем составляет 0,01–0,03 %, но в отдельных случаях значительно меняется. Например, на КРП на глубину содержания урана распределяются крайне неравномерно: до глубины 50–250 м (до зеркала трещинных вод) развито слюдковое оруденение с содержанием до 0,03 %, а глубже – черниевое и настуран-сульфидное с содержаниями от 0,2 до 0,56 %. В углеродисто-кремнистых сланцах тасказганской свиты содержания урана достигают $12{,}9 \cdot 10^{-4}$ %, в среднем составляя $9{,}2 \cdot 10^{-4}$ %.

Результатами исследований было установлено, что уран-ванадиевые руды КРП и АРП по минеральному составу весьма сложные и многообразные – диагностированы порядка 80 минералов. Данные минералы представлены в широком диапазоне химических соединений: **самородные** (золото, серебро, платина), **сульфиды** (пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, ковеллин, халькозин и др.), **сульфосоли** (тетраэдрит, штромейерит, полибазит, ялпаит, фрейбергит, аргентотетраэдрит, джемсонит, иорданит), **теллуриды** (теллуровисмутит, монтбрейит), **интерметаллиды** (фрудит), а также оксиды, гидрооксиды, карбонаты, сульфаты, фосфаты, ванадаты и уранаты.

Изучая процесс рудообразования в зонах эпи- и гипогенеза, дается характеристика каждой из выделяемых зон, а в пределах последних – указывается на особенности их минерального состава с акцентированием внимания на индекс-минералах [2]. Важно то, что на каждом из месторождений чернослацевых руд вертикальная последовательность смены минерального состава руд приблизительно схожая, что придает разработанной схеме зональности статус прогнозной оценки (табл. 1).

Исследованиями установлены более высокие содержания редкоземельных элементов в рудах АРП, которое было подвергнуто более интенсивным процессам гипергенеза, чем в рудовмещающих породах КРП. В частности, если первое поле характеризуется повышенными содержаниями ванадия, урана, рения, золота и серебра, то в отличие от этого на втором поле такие содержания характерны для меди, платиноидов и редких элементов.

Впервые в Узбекистане и в мировой практике изучения пород чернослацевой формации выделены высококомплексные совмещенные во времени и пространстве четыре генетических типа руд на КРП и АРП: *уран-ванадиевый* (как основной рудовмещающий тип), *медно-молибденовый, золото-серебряный и редкоземельный* (как сопутствующие).

Для каждого типа руд выделены ряды наиболее типичных минералов, которые можно назвать индекс-минералами характерных генетических типов/подтипов (табл. 2).

Табл. 1.

	Зоны гипергенеза	Горизонт гипергенного профиля	Главные минералы месторождений
I	Зона окисленных руд	Верхний	Самородное золото, гетит, манганит, псиломелан, опал, аллофан, ванадинит, хеггит, малахит, корвусит, уванит, туямунит, карнотит, россит, гуммит, молибдит, брошантит, вульфенит, вивианит, рабдофан, гидротунгстит, чертит, скородит, вейншенкит
		Нижний	Самородное золото, мелантерит, ярозит, гипс, калиевые квасцы, гетит, брошантит, ильземанит, сульфат-монацит
II	Зона вторичного сульфидного обогащения		Самородное золото, халькозин, ковеллин, делафоссит, куприт, уэтнеит, тенарит, леллингит, молибдит, тунгстенит
III	Зона гипогенная. Первичные черносланцевые руды		Сульванит, кызылкумит, роскоэлит, парамонтрозеит, карелианит, уранинит, витерит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды, молибденит, кварц, барит, кальцит, доломит

Табл. 2.

	Генетический тип	Наиболее характерные индекс-минералы
1.	U-V	Роскоэлит, деклуазит, карнотит, сульванит, фолбортит, россит, уванит, уранинит, хеггит, уэкфильдит, коффинит, монтрозеит
2.	Cu-Mo	Халькопирит, молибденит , халькозин, тенарит, делафоссит, куприт, азурит, молибдит, ильземанит
3.	Au-Ag	Самородное золото, самородное серебро, монтбрейит, арсенопирит, аргенто-тетроэдрит, фрейберит, полибазит, ялпаит
4.	TR	Ксенотим, монацит, сульфат-монацит, рабдофанит, чертит, эрикит, вейншенкит, ретцианит, апатит, уэкфильдит

Впервые установлено, что в главном уран-ванадиевом генетическом типе региона присутствуют и другие сопутствующие типы оруденения. Это позволило отнести уран-ванадиевый тип оруденения к высококомплексным рудам, практически с полным набором минеральных и геохимических характеристик и чрезвычайно перспективных не только на радиоактивные элементы, но и на комплекс редких, редкоземельных, благородных и медных руд [5].

Подчеркивается важная роль процессов гипергенеза в «высвобождении» рудных элементов, которые проявились на АРП намного интенсивнее, чем на других аналогичных по генезису рудных объектах. Это предопределило специфику Алтынтауского рудного поля прежде всего на редкоземельные элементы, не исключая его перспективность и на другие полезные компоненты, определяющие его комплексность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Готтих Р. П., Писоцкий Б. И., Журавлев Д. И. Роль эндогенных флюидов в формировании углеродсодержащих пород в геологическом разрезе нефтегазоносных провинций // ДАН. – 2007. – Т. 412, № 4. – С. 524–529.
2. Дойникова О. А. Дисперсные минералы урана восстановительной зоны гипергенеза: минералогия и кристаллография : Автореф. доктор. дисс. – М., 2005. – 48 с.
3. Перельман А. И., Самонов А. Е. Вопросы геохимии урановосных углеродистых станцев (на примере Ауминза-Бельтауского района Кызылкумов и некоторых других районов Средней Азии и Казахстана. – М. : Минералогия и геохимия, 1985. – 287 с.
4. Рудные месторождения Узбекистана / Под ред. И. М. Голованова. – Ташкент : ИМР, 2001. – 660 с.
5. Санакулов К. С., Туресебеков А. Х., Мирходжаев Б. И. [и др.] Совмещенные во времени и пространстве высококомплексных (U, W, Cr), (Cu, Mo), (Au, Ag), редкоземельных (Y, Ce) руд, нового типа полиминерально-редкометального сырья (Республика Узбекистан) : Мат-лы Международной научно-практической конференции. – Ташкент : 2022. – С. 231–235.
6. Юдович Я. Э. Геохимия черных сланцев. – Москва – Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 272 с.

Михалицына Т. И.[1] (mihalitsina@neisri.ru), Фомина М. И.[2] (mif-74@yandex.ru)
[1] ФГБУ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан; [2] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАХТНОЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

В работе приводятся результаты минералого-петрографического исследования руд и рудовмещающих пород месторождения Шахтное Урьинского рудного поля Чай-Юрьинского рудного узла. Выявлены характерные текстуры руд и установлены их минеральные типы. Предложена описательная эмпирическая модель золотоносности.

Ключевые слова: петрографический состав, минеральный состав, рудовмещающие породы, руда, кварцевые диорит-порфириты, самородное золото.

Золотое оруденение в дайках Центральной Колымы было установлено еще в 1928 г. геологами Первой Колымской экспедиции, возглавляемой Ю. А. Билибиным. Их металлоносность определяется процессами березитизации и формированием разноориентированных золото-кварцевых жил и прожилков, относящихся к колымской золото-кварцевой россыпеобразующей формации, связанной с зеленосланцевым метаморфизмом терригенных пород верхоянского комплекса [2–5]. Геологическое изучение территории Чай-Юрьинского рудного узла началось в 30-х годах прошлого века, первое золото было обнаружено в 1936 г. Однако вопрос о коренных источниках одной из крупнейших в мире россыпи золота в долине р. Чай-Юрья (добыто 300 т чистого металла) и по настоящее время является дискуссионным. За последнее десятилетие в результате поисковых и разведочных исследований ООО «БарГолд», ООО «ЗДК» в центральной части Чай-Юрьинского рудного узла было выявлено золоторудное месторождение Шахтное и ряд рудопроявлений, объединенных в Урьинское рудное поле (далее Урьинское РП). Авторами настоящей работы проведены петрографические и минералогические исследования вмещающих пород и золотосодержащих руд месторождения Шахтное. Для аналитических исследований использовался авторский материал двух полевых сезонов. Геологический материал отобран из поверхностных и подземных горных выработок месторождения. Изучение минерало-петрографического состава пород проведено с помощью микроскопа Axioplan Imagin ZEISS.

В геотектоническом плане объект исследований находится на стыке двух региональных структур Яно-Колымского орогенного пояса: Аян-Юряхского антиклинория, расположенного с юго-запада и Иньяли-Дебинского синклинория – с северо-востока. По металлогеническому районированию месторождение Шахтное входит в состав Урьинского рудного поля Чай-Юрьинского рудного узла и относится к Берелехскому рудному району Яно-Колымского металлогенического пояса [1].

Месторождение Шахтное расположено в пойме р. Чай-Урья, его структура развивается в северо-западном направлении, площадью около 3 км^2. В структурном плане приурочено к интенсивной зоне деформации, обрамляющей глубинный Чай-Юрьинский разлом. Вмещающие породы представлены верхнетриасовыми (T_3n_1) переслаивающимися углисто-глинистыми сланцами и алевролитами с редкими маломощными прослоями мелкозернистых песчаников. Простирание пород северо-западное, падение крутое. Осадочные породы прорваны субпараллельно расположенными рудовмещающими дайками кварцевых диорит-порфиритов нера-бохапчинского интрузивного комплекса, пересекающихся мощной тектонической зоной. Простирание даек согласно с простиранием вмещающих пород, падение вертикальное. Общая мощность свиты даек в центральной части – до 80, на флангах – 20–40 м, длина – до 2000 м, дайки прослежены на глубину до 200 м.

Состав рудовмещающих пород месторождения Шахтное. При исследовании прозрачных шлифов кварцевых диорит-порфиритов выявлена массивная, часто сланцеватая и брекчиевидная (редко) текстура; порфировидная, гипидиоморфнозернистая, участками в сочетании с гранобластовой, лепидогранобластовой структурой основной массы. Первичный минеральный состав рудовмещающих пород преобразован гидротермально-метасоматическими изменениями от слабо- (редко) до полнопроявленных березитов с включением кварцево-жильных образований и сульфидной минерализации (от 2–3 до 5–7 %). Как правило, порода преобразована в тон-

кобластический агрегат вторичных минералов (усредненный состав серицит (50 %) + карбонат (16 %) + альбит (15 %) + кварц (15%) ± гидрослюда + рудный) с включением мелких зерен кварца неправильной формы (~ 0,1–0,15 мм) среди сложных срастаний карбоната и серицита, интерстиции между которыми заполняет новообразованный волокнистый альбит с плавающим погасанием. Наиболее крупные выделения кварца являются реликтами первичных вкрапленников; также часто встречаются (поздние) единичные микротрещины, выполненные гидрослюдой.

Контактовые изменения вмещающих углисто-глинистых сланцев с дайкой проявлены в виде интенсивной пиритизации (от 1,5 до 10 %), приуроченной к плоскостям рассланцевания, перекристаллизации глинистого цемента в агрегат серицита и хлорита, с включением новообразованного кварца гранобластовой структуры.

В морфологическом плане рудные тела, представлены разноориентированными кварцевыми жилами и прожилками, линзами и прожилковыми зонами, зонами окварцевания в дайках (от 2,5 до 5,0 м), а также линейными минерализованными зонами дробления вдоль тектонических разрывов и зон смятия. Основной жильный минерал – кварц, кроме него присутствуют карбонат и полевой шпат (альбит).

Руда месторождения Шахтное малосульфидная (от ед. знаков до 8 %, в среднем 4 %). Всего в рудах выявлено 23 минеральных вида, из которых 8 рудные, главные – пирит и арсенопирит, реже пирротин, галенит, халькопирит, пирротин, галенит, марказит и самородное золото (таблица). Самородное золото заполняет микропустоты в арсенопирите, где оно ассоциирует с полисульфидами. Кроме того, золото образует микропрожилки в кварце, мощностью в первые миллиметры, образуя мелкие изометричные зерна или сростки кристаллов. Распределение рудного материала в дайках характеризуется крайней невыдержанностью; обогащенные благородной минерализацией участки выделяются опробованием. Месторождение относится к малосульфидной золотокварцевой формации.

Выводы. В результате минералого-петрографического изучения вмещающих пород и руд, представленных в различной степени березитизированными кварцевыми диорит-порфиритами, были выявлены некоторые особенности. Гидротермально-метасоматические преобразования рудовмещающих пород представлены: окварцеванием (1); серицитизацией – замещение полевошпатовых вкрапленников и кристаллокластов, развитие серицита по основной массе и цементу (в осадочных породах); в некоторых разностях отмечается укрупнение серицитовых пластинок до размера и оптических свойств мусковита (2); альбитизацией – неравномерное формирование альбита по плагиоклазу, развитие шахматного альбита по калиевому полевому шпату (3); хлоритизацией (4); карбонатизацией (кальцит, доломит), форма выделений карбоната – пелитоморфная, кристаллически-зернистая, прожилковая; развивается как по вкрапленникам, так и по основной массе (или цементу) (5). Рудная минерализация приурочена к полевошпат (альбит)-кварцевым жилам.

Таблица. Минеральный состав руд участка Шахтный

Группы минералов	Главные	Второстепенные	Редко встречающиеся
Жильно-метасоматические	Кварц Альбит	Карбонат Серицит Гидрослюда Хлорит Глинистые минералы	Актинолит Доломит Рутил Апатит Циркон Углеродистое вещество Эпидот
Рудные	Пирит Арсенопирит	Халькопирит	Пирротин Галенит Марказит Самородное Au
Гипергенные	Лейкоксен	Лимонит	

По пространственно-временным отношениям минералов и минеральных парагенезисов в рудах установлена следующая последовательность минералообразования. *Метасоматический этап*. Отложение во вмещающих породах углеродистого вещества, ильменита, магнетита, сфена и титаномагнетита, впоследствии замещенных лейкоксеном и лимонитом. В этот этап происходит развитие пирротина и пирита I. *В плутоногенном этапе* установлены три относительно сближенные во времени стадии минералообразования. В первую стадию (допродуктивную) произошло растрескивание пород и выполнение трещин средне-мелкокристаллическим безрудным кварцем I. В эту же стадию в породах отлагается крупнокристаллический пирит II и короткопризматический арсенопирит. Вторая стадия – продуктивная. С ней связано формирование полевошпатово (альбит)-кварцевых прожилков (друзовидный кварц II). В этот период отлагается халькопирит и сфалерит. Пустоты короткопризматического арсенопирита и пирита заполняются пирротином, халькопиритом и галенитом. В это же время в свободном состоянии или в срастании с сульфидами формируется самородное золото. В третью стадию (низкотемпературную) образуется халцедоновидный кварц (кварц III), карбонат, заполняющий пустоты в полевошпат (альбит)-кварцевых прожилках, и глинистые минералы, выполняющие микротрещины между полевым шпатом и кварцем II. Среди рудных минералов в эту стадию развиваются: пирит III (по трещинам в породе, кварце II и по периферии пирита II) и марказит. *Гипергенный этап* характеризуется окислительными процессами, в результате которых происходит замещение сульфидов лимонитом, развитие оксидов Cu и Mn.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России : в 2 кн. Кн. 1. / Под ред. А. И. Ханчука. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 572 с.
2. Горячев Н. А. Геология мезозойских золото-кварцевых поясов Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
3. Горячев Н. А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – 143 с.
4. Фирсов Л. В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. – Новосибирск : Наука, 1985. – 214 с.
5. Шило Н. А. Геологическое строение и коренные источники Яно-Колымского пояса россыпной золотоносности // Труды ВНИИ-1. Геология. – Магадан, 1960. – Вып. 63. – С. 211–316.

Моисеев А. В. (moartem@yandex.ru), Баталов А. П.

Общество с ограниченной ответственностью «Рок Энд Милл» (ООО «РАМ»), г. Москва

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И ОБЪЕМНОЕ ЛИТОГО-СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ОЦЕНКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В работе рассмотрен современный подход с применением методов структурного анализа и объемного геологического моделирования. Показано, что данный подход увеличивает точность прогнозирования перспективных участков, повышает достоверность оценки минеральных ресурсов и позволяет выявлять потенциально опасные геологические структуры в границах горных работ. В тезисах приведены примеры двух месторождений, где был применен данный подход. Материалы являются предварительными и уточняются по мере поступления новых данных.

Ключевые слова: 3D-геологические модели, объемное моделирование, литолого-структурное моделирование, геолого-структурное картирование, структурно-кинематический анализ, прогнозирование, оценка минеральных ресурсов.

В современной практике все чаще применяются методы структурной геологии на разных этапах освоения месторождений от прогнозно-поисковых до эксплуатации. Комплексный геолого-структурный анализ увеличивает точность прогнозирования перспективных участков,

повышает достоверность оценки минеральных ресурсов и позволяет выявлять потенциально опасные геологические структуры в границах горных работ [1, 2, 5, 10, 11 и др.]. Подобный подход позволяет оптимизировать затраты на полевые работы, снижает вероятность переоценки и недооценки ресурсного потенциала объекта до начала его отработки, увеличивает безопасность ведения горно-добычных работ на этапе промышленной эксплуатации месторождения.

Структурный анализ позволяет провести пространственную и временную увязку геологических структур, в том числе выделить дорудные, синрудные и пострудные структурно-минералогические парагенезы и выявить структурные факторы контроля рудной минерализации.

В последнее время столь активное практическое применение методов структурного анализа обусловлено внедрением в практику современного программного обеспечения, которое является дополнительным эффективным инструментом для создания выверенной объемной геологической модели (литолого-структурной модели – ЛСМ) и обоснования рудоконтролирующих факторов [3, 4, 6–9, 12 и др.]. Безусловно, объемное моделирование – это только инструмент, однако он имеет ряд существенных преимуществ, из основных стоит выделить:

- позволяет надежно увязывать между собой данные множества дисциплин (геофизика, литология, стратиграфия, структурная геология, геохимия, результаты опробования и т.д.);
- увязывает данные в 3D-пространстве, что позволяет нивелировать невязку смежных геологических планов и разрезов;
- позволяет установить амплитуды пликативных и дизъюнктивных деформаций в массиве;
- является средством наглядного представления данных и важным инструментом междисциплинарной коммуникации между специалистами разных направлений: геолог–геомеханик–гидрогеолог–горный инженер–технолог–проектировщик;
- является основой для геомеханических расчетов, оценки модифицирующих факторов и принятия проектных решений.

При должном уровне проработки ЛСМ становится возможным прогнозировать перспективные участки и морфологию минерализованных зон на сопряженных с месторождением участках. Одним из наглядных примеров работы с данными в трехмерном пространстве являются результаты шламового опробования скважин сопровождающей эксплуатационной разведки, которые хорошо подчеркивают структурный контроль минерализованных зон (рис. 1). В таких ситуациях подтверждение структурного контроля может являться хорошей предпосылкой для прогнозирования оруденения на соседних участках.

В тезисах приведены примеры подобных работ на двух месторождениях. Оба объекта являются золоторудными, для второго объекта попутными являются Mo-W. В 2015–2020 гг. для обоих месторождений выполнены ТЭО постоянных и временных кондиций. На данный момент на объектах ведутся геологоразведочные работы. Материалы во многом являются предварительными и уточняются по мере поступления новых данных.

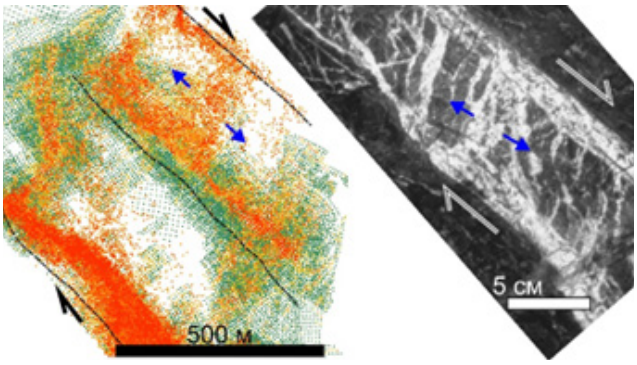


Рис. 1. Результаты опробования сопровождающей эксплуатационной разведки (слева) показывают, что рудоконтролирующей структурой является парагенез правостороннего сдвига СЗ простирания. Справа – пример сходной структуры в масштабах обнажения

Объект 1. Вмещающими для минерализованных зон являются пермские углистые алевролиты и аргиллиты с редкими прослоями тонкозернистых песчаников, породы метаморфизованы в зеленосланцевой фации.

Предыдущая увязка рудных тел была проведена без учета геолого-структурного контроля, основываясь только на данных опробования. Для определения геологических границ и морфологии минерализованных тел сотрудниками компании РАМ была оценена база данных геологоразведочных работ, проведенных в 2007 г. База данных содержит результаты опробования, интервалы литологических разностей пород и тектонитов, а также структурные замеры (углы альфа).

Поскольку толща однородна по составу и почти на 90 % состоит из аргиллитов, выявить ее строение не представляется возможным. Исключение составляют отдельные интервалы тектонитов (зоны рассланцевания, брекчии), жилы и дайки кислого состава (последние находятся в стороне от рудных залежей). Данные структурных замеров имеют ряд недостатков, которые в данном случае не позволяют установить рудоконтролирующую структуру. К недостаткам относятся:

1. Неверно распознанные структурные элементы. Неверно были задокументированы плоскостные ненарушенные (слоистость) и деформационные (кливаж) текстуры. Все они были задокументированы как слоистость. Почему это плохо? В покровно-складчатых осадочных комплексах данные элементы имеют важное значение для реконструкции их строения (рис. 2, а, б), по ним можно восстановить погружение шарнира складки, размах крыльев складки, определить падение осевой плоскости и т.д. На первом объекте, как будет показано ниже, плоскости кливажа имеют рудоконтролирующий фактор и важны для верного оконтуривания рудных тел.

В приповерхностных условиях порода распадается на множество пластинок вдоль плоскостей кливажа. В результате морозного пучения данные пластинки разваливаются в разные стороны, формируя ложное представление о тектоническом происхождении подобного явления (см. рис. 2, в, г). В базе данных, где все подобные структуры задокументированы как слоистость, создается впечатление мелкой не выдержанной складчатости, которой нет в природе (см. рис. 2, д).

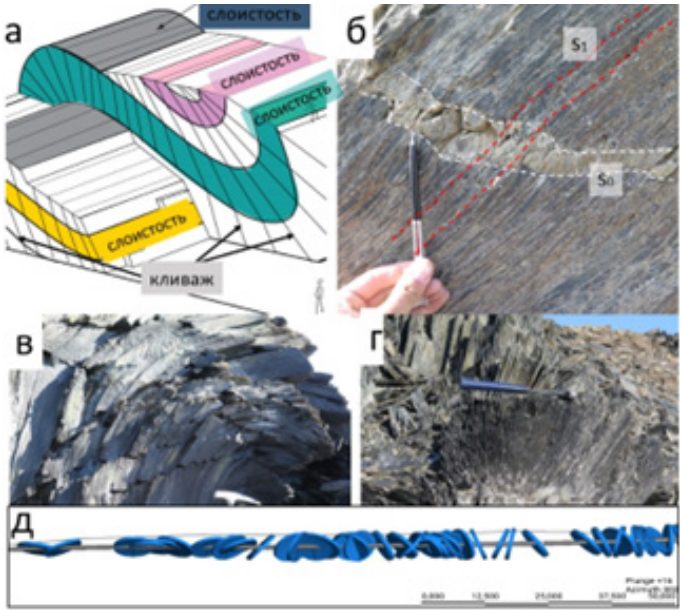


Рис. 2. Плоскости кливажа в черносланцевых толщах:
а – соотношение кливажа осевой плоскости и слоистости; б – соотношение кливажа (S_1) и слоистости (S_0) в обнажении; б, в – разноориентированные кливажные пластины, перемещенные в процессе морозного пучения; д – задокументированные пластины кливажа в приповерхностных условиях создают ложное впечатление тектонической складчатости

2. Отсутствие данных о направлении падения структур на глубине. Кливаж является проникающей текстурой, т.е. имеет достаточно однородное распространение по всему объему пород, и эти свойства можно использовать для очень многих объектов. Регулярные замеры кливажа позволяют увеличить качество ориентирования керна и вычислить элементы залегания для не ориентированных скважин. Последняя особенность позволяет при небольшом количестве ориентированных скважин в разведочной сети получать «полуориентированные» данные для всех скважин и с высокой точностью отрисовывать структурные особенности вмещающих и минерализованных структур.

На объекте 1 были проведены полевые структурные исследования, которые позволили выделить несколько деформационных этапов и выявить структурный контроль минерализованных тел.

1 этап (синрудный). На данном этапе развиваются наклонные и опрокинутые складки юго-западной вергентности, совершенный кливаж осевой плоскости, взбросы и надвиги.

Кварцевые жилы, несущие рудную минерализацию, были сформированы на разных стадиях первого этапа. Жилы обладают полосчатой текстурой, где полосы представлены светлыми участками кварца и стилолитовыми швами более темного цвета (рис. 3, а, б). Помимо стилолитов, жилы отражают наложенные складчатые и разломные деформации. Вдоль падения жил отмечаются интервалы с пологим падением и с увеличенной мощностью, которые обусловлены декомпрессионными ступеньками (dilatant jog), сформированными взбросами вдоль плоскостей жил (см. рис. 3, в). В целом системы жил формируют пластовые и штокверковые залежи, преобладают крутые, около 70°, углы падения. В большинстве случаев они субпараллельны плоскостям кливажа.

2 этап (пострудный). Преимущественно вблизи разломов северо-западного простирания развиты складки второй генерации. Данный этап проявлен локально. В осевой части данных разломов развиты хрупкие несвязанные тектониты, в основном брекчии с обломками минерализованных кварцевых жил.

Основываясь на результатах полевых исследований, были перестроены каркасы рудных тел. При одинаковых расчетных параметрах новая увязка позволяет более точно оценить объемы рудной минерализации и минимизировать в будущем несоответствия ожидаемых и фактических объемов товарной руды.

Помимо изменения в объеме ресурсов важным фактором новой увязки является корректировка разведочной сети. Часть старых разведочных скважин были заложены под углами, близкими к падению минерализованных структур, и поэтому могли частично не пересекать последние.

Объект 2. Вмещающие породы формируют покровно-складчатый комплекс северной вергентности, который прорывается гранитоидами альпийской магматической активизации. Деформированные породы представлены ороговикованными сланцами, сформированными по вулканогенно-осадочным породам среднего девона–раннего карбона, а также грубообломочными породами позднего карбона. Кайнозойские интрузивные комплексы сложены гранодиоритами, гранитами, аплитами.

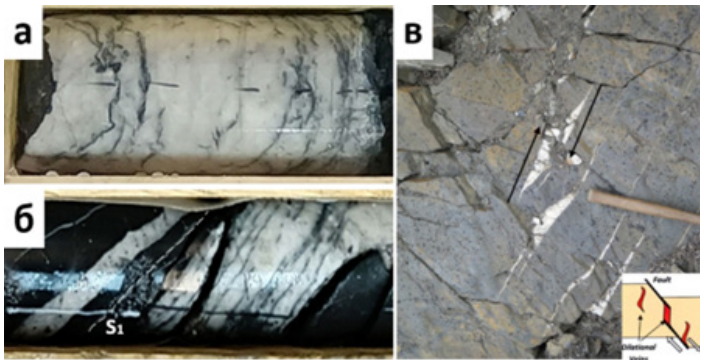


Рис. 3. Кварцевые жилы, сформированные в одном парагенезе с кливажем осевой поверхности: а, б – стилолитовые швы в жилах; в – декомпрессионные ступеньки со взбросовой кинематикой

С целью оценки устойчивости массива, выявления рудоконтролирующих факторов и прогнозирования морфологии минерализованных зон для сопряженных с месторождением территорий была проведена геолого-структурная съемка.

По результатам полевых работ и данным предшествующих ГРР было выделено несколько деформационных этапов, данные о которых сведены на рисунке (рис. 4). В таблице приведены выделенные рудоконтролирующие факторы. Для данного объекта создана концептуальная литолого-структурная модель по данным предшественников, которая уточняется по мере поступления дополнительных структурных данных и данных бурения. Выявленные закономерности используются для прогнозирования прилегающих к месторождению участков.

Авторы считают, что комбинация методов структурного анализа и трехмерного моделирования, особенно для регионов со сложным геологическим строением, позволяет повысить предсказательную способность геолого-генетических моделей.

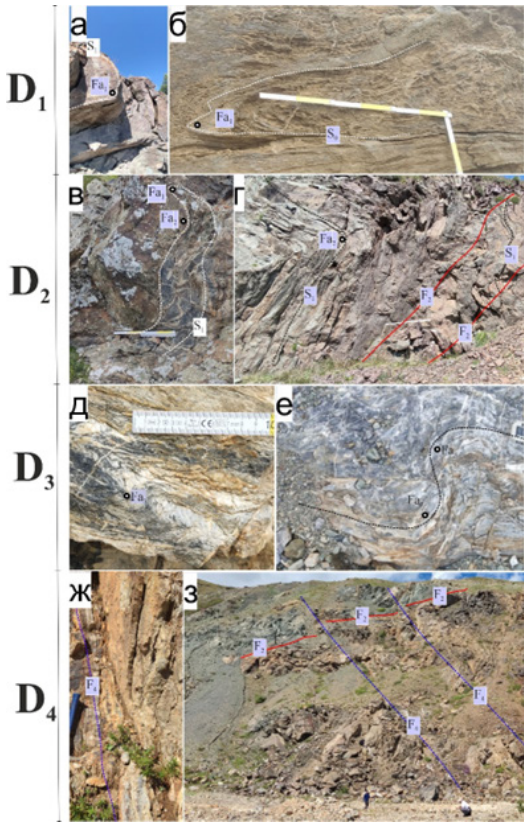


Рис. 4. Этапы структурного преобразования ($D_{1–4}$) на объекте 2:
а, б – лежачие изоклинальные складки; б, в – складчато-покровные деформации, плоскости надвигов сопровождаются серпентинитовыми меланжами; д, е – аксоноклинальные (крутое падение шарниров) присдвиговые складки; ж, з – субширотные сбросы и взбросы и кварцевые жилы

Таблица. Выявленные рудоконтролирующие факторы для объекта 2

Структурный контроль	Литологический контроль	Рудные минералы	Полезный компонент
Замки складок D_1, D_3, реже взбросы F_2	мрамора, мраморизованные известняки	молибденит, шеелит, сфалерит, халькопирит, пирит, магнетит	W, Mo
Взбросы и надвиги F_2	нет, чаще роговики по сланцам	пирит, магнетит, арсенопирит, халькопирит	Au
Сбросы F_4	отсутствует, чаще роговики по сланцам	молибденит, пирит	Au

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Читалин А. Ф., Мишарин Л. Г., Попов С. С., Чикатуева В. Ю. Значение геолого-структурного изучения месторождений жильно-прожилкового типа для прогнозирования рудных залежей // Золото и технологии. – 2024. – № 2 (64).
2. Bernhard J. M., Barnett W., Uken R., Myers R. Structural Analysis of Drill Core for Mineral Exploration and Mining: Review and Workflow Toward Domain-Based 3-D Interpretation // Reviews in Economic Geology. – 2020. – V. 21. – P. 215–245. – DOI: 10.5382/rev.21.07.
3. Cowan E. J. Deposit-scale structural architecture of the Sigma-Lamaque gold deposit, Canada–insights from a newly proposed 3D-method for assessing structural controls from drill hole data // Miner. Deposita. – 2020. – 55. – P. 217–240. – DOI: https://doi.org/ 10.1007/s00126-019-00949-6.
4. de Oliveira S. B., Torresi I., Rossi D. A. L. 3D-structural control and spatial distribution of Zn-Pb-Cu grades in the Palmeir´opolis VMS deposit, Brazil // B. Appl. Earth Sci. – 2022. – V. 131. – P. 69–85. – DOI: https://doi.org/10.1080/25726838.2022.2054176.
5. Groves D. I., Santosh M., Goldfarb R. J., Zhang L. Structural geometry of orogenic gold deposits: Implications for exploration of world-class and giant deposits // Geoscience Frontiers. – 2018. – V. 9. – P. 1163–1177.
6. Kampmann T. C., Stephens M. B., Weihed P. 3D-Modelling and Sheath Folding at the Falun Pyritic Zn-Pb-Cu-(Au-Ag) Sulphide Deposit and Implications for Exploration in a 1.9 Ga Ore District, Fennoscandian Shield // Mineralium Deposita, Sweden. – 2016. – V. 51. – P. 665–680. – DOI: https://doi.org/10.1007/s00126-016-0638-z.
7. Naranjo A., Horner J., Jahoda R., Diamond L.W., Castro A., Uribe A., Perez C., Paz H., Mejia C., Weil J. La colosa Au porphyry deposit, Colombia: mineralization styles, structural controls, and age constraints // Econ. Geol. – 2018. – V. 113. – P. 553–578.
8. Saulo B. de Oliveira, Laercio G. Bertossi. 3D-structural and geological modeling of the Kwatebala Cu–Co deposit, Tenke-Fungurume district, Democratic Republic of Congo // Journal of African Earth Sciences. – 2023. – V. 199. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104825.
9. Schetselaar E., Pehrsson S., Devine C., Lafrance B., White D., Malinowski M. 3-D geologic modeling in the Flin Flon mining district, Trans-Hudson orogen, Canada: evidence for polyphase imbrication of the Flin Flon-777-Callinan volcanogenic massive sulfide ore system // Econ. Geol. – 2016. – V. 111, № 4. – P. 877–901.
10. Stead D., Wolter A. A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology // Journal of Structural Geology. – 2015. – V. 74. – P. 1–23. – DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2015.02.002.
11. Vearncombe J. R. Function and status of structural geology in the Resource industry // Australian Journal of Earth Sciences. – 2023. – 70:7. – P. 908–931. – DOI: 10.1080/08120099.2023.2214928?cookieSet=1.
12. Vollgger S. A., Cruden A. R., Ailleres L., Cowan E. J. Regional dome evolution and its control on ore-grade distribution: insights from 3D-implicit modelling of the Navachab gold deposit, Namibia // Ore Geol. Rev. – 2015. – V. 69. – P. 268–284. – DOI: https://doi.org/ 10.1016/j.oregeorev.2015.02.020.

Молчанов А. В. (Anatoly_Molchanov@karpinskyinstitute.ru),
Соловьев О. Л. (Oleg_Soloviev@ karpinskyinstitute.ru)
ФГБУ «Институт Карпинского», г. Санкт-Петербург

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ЗОЛОТО-УРАНОВОРУДНЫЕ ОБЪЕКТЫ В ПРЕДЕЛАХ ЭЛЬКОНСКОГО РУДНОГО УЗЛА

В работе охарактеризована геологическая ситуация в пределах Эльконского золото-урановорудного узла, обосновано выделение четырех типов золото-уранового оруденения, охарактеризована проявленность в регионе разновозрастных и разноформационных типов ги-

дротермально-метасоматических новообразований. Представлены карты распространения на опоискованной площади Эльконского рудного узла разновозрастных и разноформационных типов гидротермально-метасоматических образований в полном объеме их проявления и карты распространения рудогенных элементов на этих же площадях. Локализованы участки для постановки масштабных горно-буровых работ с целью поиска золоторудных, золото-урановорудных объектов.

Ключевые слова: золото, уран, прогноз, поиски, гидротермально-метасоматические образования, Алданский щит, Якутия.

Эльконский золото-урановорудный узел находится в северной части Алданского щита – наиболее крупного выступа древнего складчатого фундамента Сибирской платформы. Рудный узел совпадает по площади с одноименной горстовой структурой, характеризуется северо-западным простиранием, вытянут на 60 километров в междуречье Тимптон–Алдан.

В геологическом строении узла принимают участие метаморфизованные в гранулитовой фации гнейсы и кристаллические сланцы архей-раннепротерозойского возраста, интрузии щелочных и субщелочных пород, сформированные на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации региона, а также терригенно-карбонатные и терригенные отложения венд-кембрийского и юрского возраста.

Отличительной чертой геологического строения Эльконского золото-урановорудного узла является широкое развитие в его пределах региональных долгоживущих разрывных нарушений глубокого заложения, характеризующихся северо-западным простиранием и контролирующих основную часть золото-урановых руд региона. В строении разломов широко развиты милониты, катаклазиты, их бластовые разности, дайковые тела метадиоритов и субщелочных пород.

Подавляющее большинство региональных разрывных нарушений региона, заложившихся на этапе раннепротерозойской активизации Алданского щита, подновлялись на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации региона. В пределах узла имеются системы рудоконтролирующих разломов собственно мезозойского возраста, представленные зонами брекчирования и трещиноватости.

Для зон тектонических нарушений, как древнего, так и мезозойского заложения, характерно масштабное проявление в их пределах низкотемпературных гидротермально-метасоматических образований, зафиксированных в вещественном отношении вытянутыми телами пирит-анкерит-адуляровых и пирит-кварц-адуляровых метасоматитов – гумбеитов. При этом гумбеиты слагают центральную часть рудоносных зон разломов, а по их периферии картируются пропилиты существенно эпидотового, эпидот-кварцевого и эпидот-амфибол-кварцевого состава. Высокотемпературные метасоматиты этапа мезозойской тектоно-магматической активизации представлены в пределах узла фенитами, слагающими эндо- и экзоконтактовые части интрузивных массивов субщелочных и щелочных пород.

В пределах зон региональных разрывных нарушений древнего (раннепротерозойского) заложения картируются жильные, жильно-шлировые и гнездовые тела высокотемпературных кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов.

Для эльконского золото-урановорудного узла характерны четыре типа оруденения: а) золото-браннеритовый – собственно Эльконский; б) золото-уранинитовый – зоны Интересной; в) браннерит-серебро-золотой – зоны Федоровской; г) золото-порфировый – Рябиновский.

В настоящее время наиболее богатые по запасам урана и золота рудоносные структуры Эльконского горста лицензированы. Это крупнейшие по запасам и прогнозным ресурсам урана, а также золота зоны Южная, Северная, Интересная, площадь Рябиновского массива и месторождение Лунное.

В период с 2008 по 2011 г. сотрудниками отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГУП «ВСЕГЕИ» по договору с ГУ ГГП (РС) «Якутскгеология» в пределах Эльконского рудного узла проводились поисковые работы на золото и уран за пределами лицензированных площадей на предмет обнаружения здесь новых месторождений. При поисках использовалась методика, основанная на петрографо-геохимическом изучении гидротер-

мально-метасоматических образований, зарекомендовавшая себя с положительной стороны в других регионах России и ближнего зарубежья. Целесообразность и практическая значимость изучения гидротермально-метасоматических образований и их геохимических особенностей при поисковых работах были однозначно показаны в работах Е. В. Плющева. Им же с соавторами разработана методика картирования слабо проявленных гидротермально-метасоматических изменений, где отчетливо показано, что большое значение имеет выявление новообразованной гидротермальной породы *при самой слабой степени ее проявления* в исходной породе.

Поисковая площадь Эльконского рудного узла составила 400 км^2. Исследования проводились по профилям, ориентированным вкрест простирания основных геологических, включая рудоносные, структур региона. Расстояние между профилями составляло 750 м. Расстояние между точками наблюдения в зависимости от сложности геологического строения, степени проявленности и типа гидротермально-метасоматических образований, их фациальной разновидности, наличия рудной минерализации варьировало от 25 до 500 м.

В процессе работ были задокументированы более 2000 точек наблюдения, уточнено геологическое строение региона, отобраны геохимические пробы, сколки для изготовления прозрачно-полированных шлифов и образцы горных пород.

Выполнено картирование гидротермально-метасоматических образований в наиболее полном объеме их проявления, то есть с учетом внешних зон слабых изменений. На составленных картах отражена масштабность проявленности в пределах Эльконского рудного узла всех выявленных новообразованных минералов и их ассоциаций. В процессе петрографических работ по структурно-вещественным характеристикам и термодинамическим параметрам выделены и детально охарактеризованы пять таких ассоциаций эпигенетических минералов: *фельдшпатолиты, скарны, пропилиты, березиты, гумбеиты*. Выявлены геохимические особенности этих гидротермально-метасоматических ассоциаций. Составлены моно- и полиэлементные геохимические карты масштаба 1 : 50 000.

На основе анализа полученного материала проведено районирование территории Эльконского рудного узла с выделением трех областей, где можно ожидать оруденение различных типов в связи с процессами гумбеитизации: а) область развития эльконского (Au-U) типа оруденения; б) область развития лунно-федоровско-рябинового (Au-Cu-порфирового) типа оруденения; в) область развития комбинированного элькон-лунно-федоровско-рябинового (Au-U + Au-Cu-Mo).

В пределах изученной части эльконского золото-урановорудного узла выделены площади различной степени перспективности на выявление уранового и золотого оруденения. В качестве наиболее благоприятного участка для постановки крупномасштабных поисковых горных и буровых работ первой очереди на предмет выявления в его пределах золотого и уранового оруденения как традиционного, эльконского, так и крупнообъемного типов оруденения, выделена площадь 35 км^2. Здесь, исходя из геолого-структурной ситуации и минералого-геохимических особенностей гидротермально-метасоматических образований, следует ожидать выявление объектов с прогнозными *ресурсами урана* категории P_2 – 250 тыс. т и *золота*, той же категории, более 200 т.

Выполненные в пределах Эльконского рудного узла поисковые работы показывают, что широкое применение предприятиями Роснедр и частными компаниями методики поисковых работ на основе петрографо-геохимического изучения гидротермально-метасоматических образований в полном объеме их проявления приведет к существенному повышению надежности опоискования потенциально рудоносных территорий и площадей на стадии поисковых, поисково-оценочных работ.

Наиболее рационально применение рассмотренной методики как наиболее финансово малозатратной на первом этапе поисковых работ с целью локализации площадей для постановки горных и буровых работ.

Морохин А. И. (alexey.morokhin@gmail.com)
ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА РАЗНОВИДНОСТЕЙ БОРНИТА ИЗ РУД ВОЛКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Выявлены особенности состава разновидностей борнита и сопутствующих сульфидов меди в рудах Волковского месторождения. Показано, что составы борнитов существенно отличаются от стехиометрического, отмечается существенный дефицит меди. Результаты исследований указывают на необходимость более детального изучения разновидностей маломедистого борнита для повышения эффективности отработки медных руд месторождения.

Ключевые слова: Волковское месторождение, энергодисперсионный анализ, разновидности борнита, «аномальный» борнит, медные руды.

Сульфиды меди весьма распространены в природе и для ряда месторождений являются основным источником меди. На Среднем Урале расположено единственное эксплуатируемое в России Волковское месторождение ванадий-железо-медных руд, в котором сосредоточено около 10 % запасов меди. «Волковский» геолого-промышленный тип связан с габброидами Платиноносного пояса Урала, к нему относятся более 80 рудопроявлений и пунктов минерализации [3]. Борнит в рудах Волковского месторождения – главный промышленный минерал, имеет несколько разновидностей и демонстрирует сложные срастания с халькопиритом и минералами группы халькозина. В ряде работ освещены вопросы образования сульфидов меди [5–7], при этом анализ состава и более детальные минералогические исследования медной минерализации не проводились, за исключением работ [2, 4, 8], в то время как эти аспекты являются важными при отработке Волковского месторождения и других медных объектов.

По сведениям И. Ф. Габлиной [1], нестехиометрический борнит не встречается в высокотемпературных магматических месторождениях, считается, что такой борнит является признаком экзогенных руд, в том числе зон вторичного сульфидного обогащения и окисления. В то же время известно о так называемом «оранжевом» или «х-борните», который имеет аномально низкое содержание меди ($Cu_{5-x}FeS_{4+x}$). Нестехиометрический борнит встречается в Джезказганском, Удоканском месторождениях, рудном районе Купершифер и др. [1, 2, 9].

В настоящей работе рассматриваются особенности состава разноокрашенных борнитов и их минеральных ассоциаций. Отклонение состава сульфидов меди от стехиометрического может рассматриваться не только как результат развития гипергенных процессов, но также может указывать на условия образования руд, что имеет технологическое значение при отработке Волковского месторождения.

Материалом для исследования являлись медные минералы, приуроченные к рудоносному габбро, отобранные в действующем карьере на Северо-Западном участке Волковского месторождения. На этом участке месторождения, сверху вниз, начиная с приповерхностной зоны, располагаются окисленные (мощность 25–30 м), смешанные (20 м) и первичные руды. В ходе работы использованы оптическая микроскопия в отраженном свете (микроскоп ПОЛАМ-215, ЛОМО, г. Санкт-Петербург, Россия) и сканирующая электронная микроскопия (VEGA 3 TESCAN, Tescan, Чехия) с энергодисперсионным спектрометром VEGA 3LMN, INCAENERGY 450 (аналитик Е. М. Тропников). Условия энергодисперсионного анализа: ускоряющее напряжение – 20 кВ, сила тока – 0,25 нА, интенсивность пучка – 16, рабочее расстояние – 15 мм, погрешность определения состава 2 σ составляет (мас. %): Fe – 0,16, Cu – 0,39, S – 0,17. В качестве стандартов использовались самородные металлы Cu и Fe. В качестве стандарта S использован сульфид железа FeS_2.

Исследования медных руд на Волковском месторождении позволили ранее выделить несколько разновидностей борнита: розовый, фиолетовый и оранжевый [2, 8]. Для руд Лавро-во-Николаевского участка указывалось, что разновидности борнита характеризуются устойчивыми парагенетическими ассоциациями с другими сульфидами меди [8].

На Северо-Западном участке Волковского месторождения каждой разновидности борнита также свойственны аналогичные минеральные ассоциации. Розовый борнит либо ассоциирует-

ся с халькопиритом, дигенитом и джиритом, либо является однородным. Фиолетовый борнит тесно ассоциируется с халькозином, оранжевый борнит – с халькопиритом. Сульфиды меди распространены по всему разрезу, однако основная масса встречается только в первичных и смешанных рудах. В окисленных рудах резко преобладают малахит и гидроокислы железа, в меньшей степени развиты азурит и хризоколла.

Обнаружено, что составы разноокрашенных борнитов Северо-Западного участка отличаются от стехиометрического состава (Cu_5FeS_4) заметным дефицитом меди. Расчет усредненной кристаллохимической формулы розового борнита свидетельствует о следующем соотношении элементов – $Cu_{4,82}Fe_{1,01}S_4$. Составы халькопирита, дигенита и джирита практически идентичны стехиометрическому – $Cu_{0,97}Fe_{0,99}S_4$, $Cu_{1,80}S$, $Cu_{1,61}S$ соответственно. При этом в окисленных рудах состав розового борнита становится резко медьдефицитным – $Cu_{4,52}Fe_{1,09}S_4$, халькопирит остается неизменным – $Cu_{0,97}Fe_{0,99}S_4$. Фиолетовый и оранжевый борниты обладают близким химическим составом – $Cu_{4,82}Fe_{1,01}S_4$ и $Cu_{4,83}Fe_{1,01}S_4$ соответственно. Постоянные спутники борнитов, халькозин и халькопирит показывают следующий усредненный состав – $Cu_{1,92}S$ и $Cu_{0,97}Fe_{1,00}S_4$ соответственно.

Полученные данные показывают, что руды Волковского месторождения содержат серию разновидностей борнита, обладающих схожим медь-дефицитным составом. Наличие дефицита меди указывает на их аналогию с «аномальным борнитом» [1], однако, вопреки имеющейся точке зрения о гипергенном генезисе таких борнитов, борнит Волковского месторождения является гипогенным, образовавшимся из остаточных магматических флюидонасыщенных расплавов [4–6]. Для выяснения причины нестехиометричного состава необходимы более детальные исследования типоморфных особенностей маломедистого борнита, это может повысить эффективность обогащения медных руд Волковского месторождения.

Автор выражает благодарность Е. М. Тропникову за помощь в проведении исследований с применением сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Габлина И. Ф. Минералогические и литологические особенности медного оруденения в осадочных толщах // Литогенез и рудообразование (критерии разграничения экзогенных и эндогенных процессов). – М. : Наука, 1989. – С. 78–93.
2. Изоитко В. М. Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб. : Наука, 1997. – 582 с.
3. Контарь Е. С. Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы). – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2013. – 199 с.
4. Кашин С. А. Медно-титаномагнетитовое оруденение в основных интрузивных породах Урала // Тр. ГИН АН СССР. – 1948. – № 9.
5. Нечкин Г. С., Полтавец З. И. Некоторые генетические особенности медных руд с благороднометальной минерализацией на Волковском месторождении (Средний Урал) // Ежегодник-2002 ИГГ. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – С. 286–290.
6. Полтавец Ю. А., Сазонов В. Н., Полтавец З. И., Нечкин Г. С. Закономерности распределения благородных металлов в рудных парагенезисах Волковского габбрового массива (Средний Урал) // Геохимия. – 2006. – № 2. – С. 167–190.
7. Тимохов К. Д. Закономерности в распределении медносульфидного, титаномагнетитового и апатитового оруденения на Волковском месторождении (Средний Урал) // Геология рудных месторождений. – 1962. – № 1. – С. 35–46.
8. Шумилова Т. Г., Шевчук С. С., Макеев Б. А. Разновидности борнита Волковского месторождения – ключ к выявлению технологических сортов медных руд // Проблемы и перспективы современной минералогии (Юшкинские чтения – 2014) : Матер. минер. семинара с междунар. участием. – Сыктывкар : Геопринт, 2014. – С. 252–253.
9. Large D. J., MacQuaker J., Vaughan D. J. [et al.] Evidence for Low-Temperature Alteration of Sulfides in the Kupferschiefer Copper Deposits of Southwestern Poland // Econ. Geol. – 1995. – Vol. 90. – P. 2143–2155.

Мочалов А. Г.[1] (mag1950@mail.ru), Галанкина О. Л.[1], Якубович О. В.[1, 2]
[1] ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург; [2] СПбГУ, г. Санкт-Петербург

ТИПОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНЫ В РАЗРАБОТКЕ ^{190}Pt-^{4}He МЕТОДА ДАТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНИМОСТИ В ОЦЕНКЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Определение возраста рудного минерала и длительности или периодичности (цикличности) минералообразования руд находится в числе ключевых проблем геологии рудных месторождений. Подведены итоги применения разработанных типоморфных свойств (ТС) минералов платиновой группы (МПГ) для совершенности датирования и выявления потенциала нового ^{190}Pt-^{4}He метода.

Ключевые слова: минералы группы самородной платины, сперрилит, звягинцевит, онтогения минералов, генезис, типоморфные свойства, щелочно-ультраосновные массивы, россыпеобразующие платинометалльные формации, месторождения платиновых металлов, Кондёр, Чад, Алданский щит, ^{190}Pt-^{4}He геохронометр, Pt-He датирование.

Решению проблемы прямого датирования МПГ положил начало Ю. А. Шуколюков, чьи разработки в ИГГД РАН стали основой ^{190}Pt-^{4}He метода изотопного датирования [8]. Главный атрибут ^{190}Pt-^{4}He метода – Pt-He геохронометр, принадлежащий времени формирования материнского источника или его части. Таким атрибутом мог быть только МПГ, обладающий ТС генезиса образования минералого-геохимического типа МПГ (тип МПГ) в его россыпеобразующей или рудной формации. В этой работе подведены главные итоги в области применения ТС МПГ ультрамафитовых формаций как для разработки геохронометров ^{190}Pt-^{4}He метода, так и для возможностей применения полученных результатов Pt-He датирования, оценки возраста, периодичности (цикличности), длительности минералообразующих процессов платинометалльного рудообразования.

Для зонально-кольцевых щелочно-ультраосновных массивов платформ характерна индивидуальная целостность природного строения в раме пород кристаллического щита, в отличие от массивов ультраосновных формаций складчатых областей, которые являются тектонически разрозненными отторженцами от первоначального положения в литосфере. Поэтому для разработки изотопного Pt-He датирования был сделан выбор в пользу щелочно-ультраосновных массивов Алданского щита Кондёр и Чад, с которыми связаны соответственно уникальное и среднее россыпные месторождения платиновых металлов, а минералогия элементов платиновой группы (ЭПГ) всесторонне изучена минералогическим, химическим и аффинажным способами. Массивы будут обозначаться соответственно «объект Кондёр» и «объект Чад» [1, 2, 4, 5].

Для разработки ^{190}Pt-^{4}He метода были использованы содержащие платину зерна МПГ (размером около 0,5 мм) непосредственно из протолочных проб коренных пород, полированных шлифов сколков пород и шлихов, отобранных в результате многолетних геолого-съемочных исследований коренных источников и подсчета запасов блоков месторождений платиновых металлов объектов Кондёр и Чад.

Установлено, что на объекте Кондёр в полной мере распространены пять типов МПГ:

1) магматогенный Pt-тип;
2) Pt > Rh-тип,
3) Pt > Os-тип, } магматогенно-флюидно-метасоматические;
4) Pt > Pd-тип,
5) флюидно-метаморфогенный Pt > Ir-тип.

На объекте Чад некоторые типы МПГ распространены не в полной мере, а Pt > Pd-тип – незначительно. Распространенные типы МПГ со вмещающими их разновидностями пород или их комплексы составляют собственные россыпеобразующие формации. Главными минералами типов МПГ являются минералы группы самородной платины (МГСП):

1) самородная платина,
2) изоферроплатина,

3) тетраферроплатина,

4) минеральные криптоагрегаты вышеперечисленных.

МГСП лежат в основе понимания о россыпеобразующей формации и ее генезисе. Обосновано положение о том, что типоморфные свойства МГСП являются индикаторами рудообразующих процессов формирования типов МПГ в ходе образования магматических пород плутонов и их метасоматических и метаморфогенных преобразований в результате поздних магматогенных циклов [2–5].

По химическому составу среди пяти типов МПГ выделены четыре главные ТС МГСП, которые стали четырьмя ^{190}Pt-^{4}He типоморфными геохронометрами. Показано, что точность ^{190}Pt-^{4}He возраста всех типов МПГ, рассчитанного по уравнению тангенса угла наклона изохрон, воспроизводится на основании двух десятков конкретных измерений четырех типоморфных геохронометров вместе взятых.

В Pt > Pd-типе по размеру образцов позволяют проводить измерение гелия платиносодержащие минералы сперрилит $PtAs_2$ и звягинцевит Pd_3Pb (с содержанием Pt до 9 мас. %). В то же время наблюдаются значительные колебания ^{190}Pt-^{4}He возраста отдельных зерен этих минералов. Для сперрилита это явление связано с его происхождением в результате полистадийной псевдоморфизации ранних МГСП, для звягинцевита – с зональным распространением примеси Pt в кристаллах.

В разных по составу и распространению метасоматитах объекта Кондёр среди МПГ Pt > Pd-типа распространены четыре независимых, типоморфных геохронометра, доступных для Pt-He датирования: среди жильных скоплений хромитов это $(Fe,Mg)(Cr,Fe)_2O_4$ в виде отдельных небольших индивидов, агрегатов и самородков МГСП; в экзоконтактовых телах дайкового комплекса (клинопироксенитов, слюдитов, амфиболитов, цеолитовых пород) это кристаллы и кристаллические двойники МГСП, сперрилит и звягинцевит.

В результате независимого анализа этих четырех типоморфных геохронометров был получен ^{190}Pt-^{4}He возраст 128 ± 6 млн лет, что соответствует возрасту раннего формирования даек косьвитов и щелочных пород. Совпадение ^{190}Pt-^{4}He возраста независимых, типоморфных геохронометров из различных пород, обусловленных внедрением магматических пород одного времени, не случайно. На этом основании можно сделать вывод о применимости разработанного генезиса и ТС МПГ в разработке их ^{190}Pt-^{4}He метода датирования, в том числе и для возраста формирования россыпеобразующих платинометалльных формаций и вмещающих их ультрамафитов – дунитов и пироксенитов.

На объектах Кондёр и Чад четыре группы главных по распространению МГСП, отражающих ТС пяти типов МПГ (Pt и Pt > Rh, Pt > Os, Pt > Pd, Pt > Ir). Каждый тип МПГ представляют семь типоморфных геохронометров, из которых четыре – это индивиды и мономинеральные агрегаты МГСП с характерным составом ЭПГ, а еще три – сростки и их самородки: с клинопироксеном, оливином, хромшпинелидом $(Mg,Fe)(Cr,Fe,Al)_2O_4$.

^{190}Pt-^{4}He измерения этих семи типоморфных геохронометров вкупе с ТС МГСП изученных образцов всех типов МПГ не только определяют их возраст, но и датируют циклические рудообразующие процессы: на массиве Кондёр – продолжительностью 28 ± 6 млн лет (с 143 ± 7 по 115 ± 6 млн лет); на массиве Чад – 16 ± 6 млн лет (с 123 ± 6 по 107 ± 6 млн лет) [6, 7]. Этим подтверждается развитая ранее модель полицикличного образования россыпеобразующих платинометалльных формаций [3, 4]. Измерения ^{190}Pt-^{4}He возраста проливают свет на длительность становления самих пород ультрамафитов и в целом щелочно-ультраосновных массивов в развитии мезозойской тектоно-магматической активизации Алданского щита. В результате установлен новый типоморфный фактор Pt-He датирования – продолжительность во времени образования россыпеобразующих формаций типов МПГ и их месторождений.

В результате исследования ТС минералов платины в разработке Pt-He датирования обнаружено соответствие в последовательности формирования платинометалльных месторождений ультрамафитовых формаций с результатами их ^{190}Pt-^{4}He возраста. Это свидетельствует, что закрытие ^{190}Pt-^{4}He изотопной системы минералов платины типов МПГ происходило синхронно циклам минералообразования ЭПГ в определенных россыпеобразующих породах ультрамафитовых формаций. Это обстоятельство, в свою очередь, указывает на перспективность

использования ТС МПГ с новым ^{190}Pt-^{4}He методом датирования в практике геологических исследований ультрамафитовых формаций, рудных поисков и оценке территорий на перспективу платинометалльных месторождений.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГГД РАН, тема № FMUW-2022-0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мочалов А. Г. Россыпи платиновых металлов / Россыпные месторождения России и других стран СНГ. – М. : Научный мир, 1997. – С. 127–165.
2. Мочалов А. Г. «Шлиховая платина» россыпей Дальнего Востока России: Дис. … д-ра геол.-мин. наук. – М. : ИГЕМ, 2001. – 296 с.
3. Мочалов А. Г. Модель развития минералов платиновой группы габбро-пироксенит-дунитовых кумулятивных комплексов Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. – 2013. – № 3. – С. 171–188.
4. Мочалов А. Г. Замечательные минералы платины массива Кондёр (Хабаровский край) // Минералогический Альманах. Серия «Знаменитые минералогические объекты России». – 2019. – Т. 23, вып. 3. – 128 с.
5. Мочалов А. Г., Галанкина О. Л. Особенности онтогении россыпеобразующих минералов платины в условиях полициклического формирования щелочно-ультраосновного массива Кондёр (Хабаровский край, Россия) // Эволюция вещественного и изотопного состава докембрийской литосферы. – СПб. : Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2018. – С. 459–499, 669–675.
6. Мочалов А. Г., Якубович О. В., Бортников Н. С. ^{190}Pt-^{4}He датирование россыпеобразующих минералов платины щелочно-ультраосновного массива Чад: новое подтверждение полицикличности платинометального рудообразования // ДАН. Серия Науки о Земле. – 2022. – Т. 504, № 1. – С. 13–21.
7. Мочалов А. Г., Якубович О. В., Стюарт Ф. М., Бортников Н. С. Новые свидетельства полицикличности платинометальных россыпеобразующих формаций щелочно-ультраосновного массива Кондёр: результаты ^{190}Pt-^{4}He датирования // ДАН. Серия Науки о Земле. – 2021. – Т. 498, № 1. – С. 23–30.
8. Шуколюков Ю. А., Якубович О. В., Мочалов А. Г., Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Яковлева С. З., Корнеев С. И., Гороховский Б. М. Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (^{190}Pt-^{4}He метод) // Петрология. – 2012. – Т. 20, № 6. – С. 545–559.

Мурзин О. В. (o_murzin@mail.ru)
ФБУ «ТФГИ по СФО», г. Новосибирск

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРОДОЛЖЕНИЮ ПОИСКОВ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЗМЕИНОГОРСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Приведены предложения по постановке поисковых работ на колчеданно-полиметаллическое оруденение в юго-восточной части Змеиногорского рудного района, не охваченной ранее данным видом работ. Предлагаемые для постановки поисковых работ Восточно-Лазурская и Плющатинская перспективные площади входят в состав Корбалихинско-Лазурского линейного рудного узла. Оруденение в его пределах локализуется на позднеживетско-раннефранском стратиграфическом уровне в отложениях нижнекаменевской подсвиты. Проведение поисковых работ на вышеназванных площадях может существенно увеличить МСБ меди, свинца и цинка Змеиногорского рудного района.

Ключевые слова: Алтайский край, Змеиногорский рудный район, Корбалихинско-Лазурский линейный рудный узел, Майско-Змеиногорско-Семеновский линейный рудный узел, Восточно-Лазурская перспективная площадь, Плющатинская перспективная площадь, Змеиногорско-Быструшинский прогиб, Алейское поднятие, медь, свинец, цинк.

В 2012 г. были завершены «Опережающие геолого-геофизические работы для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая (Алтайский край) с целью разработки основы для создания ведущего в Российской Федерации центра по добыче свинца и цинка» (Росгеолфонд. Геологический отчет № 507150, 2012), основной объем работ которых был сосредоточен в пределах Змеиногорского рудного района. Был подготовлен ряд перспективных площадей для постановки в их пределах поисковых работ на цветные металлы. К настоящему времени большинство перспективных площадей опоисковано с тем или иным положительным результатом. В настоящее время фонд перспективных участков исчерпан. Постановка прогнозно-минерагенических работ в пределах Золотушинского и Рубцовского рудных районов задерживается по различным причинам (в первую очередь, в связи с отсутствием в «Положении об этапах и стадиях ГРР на ТПИ» такого вида исследований).

При проведении вышеназванных «Опережающих работ…» далеко не вся территория Змеиногорского рудного района была ими охвачена. Значительная юго-восточная часть района (около 1/3 площади) в контур работ не вошла. В то же время на этой территории более ранними работами были установлены перспективные площади и участки, в пределах которых возможно выявление новых месторождений полиметаллов.

Змеиногорский рудный район занимает полосу северо-западного направления шириной до 20 км и длиной 80 км и охватывает северо-западное окончание Змеиногорско-Быструшинского прогиба и область его сочленения с северо-восточным крылом Алейского поднятия. В строении прогиба участвуют образования девонско-каменноугольного структурного этажа, которые смяты в протяженные линейные складки преимущественно северо-западного простирания и прорываются субвулканическими образованиями ранне-среднедевонского и верхнедевонского возраста, интрузивными образованиями змеиногорского и волчихинского комплексов. Район характеризуется сложной тектоникой, обусловленной большим количеством разнообразных дизъюнктивных и пликативных структур.

В пределах района выделяются два линейных рудных узла: Майско-Змеиногорско-Семеновский и Корбалихинско-Лазурский. Первый из них включает в себя Березовогорское, Змеиногорско-Зареченское, Гольцовское и Семеновское рудные поля; второй – Корбалихинское, Черепановское и Лазурское рудные поля. Руды месторождений относятся к колчеданно-полиметаллической подформации (Корбалихинское, Лазурское, Масленское месторождения), золото-серебро-барит-полиметаллической подформации (Змеиногорское, Зареченское месторождения), собственно полиметаллической подформации (Среднее, Семеновское, Майское месторождения) и медноколчеданной подформации (Масленское месторождение). Промышленное оруденение локализуется преимущественно на двух основных стратиграфических уровнях: эмско-эйфельском (мельничная свита – Майско-Змеиногорско-Семеновский рудный узел) и позднеживетско-раннефранском (каменевская свита – Корбалихинско-Лазурский рудный узел) при преимущественной концентрации 62 % всех разведанных балансовых запасов руды и 70 % суммы металлов на верхнем уровне и, соответственно, 32 и 25 % – на нижнем уровне.

Таблица. Прогнозные ресурсы категории P_3 перспективных площадей ЮВ части Змеиногорского рудного района

№№ п/п	Наименование объекта	Площадь, км^2	Прогнозные ресурсы (руда, Zn, Pb, Cu – тыс. т; Au, Ag – т)
ЮВ часть Майско-Змеиногорско-Семеновского рудного узла			
1	Шипунихинско-Аргунихинская площадь	30,2	Руда – 6000, Zn – 420, Pb – 180, Cu – 30, Au – 6, Ag – 420
2	Таежная площадь	25,7	Руда – 5500, Zn – 385, Pb – 165, Cu – 30, Au – 5,5, Ag – 385
ЮВ часть Корбалихинско-Лазурского рудного узла			
3	Восточно-Лазурская площадь	11,7	Руда – 5200, Zn – 240, Pb – 60, Cu – 60, Au – 3,6, Ag – 160
4	Плющатинская площадь	24,4	Руда – 15 000, Zn – 700, Pb – 180, Cu – 180, Au – 10,5, Ag – 450

По материалам ГДП-200 второго издания [1] в пределах рудного района выделены перспективные рудные поля и площади в ранге рудных полей и их частей: Березовогорское рудное поле, Восточно-Березовогорская, Новокузнецовская, Шипунихинско-Аргунихинская, Таежная, Семеновская, Каменская, Восточно-Лазурская, Плющатинская, Красногвардейская, Давыдовская, Вересухинско-Комиссаровская перспективные площади.

Часть из них – Шипунихинско-Аргунихинская, Семеновская, Таежная, Восточно-Лазурская, Плющатинская площади – не были охвачены работами 2012 года. При этом первые три площади расположены в пределах Майско-Змеиногорско-Семеновского рудного узла, остальные две площади приурочены к Корбалихинско-Лазурскому рудному узлу. Оцененные прогнозные ресурсы названных площадей до глубины 1000 м представлены в таблице.

По нашему мнению, наиболее перспективными для постановки поисковых работ являются Восточно-Лазурская и Плющатинская площади. В пределах обеих площадей выполнялись только геолого-съемочные работы масштабов 1 : 200 000 и 1 : 50 000. Поисковые работы здесь никогда не проводились.

Восточно-Лазурская перспективная площадь (11,7 км^2) примыкает с юго-востока к территории Лазурского рудного поля, вмещающего Лазурское, Маслянское месторождения и крупное Пихтовское рудопроявление, располагаясь на продолжении образований так называемого «Лазурского порфиритового горизонта» – нижнекаменевской подсвиты позднеживетско-раннефранского возраста. Географически площадь располагается на западном, юго-западном склоне г. Ревнюха. Сложена лавами, лавобрекчиями базальтов, андезибазальтов с редкими прослоями, линзами известково-глинистых и кремнистых алевролитов, туфов кислого состава, прорванными субвулканическими телами риолитов и риодацитов. Ее структура представлена синклиналью, разбитой разломами северо-восточного простирания на несколько блоков, с простиранием пород на юго-восток. Площадь характеризуется развитием в ее пределах пунктов полиметаллической минерализации, интенсивных геофизических аномалий ВП, ЕП, ореолов суммарного геофизического критерия перспективности, геохимических аномалий, ореолов гидротермально измененных пород.

Плющатинская перспективная площадь (24,4 км^2) расположена восточнее Восточно-Лазурской площади в пределах субширотного продолжения «Лазурского порфиритового горизонта» – нижнекаменевской подсвиты позднеживетско-раннефранского возраста. В восточной части площади простирание пород постепенно меняется на юго-восточное. Затем данные отложения срезаются гранитами Ревневско-Амелихинского массива змеиногорского комплекса. Северный контакт отложений нижнекаменевской подсвиты тектонический по разлому северо-восточного простирания. Географически площадь располагается на южных склонах г. Ревнюха и г. Плющатая. Сложена лавами, лавобрекчиями базальтов, андезибазальтов с прослоями, линзами известково-глинистых и кремнистых алевролитов, туфов кислого состава, прорванными субвулканическими телами риолитов, риодацитов, гранит-порфиров, плагиогранит-порфиров. Данная площадь характеризуются развитием в ее пределах пунктов полиметаллической минерализации, интенсивных геофизических аномалий ВП, ЕП, ореолов суммарного геофизического критерия перспективности, геохимических аномалий, ореолов гидротермально измененных пород. Пройденной на юго-западном склоне г. Плющатая структурно-поисковой скважиной 26П вскрыта мощная зона метасоматически измененных пород (базальтов) с бедной колчеданной и полиметаллической минерализацией, ассоциируемая с подрудной частью рудоносной системы. Перспективность Плющатинской площади подтверждается также давно эмпирически установленной для Рудного Алтая приуроченностью месторождений к субширотным флексурообразным изгибам рудовмещающих отложений.

Проведение поисковых, а затем, при положительном их завершении, оценочных и разведочных работ на вышеназванных площадях может существенно увеличить МСБ меди, свинца и цинка с попутными золотом и серебром Змеиногорского рудного района, что актуально в настоящее время, поскольку в последнее десятилетие выработка запасов этих металлов в Алтайском крае идет быстрыми темпами и не компенсируется их приростом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Алтайская. Лист M-44-XI (Змеиногорск). Объяснительная записка / О. В. Мурзин [и др.]. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 174 с.

Мурзина Н. М. (murzina_nm@mail.ru)
АО «СНИИГГиМС», г. Новосибирск

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД ОКСИДНОГО ЖЕЛЕЗО-МЕДНОГО ТИПА УЛАНДРЫКСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

Приведена характеристика оксидных железо-медных руд Уландрыкского рудного поля, входящего в состав Уландрыкского уран-спекулярит-медно-вольфрамового рудного узла. Рудное поле приурочено к центральной части Аксайской вулканотектонической структуры (депрессии), выполненной образованиями аксайского трахиандезит-дацит-риолитового вулканического комплекса раннедевонского возраста. Железо-медное оруденение приурочено к зоне Уландрыкско-Аксайского разлома северо-западного простирания. Рудная минерализация по составу подразделяется на собственно гематитовые руды, медно-гематитовые, железисто-медные и более редкие медные.

Ключевые слова: Уландрыкское рудное поле, Аксайская вулканотектоническая структура, Уландрыкско-Аксайский разлом, оксидное железо-медное оруденение, халькопирит, пирит, делафоссит, халькозин, куприт, малахит, азурит, спекулярит.

Уландрыкское рудное поле расположено в пределах одноименного уран-спекулярит-медно-вольфрамового рудного узла. Рудный узел совмещает в себе различные типы оруденения меди, железа, серебра, полиметаллов, урана, вольфрама, марганца, флюорита. Он приурочен к крупной Аксайской вулканотектонической структуре (депрессии), выполненной образованиями аксайского трахиандезит-дацит-риолитового вулканического комплекса раннедевонского возраста. Покровная фация комплекса (аксайская свита) представлена розовато-серыми, красновато-бурыми, серыми флюидальными лавами и лавобрекчиями риолитов, трахириолитов, лавовыми и пирокластическими толщами. Экструзивные субвулканические и дайковые тела также имеют преимущественно кислый состав. В осевой части вулканотектонической структуры выходят на поверхность субвулканические тела комплекса, представленные высококалиевыми умеренно-щелочными микропегматитовыми лейкогранитами Уландрыкского массива.

Железо-медное оруденение Уландрыкского рудного поля приурочено к зоне Уландрыкско-Аксайского разлома северо-западного простирания. Оно локализовано в виде четырех сближенных (200–400 м между собой) параллельно расположенных зон брекчий шириной 60–100 м и длиной 1,4–6,0 км с кварц-гематитовым (спекуляритовым) матриксом, в целом составляющих полосу шириной до 1 км и длиной 6,6 км.

Вмещающими железо-медное оруденение Уландрыкского рудного поля являются тектонические брекчии, развитые по риолитам аксайской свиты и высококалиевым гранофировым микрогранитам субвулканической фации Уландрыкского массива. Вышеназванные породы претерпели гидротермально-метасоматические изменения: гематитизацию, окварцевание, серицитизацию, карбонатизацию, пиритизацию.

При изучении рудной минерализации Уландрыкского рудного поля, рудовмещающих метасоматитов установлены отличительные особенности, позволившие отнести руды Уландрыкского рудопроявления к оксидному железо-медному типу.

Рудная минерализация по составу подразделяется на следующие группы: собственно гематитовые руды, медно-гематитовые, железисто-медные и более редкие медные.

Содержание рудных минералов в рудных залежах колеблется в широких пределах. В рудных телах сложной неправильной и линзовидной формы рудная минерализация составляет от

15–20 до 60 % от объема вмещающей породы, в кварцевых жилах – 1–10 %, реже до 15 % от объема породы.

Рудовмещающими породами являются серицит-кварцевые, хлорит-серицит-кварцевые, халцедон-кварцевые, хлорит-серицит-кварц-карбонатные, карбонатно-кварцевые, хлорит-кварц-карбонатные метасоматиты, развитые по вулканогенным породам кислого состава. Имеются мелкие жилки и прожилки кварцевого, серицит-кварцевого, кварц-карбонатного, серицит-хлорит-карбонатно-кварцевого, хлорит-кварцевого, флюорит-кварцевого, флюоритового составов с переменным количеством окислов и сульфидов. Широко распространены рудные брекчии гематитового состава на кварцевом, карбонатно-кварцевом цементе.

Оруденение Уландрыкского рудного поля представляет собой зону окисления первичных железо-медных руд, которая прослеживается от поверхности до глубины порядка 250,0 м от земной поверхности. Ниже окисленные руды переходят в первичные. Вся зона гипергенеза находится в условиях криолитозоны, которая распространяется до глубины не менее 260 м.

Руды представляют собой окисленные медные, железо-медные и железные рудные залежи.

Первичные руды выявлены по скважинам, пройденным вдоль контакта лейкогранитов и кислых эффузивов аксайской свиты, и на юго-востоке в 1,5–2,0 км от Уландрыкского массива.

Первичные железные руды представлены штокверковым оруденением гематита (спекулярита) и слагают рудные брекчии по гранофирам, гранитам и эффузивам. Выделяются прожилковая гематитовая, кварц-гематитовая и гематит-кварцевая рудная минерализация.

Медно-железистые и железисто-медные руды установлены по скважинам и представлены вкрапленными, гнездово-вкрапленными, прожилково-вкрапленными разностями в тектонически проработанных зонах контакта микропегматитовых гранит-порфиров и вулканогенных пород аксайской свиты. Руды пирит-халькопиритового состава с гнездами малахита сопровождаются кварцевым штокверком.

Медная минерализация представлена мелкой вкрапленностью халькопирита в кварцевых жилах и в массе риолитов. Содержания халькопирита в первичных рудах достигает 5 %.

В зоне гипергенеза первичные руды постепенно переходят во вторичные оксидные железо-медные руды с вкрапленной, гнездово-прожилковой минерализацией окислов и гидроокислов железа, меди, реже карбонатов меди. Сульфиды меди и железа окислены практически нацело с образованием реликтовых останцов халькопирита, пирита.

Текстурные особенности руд разнообразны. Наблюдаются прожилковые, прожилково-вкрапленные, гнездово-вкрапленные и вкрапленные. Встречаются текстуры метаморфического преобразования, динамометаморфизма: дробления, брекчиевидные, катакластические. Среди вторичных текстур характерны текстуры замещения (прожилковые, петельчатые, колломорфные, корковые) и текстуры выщелачивания и дробления (каркасные, ячеистые, пористые, кавернозные).

Структуры минеральных агрегатов являются мелко-среднезернистыми, реже встречаются крупнозернистые. Широко распространены структуры кристаллизации из растворов, аллотриоморфнозернистые, гипидиоморфнозернистые, характерные для всех типов залежей рудопроявления. Структуры метасоматического замещения распространены и встречаются повсеместно. Для метаморфически преобразованных руд характерны бластозернистые структуры. Катакластические структуры встречаются довольно часто в рудах. Вторичные структуры замещения наблюдаются в зоне окисления, при выветривании минеральных агрегатов.

Минеральный состав руд Уландрыкского рудного поля является весьма сложным и разнообразным. Из первичных минералов в рудах преобладает гематит (спекулярит), в меньшей мере халькопирит, пирит. Гипергенными минералами являются гетит, делафоссит, халькозин, ковеллин, куприт, тенорит, малахит, азурит, хризоколла, гидрогематит, гидрогетит. Более редкими и менее распространенными являются борнит, дигенит, халькантит, брошантит, медь самородная, золото. Во вмещающих породах встречаются ильменит, магнетит, титаномагнетит, рутил.

Жильными минералами являются: кварц, халцедон, карбонаты (кальцит, доломит), серицит, гидросерицит, хлорит, флюорит, цеолиты. Нерудные минералы вмещающих пород и метасоматитов: кварц, серицит, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, мусковит, кальцит, доломит,

анкерит, гидрослюды, хлорит. В меньших количествах встречаются: альбит, каолинит, эпидот, актинолит.

Гематит является наиболее распространенным минералом руд Уландрыкского рудного поля. Встречается почти повсеместно, является сквозным минералом всех этапов минералообразования. Установлены три генерации гематита.

Пирит отмечается постоянно в переменных количествах, образует рассеянную вкрапленность мелких кристалликов, а также гнезда и прожилки, часто концентрируется вдоль трещин. Он образовывался в несколько стадий, представлен, предположительно, тремя генерациями.

Халькопирит является наиболее важным минералом первичных руд. Образует гнездовую вкрапленность, прожилки, встречается в сплошных плотных массах. Структуры тонко-мелкозернистые, аллотриоморфнозернистые. Обычно наблюдается в парагенезисе с пиритом. В зоне гипергенеза халькопирит быстро разрушается, окисляется вначале до халькозина. По халькозину развивается ковеллин. Халькозин в свою очередь может замещаться гетитом. В зоне вторичного обогащения сопровождаются купритом, теноритом и активно замещаются делафосситом.

Важнейшим минералом меди в зоне окисления руд Уландрыкского рудного поля является *делафоссит* ($CuFeO_2$), образующий порошковатые массы, корочки, сплошные, массивные агрегаты черного цвета. Минераграфическими исследованиями наблюдался в виде почковидных корочек, сферолитов, редко в виде таблитчатых, изометричных кристаллов.

Делафоссит является одним из основных минералов-концентраторов меди в окисленных рудах Уландрыкского рудного поля. Именно его высокие концентрации в рудных телах придают им черно-бурый цвет.

Проведенными работами установлено, что *оксидные железо-медные руды*, имеющие, как правило, коричневато-бурый, черно-бурый цвет, вскрываемые канавами и скважинами на Уландрыкском рудном поле, сложены агрегатом гетит-гидрогетита, делафоссита, тенорита, куприта, кварца, лимонита. Основным минералом меди в этих рудах является делафоссит ($CuFeO_2$). В меньшей степени в рудах присутствуют тенорит и куприт. Карбонаты меди – малахит, азурит, хризоколла распространены в незначительном количестве.

Мясников Ф. В. (z_fedor49@mail.ru)

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ И КУСТОВ ТРУБОК В МАЛО-БОТУОБИНСКОМ АЛМАЗОНОСНОМ РАЙОНЕ

Рассмотрена рудоконтролирующая роль области пересечения северо-восточных Ангаро-Вилюйских разломов (АВР, [1]) и северо-западной группы разломов, известных как Маганская сутура (Котуйканская; Розен) или разломы из Тектонической карты Арктики (ВСЕГЕИ, 2019), в качестве тектономагматической системы, контролирующей Мало-Ботуобинский алмазоносный район (МБАР). По материалам разномасштабных геолого-геофизических исследований показан ряд особых характеристик области пересечения северо-восточных АВР и северо-западных разломов, отвечающей положению МБАР. По результатам структурного разделения гравитационного поля на компоненты и изучения их пространственно-динамических параметров показана приуроченность кимберлитовых и среднепалеозойских базитовых трубок взрыва к местам пересечения субширотных и субмеридиональных тектонических нарушений, а также к нарушениям диагональной сети разломов. Узлы пересечения формируют тектонические структуры типа «битой тарелки». На основании выполненного анализа и с учетом роли разномасштабных сдвиговых дислокаций в размещении и локализации кимберлитов выделены четыре участка, перспективных на выявление в их пределах новых полей или кустов кимберлитовых трубок.

Ключевые слова: азимут, «битая тарелка», кимберлиты, разломы, сейсморазведка.

Работами ВНИГНИ на основе новой технологии региональной сейсморазведки 3D и имеющихся геолого-геофизических данных выполнено объемное моделирование Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (НБНГО) [6]. Технология моделирования апробирована и имеет ряд патентов. В пределах НБНГО выделены два сопряженных разлома северо-восточного простирания протяженностью до тысячи, возможно и более, километров. Южная ветвь системы СВ разломов проходит через Мирнинское кимберлитовое поле и совпадает с Ангаро-Вилюйским глубинным разломом Ангаро-Вилюйского рудного пояса [1, 6]. Разломы комплементарны линейным и нелинейным элементам гравитационного поля и его трансформантам.

Система СВ разломов в существенной степени определяет положение и условия формирования литолого-стратиграфических подразделений нижнетурнейского подъяруса нижнего карбона [2]. Наблюдаются пространственно-генетическое взаимодействие и обусловленность геологических процессов, которые и привели, в частности, к формированию ореолов алмазов и МСА в отложениях нижнего карбона [5]. Ореолы фактически выступают трассерами глубинных кимберлитоконтролирующих структур Ангаро-Вилюйской минерагенической зоны (АВМЗ), положение которой уточняет рассматриваемая система СВ разломов [1, 5, 6].

СВ разломы определяют пространственное положение и параметры остаточной мощности холомолохской свиты кембрия в области МБАР, положение и изменчивость мощности среднепалеозойской интрузии в составе чарской свиты кембрия по материалам нефтепоисковых скважин. Наблюдается соответствие положения и морфологии площади развития обратно намагниченных траппов катангского типа рассматриваемой структуре. Система СВ разломов приурочена к градиентам поверхности Мохо.

Таким образом, система сопряженных разломов СВ простирания входит в состав АВМЗ. Разломы имеют корово-мантийное заложение, архейский возраст и статус глубинных разломов (РГЭ, т. 1, стр. 422, 2010), которые контролируют структурно-формационные зоны, магматизм, типы осадконакопления и размещение полезных ископаемых. Положение и проявленность АВМЗ подтверждена работами Ботуобинской и Чернышевской экспедиций, а также исследованиями ЯНИГП и другими организациями.

Авторами статьи [6] СВ глубинные разломы на основании СВАН-РТН отнесены к классу экранирующих, которые определяли развитие седиментационных зон венда и кембрия и, в частности, рифовых объектов осинского горизонта. Сейсморазведочными детальными работами на Южно-Сюльдюкарском лицензионном участке в 2013–2015 гг. (2000 п. км профилей, 71 кратное МОГТ) подтверждено и положение северной ветви системы глубинных разломов, которая определяет положение Чоппо-Биетахской зоны разломов, развитие здесь рифовых построек осинского горизонта и приуроченность к ней куста среднепалеозойских базитовых трубок (Маар-Сиене, Ан. 28 и аномалия ПГУ-2 (выявленная по материалам аэрогеофизических съемок 2015 г. (БГРЭ)).

Мирнинское кимберлитовое поле и в целом МБАР находятся на пересечении АВМЗ с системой северо-западных разломов, которые входят в состав анабарид и выделялись в работах многих исследователей (Мокшанцев, Биланенко, Манаков и др.). Они известны также как известны также как Маганская (Котуйканская) сутура (Парфенов, Розен) или как региональные разломы из атласа "Тектоника Арктики" (ВСЕГЕИ) и т. д.

МБАР приурочен к стыку трех крупных блоков земной коры, отличающихся ориентировкой, внутренней структурой, историей развития. МБАР маркируется субширотно ориентированными цепочками базитовых трубок взрыва, тяготеющими соответственно к субширотным градиентным зонам гравитационного поля и его пониженному уровню, обусловленному не только вещественным составом пород фундамента, но и их реологическими свойствами. Последнее подтверждается результатами геолого-геофизических работ по МБАР, например данными ГСЗ (Суворов, Мельник, Караев, Биезайс, Рудницкая и т. д.), которые указывают на интенсивную деструкцию коры, подъем кровли инверсионного этажа и другие аномальные проявления физических полей по отношению к смежным участкам территории.

Средства графического редактора Surfer позволяют достаточно адекватно отобразить тонкую структуру первой компоненты гравитационного поля, которая наиболее отчетливо характеризует структурно-тектоническое строение верхней части кристаллического фундамента и

поведение его поверхности, например, изменчивость пространственного положения азимута падения гравитационного поля по сети 1 × 1 км. Границы цветовых сегментов фиксируют положение осей положительных или отрицательных аномалий, их пространственную изменчивость и взаимообусловленность. В пределах Мирнинского поля наблюдается высокая изменчивость поля силы тяжести или его сингулярность. Здесь по геологическим данным достаточно ясно проявляется тектоническая структура «битой тарелки», которая и генерирует изменчивость динамических и пространственных характеристик физических полей, в том числе гравитационного. При этом в наблюдаемых полях эти свойства или слабо проявлены, или даже не фиксируются без специальных приемов обработки данных. С учетом таких особенностей гравитационного поля и имеющихся по МБАР геолого-геофизических данных выделены перспективные на кимберлитовые поля или кусты трубок участки первой и второй очереди. Первой очереди: на северо-западе участок Маар-Сиене и второй южнее, в верховьях ручьев Кюельлях (южный)-Тюсемел. Второй очереди: на севере – один известен как Бестяхский участок; второй находится на юге МБАР, восточнее перспективной, по работе [4], Верхнемурбайской площади, в междуречье ручьев Оччугуй-Ботуобия и Оччугуй-Мурбай.

Остановимся на дополнительном обосновании участка Маар-Сиене (между ручьями Маар-Сиене и Чолпо) в пределах Чернышевско-Лапчанской площади (ЧЛП). Здесь, включая участок Курунг-Юрях, Левобережный и др., ГРР велись силами БГРЭ (ВГРЭ) и ЧГРЭ более полувека. В публикации журнала РМ [3] на основании обработки всех шлихоминералогических данных, полученных ЧГРЭ, был рекомендован к доопоискованию участок восточнее туфовой трубки Маар-Сиене (профили 71–75 и магистрали 31–35).

В пределах ЧЛП, в том числе на участке Маар-Сиене, силами БГРЭ (ВГРЭ) в 2014–2018 гг. проведены поисковые работы. Пройдены скважины и в южной части перспективного участка [3]. В 27 скважинах выявлены пиропы нулевого, первого и второго класса сохранности. В семи скважинах установлены пиропы без износа. В 2015 г. на участке Маар-Сиене проведены комплексные аэрогеофизические работы (станции Экватор, VTEM), выделены и заверены бурением три ПГУ, одна оказалась среднепалеозойской базитовой трубкой. Осталась неизученной одна комплексная и перспективная, с учетом ее структурно-формационного положения, крупная аномалия (34,4/75,2). Результаты работ ВГРЭ в совокупности с прогнозными построениями [3] указывают на необходимость уточнения контура перспективного участка и его доопоискования (профили 73–76, магистрали 32–36). Притом в пределах уточненной площади участка (12 км^2) пройдены 8–10 скважин, тогда как плотность бурения на сопредельных участках в 5–10 раз выше. Отметим также, что по материалам изучения временного мигрированного разреза по профилю 140184 (отчет АО «Якутскгеофизика» по ЮСЛУ, 2015 г., инв. 536512 Росгеолфонда; работы МОГТ, 71 кратность и т. д. – работы не ориентированы на выявление кимберлитовых трубок), в области пересечения профилем аэрогеофизической аномалии (пк 26000-27000) в верхней части разреза до горизонта «А» отмечается повышенный уровень волн-помех и общая хаотизация волнового поля; по горизонту «КВ» фиксируется флексурообразный прогиб, что согласуется с оценкой перспективности данной комплексной аэрогеофизической аномалии на выявление кимберлитовой трубки.

Перспективы других участков также обоснованы имеющимися материалами по результатам геологоразведочных и научно-исследовательских работ и здесь не приводятся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ангаро-Вилюйский рудный пояс Сибирской платформы / Одинцов М. М., Домышев В. Г., Страхов Л. Г. [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1980. – 109 с.
2. Матухин Р. Г. Девон и нижний карбон Сибирской платформы. – Новосибирск : СО Наука, 1991. – 164 с.
3. Мясникова З. А., Мясников Ф. В. Коренные источники алмазов верхнепалеозойских отложений Чернышевско-Лапчанской площади Мало-Ботуобинского алмазоносного района // Руды и металлы. – 2017. – № 3. – С. 27–42.
4. Проценко Е. В., Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. – 2018. – №4. – С. 14–23.

5. Салтыков О. Г., Эринчек Ю. М. Среднепалеозойские кимберлиты юга Сибирской платформы. Минералого-палеогеографические предпосылки. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2002. – 48 с.
6. Фортунатова Н. К., Мушин И. А., Швец-Тэнэта-Гурий А. Г., Ермолова Т. Е., Копилевич Е. А., Ларкин В. Н., Липилин А. В., Белоусов Г. А., Городков А. Б., Фролов Б. К. Выявление и локализация нефтегазоперспективных объектов на основе новой технологии региональной сейсморазведки 3D // Геология нефти и газа. – 2013. – Спецвыпуск.

Некипелая С. А. (svetl_nekipelaja@mai.ru), Родченко С. А.
Независимые исследователи, г. Новокузнецк

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ШЛИХОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ОПРОБОВАНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗИСА

Рассматривается авторская методика обработки результатов минералогического анализа шлихов, полученных при опробовании гидротермально-метасоматических и рудных образований. В настоящее время анализ подобной информации целесообразно адаптировать к особенностям поисковых объектов, сочетая традиционные методические приемы со специфическими разработками, позволяющими выявить и отобразить закономерности локализации полезного ископаемого. На примере обобщения и анализа результатов минералогического анализа изучались тенденции распределения сульфидных минералов, полезных для целей прогноза золотооруденения.

Ключевые слова: минерализованные зоны, золотооруденение, руды, оруденелые породы, минералогический анализ, тип минеральной ассоциации, сульфиды, модель, минералы.

1. В процессе проведения поисковых работ на объекте Мурзинского золоторудного узла, Чарышского золотоносного района Северо-Алтайского золотоносного пояса (Алтайский край) выполнены исследования минералогического состава руд и оруденелых пород. Для решения этой задачи были отобраны и проанализированы 220 проб-протолочек. Минералогический анализ выполнен в Лаборатории АО «Сибирское ПГО». Для десяти шлихов выполнен полный минералогический анализ, для остальных – сокращенный. При сокращенном анализе характеристика тяжелой фракции предусматривала только изучение сульфидов и продуктов их окисления. В том и другом случае приведена информация о количестве установленных компонентов, их минералогических параметрах и свойствах. Для тех шлихов, где в составе тяжелой фракции установлены значимые количества сульфидов, даны подробные описания их кристалломорфических особенностей, размеров, взаимоотношений с ассоциирующими минералами. Аналогичные характеристики определялись и для золота.

2. Обработка и интерпретация полученных результатов осуществлялась по двум направлениям.

Во-первых, выполнялась систематизация и анализ материала в табличной форме с целью выявления главных тенденций распределения минералов исходя из геологических особенностей пород без учета пространственных параметров.

Во-вторых, проводилось картографирование минералогических признаков в пространстве с привязкой к пройденным выработкам и скважинам. Средствами ArcMap (v.10.4) была составлена карта распределения типов ассоциаций сульфидов, как вероятных поисковых признаков на золото. Можно наблюдать следующую иерархию распределения ассоциаций: проба – горная выработка, скважина – участок – площадь в целом.

3. Тип ассоциации в каждой пробе-протолочке определялся исходя из анализа веса сульфидов и их окислов в тяжелой фракции шлиха. В процессе схематизации и систематизации установленной совокупности типов ассоциаций определились пять их базовых типов. Формула типа минеральной ассоциации была составлена с учетом увеличения количества сульфидов либо их окислов. Это пиритовая, галенитовая, сфалеритовая, халькопиритовая, непроявленная

ассоциации (рисунок); при этом окислы учитывались в составе ассоциации окисленного минерала. Непроявленная ассоциация диагностировалась в пробе, где сульфиды не были установлены в весовых количествах и присутствуют в виде единичных зерен. Наличие золота в шлихе отражается символом «З».

4. На основе пяти базовых типов ассоциаций для описания всего возможного их множества была сформирована графическая модель в системе координат «пиритовая – халькопиритовая – галенитовая – сфалеритовая». Модель создана в виде правильной треугольной пирамиды с равными гранями – правильного тетраэдра. В вершинах тетраэдра располагается каждый из четырех типов, где доминирующий минерал составляет 100 %. При этом положение фигуративной точки каждой установленной ассоциации в пространстве тетраэдра определяется, исходя из количества составляющих ее минералов (рисунок).

5. Закраска символа минеральной ассоциации осуществлялась с учетом предложенной модели путем смешения цветов. Для галенитовой предложен синий цвет, халькопиритовой – зеленый, пиритовой – желтый, сфалеритовой – сиреневый. Неопределенная ассоциация окрашена в серый цвет. Вторичные минералы, образованные в процессе выветривания, отнесены к вершинам материнских сульфидов, результатом окисления которых они являются, но цвет их символа отличается от такового первичного минерала. Наличие золота в каждой ассоциации на созданной модели (и соответственно на карте) отражено в виде красного контура вокруг соответствующего знака типа ассоциации.

6. Формула ассоциации на карте представлена в виде дроби, где в числителе прописными буквами обозначены доминирующие сульфидные минералы, строчными – символы тех сульфидов, которые в пробе-протолочке установлены в единичных зернах (см. рисунок). В таком виде данная формула позволяет показать все сульфиды шлиха пробы полно и в сжатом виде. Использование данного методического приема делает возможным свернуть многомерную информацию о сульфидах, представленную одиннадцатью переменными в виде единого символа.

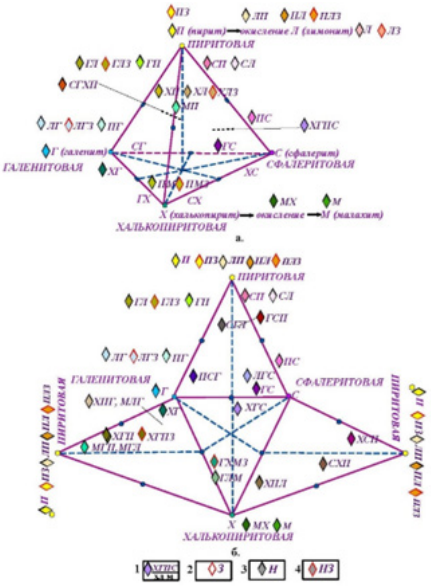


Рис. 1. Графическая модель, предназначенная для выделения типов ассоциаций сульфидных минералов и их окислов по данным минералогического анализа (а – 3D-проекция; б – развертка):

1 – типы ассоциаций: а – монокомпонентные (П – пиритовая и другие), б – поликомпонентные (СГ – сфалерит-галененитовая и другие), в – минералы: п – пирит, х – халькопирит, с – сфалерит, г – галенит, м – малахит, л – лимонит, хл –халькозин (в числителе приведены минералы, установленные в пробе-протолочке в весовых количествах, в знаменателе – отмеченные в единичных зернах либо десятках зерен); 2 – ассоциация рудных минералов с золотом (единичные зерна, редко десятки зерен); 3 – непроявленная ассоциация (в пробе-протолочке установлены только единичные зерна рудных минералов); 4 – непроявленная ассоциация с золотом (единичные зерна)

7. Типизация сульфидных парагенезисов является основой для картирования продуктивных ассоциаций золота разных стадий рудоотложения.

8. Материалы обработки результатов минералогического анализа представлены на карте распределения типов ассоциаций сульфидов в пределах изученной площади. Вся совокупность выявленных в выработках и скважинах ассоциаций выступает в качестве наглядной иллюстрации особенностей рудоотложения. На этой основе можно сделать разнообразные выводы о тенденциях изменения минералогического состава конкретной породы, совокупности оруденелых пород и руд, геологических процессов, рудоносных структур любого ранга, участка либо площади в целом. Очень четко проявляются элементы зональности рудоотложения и перемещение фрагментов рудных тел вдоль тектонических структур.

Наблюдаемые особенности распределения минералов сульфидной ассоциации и золота, установленные по результатам минералогического анализа, уточняют прогнозную оценку и перспективы отдельных участков изученной площади.

Исследования выполнены за финансовые средства недропользователя – ООО «Артель старателей «Поиск».

Некипелая С. А. (svetl_nekipelaja@mai.ru)
Независимый исследователь, г. Новокузнецк,

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ЗОЛОТООРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ОБЪЕКТА

Рассматриваются результаты комплексного изучения фрагмента Мурзинского золоторудного узла (Алтайский край). Соблюдение требований и обязательств по рентабельности геолого-разведочных работ зачастую является причиной того, что оптимальный комплекс геолого-поисковых исследований не выполняется в необходимо-достаточном объеме. В публикации показана целесообразность традиционного геологического подхода для повышения эффективности прогноза золотооруденения.

Ключевые слова: Мурзинский золоторудный узел, комплексное изучение, минерализованные зоны, золотооруденение, геологические, петрографические, геохимические, минераграфические, минералогические исследования.

В период с 2020 по 2023 гг. ОСП «Запсибгеолсъемка» АО «Сибирское ПГО» (АО «РОСГЕО») проводило оценочные работы в юго-восточной части Мурзинского золоторудного узла Чарышского золотоносного района Северо-Алтайского золотоносного пояса в рамках договора подряда с ООО «Артель старателей «Поиск».

В процессе проведения оценочных работ на участке, являющемся фрагментом указанной выше структуры, выполнен широкий комплекс геологоразведочных работ, в том числе полевых (геологические маршруты, магнитная съемка, литохимическое опробование по первичным и вторичным ореолам, шурфы и канавы ручной проходки, канавы механической проходки, бурение картировочных и поисковых скважин глубиной до 200 м, комплекс ГИС), лабораторные исследования, камеральная обработка материалов. По результатам работ скорректированы юго-восточные границы Мурзинского золоторудного узла, выделены перспективные площади, получены выводы о характере зональности данной рудоносной структуры, установлены закономерности локализации известных и прогнозируемых рудных объектов, выделены и прослежены рудоносные структуры и рудные тела как на поверхности, так и по вертикали. Полученные сведения явились основой для подсчета прогнозных ресурсов категории P_1.

По результатам проведенных исследований установлены основные составляющие геолого-поисковой ситуации как целом по площади, так и на наиболее перспективных участках. Закономерности локализации золотооруденения определены при комплексном анализе всего полученного материала – как в результате картирования рудолокализующих и рудоносных

геологических образований Мурзинского золоторудного узла, так и при всестороннем изучении вещества пород и руд выявленных рудных объектов.

1. Большая часть площади находится в надынтрузивной части крупного плутона гранитоидов усть-беловского золотоносного комплекса позднего девона, кровля которого располагается на глубине 500 м. Ассоциацию усть-беловского комплекса можно отнести к типичным проявлениям диорит-гранодиоритовой формации вулкано-плутонических поясов активных континентальных окраин [2]. На участке работ выходят на поверхность отдельные апофизы Усть-Беловского массива в форме штокообразных и линейных тел площадью до первых квадратных километров. Массив прорывает терригенные флишоидные кембро-ордовикские образования, а также карбонатно-терригенные ордовик-силурийские комплексы шельфовых и рифовых фаций. Вмещающие породы изменены контактово-метасоматическими процессами – ороговикованием, серицитизацией, пропилитизацией.

2. Становление плутонического массива сопровождалось метасоматическими и гидротермальными процессами, в результате которых были сформированы золотоносные минерализованные зоны, контролируемые разрывными нарушениями. Золотоносные образования локализуются преимущественно в экзоконтактовых частях диоритоидных штоков. Их размещение и максимум золотой минерализации контролируются разрывными нарушениями северо-восточного простирания. В ядерных частях минерализованных золотоносных зон находятся стволовые кварцевые жилы мощностью до 5–6 м, а также сближенные серии мелких кварц-карбонатных жил или зоны мелкопрожилкового окварцевания и карбонатизации. Жильные зоны сопровождаются линейными ареалами преимущественно серицитизированных и березитизированных пород мощностью до 50–60 м. По степени прогнозируемой рудоносности минерализованных зон выделены два перспективных участка – Землянушинский и Рудничный. В границах первого участка установлена одна зона, второго – три. По данным атомно-абсорбционного и пробирного анализов в границах выявленных зон выделены рудные тела, для которых оценены прогнозные ресурсы категории P_1.

3. Значительная часть прогнозных построений на поисковой площади проведена на основании большого объема лабораторных исследований.

Петрографические исследования прозрачных шлифов, выполненные петрографами АО «Сибирское ПГО» на микроскопах Axioscop 1 и Axioscope 5, позволили понять главные петрогенетические особенности гидротермально-метасоматических процессов, выявленных в минерализованных зонах. Была изучена вся гамма изменения минеральных ассоциаций по мере удаления от слабозолотоносных вмещающих пород к наиболее обогащенным золотом частям рудоносных структур. В результате преобразования высокоглиноземистых глинисто-карбонатных пород сформировались различные локальные метасоматиты и гидротермалиты. Классифицирование гидротермально-метасоматических образований осуществлялось по методике ВСЕГЕИ [1] и сводилось к выделению в шлифах доминирующих ассоциаций минералов. Исходя из состава ассоциаций при последующей интерпретации выделены вероятные типы метасоматитов и гидротермалитов. В составе метасоматитов установлены пропилиты, узловатые сланцы (адинолы), серицитовые метасоматиты, серецитовые березиты, кварцевые метасоматиты. Среди гидротермалитов отмечаются кварцевые, кварц-карбонатные, карбонатные, кварц-эпидот-карбонатные жильные образования. Пропилиты и узловатые сланцы имеют фоновые концентрации золота, в то время как для серицитовых метасоматитов, березитов и гидротермалитов характерны аномальные содержания, значения которых приближены к рудным параметрам

4. Геохимические исследования геологических образований минерализованных зон оказали неоценимую помощь при оценке перспектив выявленных золоторудных структур.

Во-первых, определены геохимические критерии прогнозирования рудоносных зон, подзон и непосредственно рудных тел. Поскольку мощность рудногеохимических ореолов золота составляет около 10 метров, набор его спутников очень важен для оконтуривания всех структурных элементов минерализованных зон. Так, в ассоциации с первичными ореолами Au, отражающими минерализованные зоны и подзоны, наблюдаются геохимические аномалии Ba, As, Cu, Pb, Zn средней и высокой степени концентрации, а с золоторудными телами – Ag, As,

Cu, Bi, Pb, Sb, Zn, содержания которых отвечают рудногеохимическому и минерагеническому статусу.

Во-вторых, для Рудничного участка в вертикальном разрезе всех трех минерализованных зон установлены признаки вертикальной геохимической зональности. Наблюдаемый интервал оруденения соответствует верхнему срезу среднетемпературной – нижнему срезу низкотемпературной части рудоносной гидротермально-метасоматической колонны.

В-третьих, в связи со сбросовыми тектоническими движениями выявлено закономерное смещение оруденелых блоков установленной рудоносной структуры по вертикали. Низкотемпературная ее часть представлена в западной минерализованной зоне Рудничного участка, средне-низкотемпературная – в центральной, среднетемпературная – в восточной. При этом каждая структура имеет индикаторные признаки. Для западной зоны установлен комплексный ореол Au, Ag, As, Sb, центральной – Au, Ag, Pb, Cu, Zn, восточной – Au, Ag, Zn, Bi, W.

5. Полученная в процессе изучения аншлифов информация в значительной степени дополняет представления о минеральном составе руд и многих особенностях золоторудного процесса. Так, в наборе установленных в аншлифах рудных минералов представлены пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды, золото, серебро, пирротин, малахит, азурит, халькозин, ковеллин, церуссит-англезитовый агрегат, магнетит и различные окислы железа. На основе исследований структур и текстур руд, распространенности минералов, взаимоотношений между ними получены выводы об основных этапах и стадиях минералообразования руд и оруденелых пород. Проведенный геологический, петрографический, минераграфический анализ оруденелых пород и руд предполагает три этапа минералообразования. Первый этап минералообразования – гидротермально-метасоматический (две стадии), второй – гидротермальный (три стадии), третий – гипергенный (происходит переотложение золота и минералов-спутников). Установленные закономерности дают ключевое представление о формационном типе продуктивного среза золоторудного объекта и его перспективах.

6. В процессе изучения золоторудной минерализации были отобраны пробы на минералогический анализ, который выполнен как в полном (для части проб), так и сокращенном варианте. Была составлена карта распространения ассоциаций сульфидных минералов, позволяющая увидеть тенденции их распределения по площади и по профилю скважин. Эта карта позволила проследить корреляцию между геохимическими, минераграфическими и минералогическими данными. Минералогия протолочек, характеризуя компонентный состав сульфидной фракции, подтвердила вертикальную зональность рудного объекта, смещение минерализованных зон по вертикали, различие в рудах для каждой структуры, а следовательно, их индивидуальную перспективность.

Таким образом, комплексирование основных методов геологических исследований позволило глубже понять особенности золоторудного процесса на охарактеризованном объекте опоискования, повысить достоверность прогноза и оценки его перспектив.

Исследования выполнены за финансовые средства недропользователя – ООО «Артель старателей «Поиск».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Г. М., Плющев Е. В., Ушаков Е. П. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. – Ленинград : Недра, 1981. – 262 с.
2. Гусев А. И., Гусев Н. И. Магматизм и оруденение Чарышского района Алтайского края. – Бийск : АГГПУ им. В.М. Шукшина, 2018. – 260 с.

Некрасов А. В. (NekrasovAV@rusgeology.ru), Котов Д. А. (KotovDA@rusgeology.ru), Дмитриева Е. А. (DmitrievaEA@rusgeology.ru)
ООО «РГ Консалтинг», г. Москва

ОПЫТ РАБОТЫ ООО «РГ КОНСАЛТИНГ» ПО ОЦЕНОЧНЫМ ОБЪЕКТАМ ГОСУДАРСТВЕННЫХ КОНТРАКТОВ

ООО «РГ Консалтинг» участвует в крупных государственных проектах, таких как «Геология – возрождение легенды», выполняя технико-экономическое обоснование кондиций и подсчет запасов месторождений, а также геолого-экономическую оценку объектов с прогнозными ресурсами.

Ключевые слова: горно-геологический консалтинг, геологический аудит, «Геология – возрождение легенды», технико-экономические обоснования временных разведочных кондиций, подсчет запасов, оценка прогнозных ресурсов.

ООО «РГ Консалтинг» организована в 2020 г. как специализированная компания для оказания комплексных горно-геологических консалтинговых услуг в холдинге «Росгеология», а также недропользователям. Сотрудники ООО «РГ Консалтинг» являются членами профессиональных ассоциаций: Общество экспертов России по недропользованию (ОЭРН, Россия), Евразийский союз экспертов по недропользованию (ЕСОЭН, Россия, СНГ, Европа), Общественное объединение «Профессиональное объединение независимых экспертов недр» (ПОНЭН, Республика Казахстан), Australian Institute of Geoscientists (AIG, Австралия), а также внештатными экспертами государственной комиссии по запасам (ФБУ «ГКЗ»).

В рамках горно-геологических консалтинговых услуг ООО «РГ Консалтинг» выполняет полный комплекс работ на ТПИ, таких как: сопровождение горно-геологических и геофизических работ, бурение, анализ рынков недропользования, подсчет запасов, геологическая и экономическая оценка объектов, геологический аудит, контроль качества геологоразведочных работ, QA/QC, аудит запасов и ресурсов, проверка лицензий, оценка / подтверждение запасов, анализ рисков. На текущий момент успешно реализованы десятки проектов как для коммерческих, так и для государственных заказчиков.

В частности, ООО «РГ Консалтинг» принимало участие в реализации Фронтальной стратегии «Геология – возрождение легенды». По оценочным проектам, таким как Шамейская площадь (золото рудное), Ивановская площадь (свинец, цинк, золото, серебро), Воздвиженская площадь (свинец, цинк, золото, серебро), рудопроявление Пинкельявр (железо) и Южно-Подольская (медь, цинк, золото) ООО «РГ Консалтинг» выполняло работы по разработке технико-экономического обоснования временных разведочных кондиций с подсчетом запасов. По поисковым проектам ООО «РГ Консалтинг» были выполнены работы по геолого-экономической оценке прогнозных ресурсов.

Еще до реализации проекта «Геология – возрождение легенды» ООО «РГ Консалтинг» выполнены работы по технико-экономическому обоснованию временных разведочных кондиций с подсчетом запасов месторождений им. Б. К. Михайлова, Орогочи и др., а также по геолого-экономической оценке выявленных в ходе поисковых работ прогнозных ресурсов по объектам государственного заказа АО «Росгео».

В процессе выполнения работ практически по всем государственным контрактам ООО «РГ Консалтинг» отмечает особенности проведения работ, связанные с непростой организацией и сжатыми сроками, отпущенными на выполнение отдельных видов работ.

ООО «РГ Консалтинг», фактически завершая (в рамках перечня геологических задач) работы по всем государственным контрактам, ограничено (согласно Календарного плана) по сроку предоставления материалов технико-экономического обоснования временных разведочных кондиций с подсчетом запасов на государственную экспертизу. Таким образом, фактический срок выполнения работ порой сжимается до 4-х и даже 3-х месяцев, что вынуждает выполнять проработки технических решений ТЭО несколько раз на неполных геологоразведочных данных.

Несмотря на реально существующие сложности по реализации Государственных контрактов, специалисты ООО «РГ Консалтинг» выполнили все взятые обязательства по подготовке и утверждению временных разведочных кондиций и постановке на баланс полезных ископаемых по каждому из объектов.

Нехорошев Н. Н. (nnekhoroshev@rfgf.ru), Попова А. А. (apopova@rfgf.ru)
ФГБУ «Российский федеральный геологический фонд», г. Москва

ЕДИНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РОСНЕДР. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Рассмотрены современные технологии визуализации данных, применяемые в недропользовании. Обоснована необходимость интеграции инновационных методов визуализации в процессы анализа геологических данных. Проанализированы перспективы использования интерактивных карт и графиков, а также предложены новые решения для повышения эффективности обработки и представления информации.

Ключевые слова: анализ данных, инструменты визуализации данных, единая аналитическая платформа.

С увеличением объемов данных и появлением автоматизированных систем их обработки традиционные методы представления информации оказываются недостаточно эффективны для контроля и мониторинга соответствующих процессов, а также принятия оперативных управленческих решений. В связи с этим, спрос на визуализацию данных, играющую ключевую роль в процессах анализа, устойчиво растет, в том числе и в сфере недропользования, где визуальное представление информации дает возможность мгновенного преобразования больших наборов данных в наглядные и интуитивно понятные формы. Это облегчает их восприятие и способствует улучшению пользовательского опыта.

Одним из наиболее удачных решений в вопросе визуализации данных, удовлетворяющих перечисленные потребности, являются дашборды, нацеленные на решение управленческих задач на основании данных. Ключевыми характеристиками дашбордов являются их наглядность и динамичность. Набор дашбордов может быть действенным инструментом анализа данных не только одного направления, но и целой сферы недропользования. В связи с этим специалистами федерального государственного бюджетного учреждения «Российский федеральный геологический фонд» была разработана и внедрена единая аналитическая платформа информационных систем Роснедр [1] (далее – аналитическая платформа), представляющая из себя комплекс дашбордов, сгруппированных по тематическим разделам.

На сегодняшний день аналитическая платформа представляет собой эффективную систему комплексного анализа данных федеральных государственных информационных систем (ФГИС) «АСЛН», «ЕФГИ», Государственного баланса запасов полезных ископаемых, Единого государственного реестра юридических лиц, электронного ресурса torgi.gov.ru и других источников данных. Регламентированный доступ к аналитической платформе имеют Федеральное агентство по недропользованию, его подведомственные учреждения и иные уполномоченные органы государственной власти. Также в рамках договорных отношений пользователям недр предоставляются доступы к дашбордам по их лицензиям и по общедоступной информации по лицензированию в удобном виде для анализа и принятия управленческих решений.

Кроме того, на сайте ФГБУ «Росгеолфонд» в разделе информационных ресурсов и систем [3] представлены ссылки на общедоступные дашборды:

- Государственный реестр работ по геологическому изучению недр – https://rfgf.ru/ReestrGin.
- Государственный реестр участков недр, предоставленных в пользование, и лицензий на пользование недрами – https://rfgf.ru/ReestrLic.

• Реестр заключений государственной экспертизы запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр – https://rfgf.ru/ReestrGkz.

• Реестр протоколов согласования технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых – https://rfgf.ru/ReestrTechPr.

• Архив электронных изданий выпусков Государственного баланса запасов полезных ископаемых – https://rfgf.ru/bal.

Анализ статистики посещаемости аналитической платформы демонстрирует постоянный рост посещений. В настоящее время платформу ежедневно посещают сотни уникальных посетителей, а общее количество просмотров дашбордов достигает нескольких тысяч в сутки, что свидетельствует о высокой востребованности и эффективности аналитической платформы.

Широкие возможности визуализации включают в себя как простые методы представления данных (графики, гистограммы, линейчатые и круговые диаграммы и др.), так и более сложные, разработанные под специфические нужды пользователя.

В настоящее время платформа содержит более 10 разделов, включающих в себя данные по нескольким направлениям:

Запасы и добыча полезных ископаемых. Помимо данных государственного баланса запасов полезных ископаемых, в разделе также публикуется информация, представленная в сборниках сводных материалов о запасах общераспространенных полезных ископаемых Российской Федерации и объектах их учета. Особенностью данного раздела является возможность получения предварительных данных по балансам еще до их публикации в архиве, а также возможность просмотра динамики изменения запасов и добычи за последние 10 лет.

Реестр лицензий. В разделе публикуется статистическая информация о лицензиях и изменениях к ним.

Лицензирование недропользования. В разделе опубликована основная информация о представлении недропользователями через личный кабинет недропользователя ежегодной и ежеквартальной отчетности.

Также в разделе представлены сведения о выполнении геологоразведочных работ, основанные на данных форм статистической отчетности № 2-ГР и 7-ГР, данные по заявкам на предоставление права пользования недрами, внесение изменений в лицензии и досрочное прекращение лицензий, а также по заявкам на согласование проектов разработки месторождений полезных ископаемых и на государственную экспертизу запасов полезных ископаемых и подземных вод.

Сегодня особенно актуальна задача внедрения дашбордов и их отдельных частей (виджетов) в структуру порталов. Так, например, на главной странице сайта Роснедр rosnedra.gov.ru представлен виджет, отображающий данные по массиву действующих лицензий на пользование недрами по группам полезных ископаемых.

На аналитической платформе также реализуются регламентированные отчеты различной сложности в формате Excel. В зависимости от решаемой задачи данные, попадающие в регламентированный отчет, могут представлять собой как отдельный массив данных, так и отражение информации, содержащейся на дашборде. Способы формирования регламентированного отчета могут быть различными – в зависимости от запроса конечного пользователя. В настоящее время поддерживается как возможность интеграции отчетов непосредственно в структуру дашборда, так и возможность получения отчетов с использованием почтовых сервисов по заданному расписанию.

С 2024 г. доступ к аналитической платформе осуществляется посредством технологии SSO (single sign-on), которая использует инструменты единой системы идентификации и аутентификации (ЕСИА) для авторизации пользователя в системе.

В 2025 г. внедрен дашборд со статистической информацией по основным разделам ФГИС «АСЛН». По каждому показателю непосредственно на дашборде можно получить подробную информацию по алгоритму его расчета, а также перейти к связанному дашборду с более детализированной информацией.

Разграничение доступов пользователей внутри аналитической платформы происходит на основе ролевой модели, позволяющей ограничить доступ пользователей определенными дашбордами и определенными данными на этих дашбордах.

Перспективы развития. Существует несколько ключевых направлений развития аналитической платформы.

Персонализированные рассылки. На сегодняшний день реализованы персонализированные рассылки по электронной почте по определенным событиям, произошедшим во ФГИС «АСЛН». Также разработан и внедрен публичный Telegram-канал (https://t.me/NedraAuctions), где в автоматическом режиме представляется информация об опубликованных аукционах по данным сайта torgi.gov.ru. В дальнейшем также планируется развитие персонализированных рассылок пользователям в Telegram и по электронной почте, а также создание Telegram-каналов, базирующихся на принципах проактивного подхода с обеспечением более эффективного взаимодействия с целевой аудиторией.

Развитие технологий визуализации данных. С развитием информационных систем Роснедр потребность в анализе различных массивов данных неуклонно растет, поэтому одним из главных векторов развития на сегодняшний день является расширение методов анализа и возможностей визуализации данных. Так, например, под один из последних запросов пользователей был введен новый метод представления информации в виде карточки объекта, обеспечивающий переход к детализированным данным. В контексте анализа данных возможность детального изучения информации может сыграть ключевую роль в обеспечении прозрачности данных, что является одним из ключевых факторов для принятия обоснованных управленческих решений.

В качестве примера детализированных данных может выступать карточка лицензии, содержащая в себе сводные данные по лицензии в табличном виде. Помимо основных характеристик лицензии, в карточке также отображаются данные по связанным участкам недр на карте, представлен перечень документов из паспорта лицензии ФГИС «АСЛН» в табличном виде, а также приведены краткие данные по представленной отчетности с возможностью детализации. В ближайшее время планируется включить в карточку лицензии всю связанную с лицензией информацию, содержащуюся в ФГИС Роснедр.

Нормативное закрепление показателей и методик расчета. Одним из главных принципов обработки данных является понятность полученной информации для конечного пользователя. На сегодняшний день подавляющая часть дашбордов, опубликованных на аналитической платформе, содержит подробное описание алгоритмов формирования показателей, включенных в структуру дашборда. Такой подход не только повышает качество информации, но и помогает пользователям принимать взвешенные решения на основе полученных данных. В будущем необходимо зафиксировать методики расчета ключевых показателей в локальных нормативных актах Роснедр или Росгеолфонда.

Интеграция с картографическим представлением данных. Хороплеты – один из наиболее удачных видов представления данных, распределенных по географическим областям или регионам. На их основе можно максимально быстро дать оценку интенсивности какого-либо показателя в пространственных границах. Сегодня ведется активное внедрение карт-хороплетов в текущие и разрабатываемые дашборды. Так, например, была реализована возможность представления показателей на картах для дашборда по заявкам на согласование проектов разработки месторождений полезных ископаемых на ТПИ.

В будущем планируется продолжать внедрять в дашборды картографическое представление данных по выделенной записи – аналогично тому, как это сделано, например, в карточке объекта в Государственном реестре участков недр и лицензий. Также в ближайшее время планируется реализовать механизм формирования картографических выборок на основе фильтров, установленных на дашборде. Например, несколькими кликами мыши можно будет получить карту со всеми лицензиями, зарегистрированными в текущем году по определенной территории и определенным полезным ископаемым.

Заключение. На сегодняшний день аналитическая платформа является мощным инструментом, решающим основные задачи аналитики и представления больших объемов информа-

ции для принятия управленческих решений, основанных на объективных данных. Кроме того, в ходе исследования были рассмотрены современные подходы к визуализации данных, которые значительно превосходят традиционные методы представления информации. Интеграция различных форматов отчетности, а также непрерывное развитие технологий визуализации данных способствует повышению уровня доступности больших массивов информации, о чем свидетельствует стабильный рост посещаемости аналитической платформы.

Одновременно с этим увеличение популярности платформы ставит перед нами задачи её дальнейшего развития. В дальнейшем успешное решение этих задач будет способствовать укреплению позиций аналитической платформы как ведущего инструмента для анализа данных в сфере недропользования, что обеспечит пользователям эффективную поддержку управленческих процессов, оптимизацию ресурсов и достижение поставленных целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единая аналитическая платформа информационных систем Роснедр: [Электронный ресурс]. URL: https://bi.rfgf.ru (Дата обращения: 26.03.2025).
2. Нехорошев. Н. Н. Единая аналитическая платформа информационных систем Роснедр: // Официальный сайт ФГБУ «Росгеолфонд». URL: https://rfgf.ru/news/334. (Дата обращения: 26.03.2025).
3. Раздел информационных ресурсов и систем: [Электронный ресурс] // Официальный сайт ФГБУ «Росгеолфонд». URL: https://rfgf.ru/info-resursy/onlajn-resursy (Дата обращения: 26.03.2025).

Никитина Ю. Г. (NikitinaYuG@alrosa.ru), Тарских О. В. (TarskikhOV@alrosa.ru), Аржаков Е. Е. (ArzhakovEE@alrosa.ru)
ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

ХРОМШПИНЕЛИДЫ СЮЛЬДЮКАРСКОГО ПОЛЯ (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

Рассматриваются особенности двух популяций хромшпинелидов из осадочных образований Сюльдюкарского кимберлитового поля. Подтверждена особая роль морфологического описания при идентификации генезиса хромшпинелидов.

Ключевые слова: Сюльдюкарское кимберлитовое поле, хромшпинелиды, морфология, химический состав.

Поисковые работы на территории Ыгыаттинской площади привели к открытию нового кимберлитового тела – трубки Сюльдюкарская в 2015 году, в связи с чем оконтурено Сюльдюкарское кимберлитовое поле, а поисковые работы на алмазы на этой территории были интенсифицированы.

Хромшпинелиды широко распространены на территории Сюльдюкарского кимберлитового поля. В осадочных образованиях на территории Якутской алмазоносной провинции выделяются [1] две популяции хромшпинелидов, различающиеся морфологией зерен: «мантийная», генетически связанная с кимберлитами, и «курунгская», источник которой не установлен. Особенности морфологии обеих популяций приведены в работах В. П. Афанасьева [1]. Обе популяции по данным ЦАЛ ВГРЭ отмечаются и на территории Сюльдюкарского поля (рис. 1).

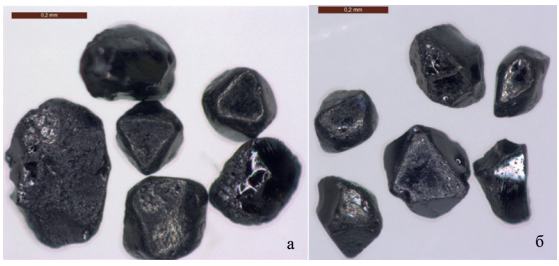


Рис. 1. Морфология хромшпинелидов «мантийного» и «курунгского» типов Сюльдюкарского кимберлитового поля (фотографии предоставлены ЦАЛ ВГРЭ, Темчук Ю. С.)

Хромшпинелиды разделены на две выборки в соответствии с морфологией выделений: выборка 1 – «мантийного» типа – содержит 1492 анализа, выборка 2 – «курунгского» типа – состоит из 447 анализов. Химический состав приведен в таблице.

Хромшпинелиды обеих выборок (рис. 2а) характеризуются широким спектром составов, перекрывающих друг друга. Единственное отличие: в выборке 1 порядка 1 % составляют хромшпинелиды с содержанием TiO_2 свыше 2,5 мас. %, не установленные в выборке 2.

Сопоставление химического состава хромшпинелидов обеих выборок с таковыми из кимберлитов трубки Сюльдюкарская показало их близость к составам хромшпинелидов из осадочных образований, при этом в выборках из осадков количество алмазной ассоциации [3] составляет 8,0 % (выборка 1) и 6,4 % (выборка 2), тогда как в выборке из кимберлитов – 0,6 %. На диаграмме Митчелла [4] выборки 1 и 2 перекрывают почти все области, точки составов из трубки Сюльдюкарская сосредоточены более локально. В область курунгских хромшпинелидов попадает большая часть всех трех выборок.

Распределение по химико-генетическим группам [2] (рис. 2б) также показывает сходство выборок 1 и 2 между собой. При этом они отличаются от выборки хромшпинелидов из кимберлитов трубки Сюльдюкарская: в обеих выборках отмечены высокомагнезиальные пикрохромиты (ХГГ2) и титанистые феррихромиты (ХГГ12), в самой трубке не установленные. В выборке 1 («мантийные») отмечены титанистые феррихромиты из катаклазированных лерцолитов (ХГГ11), не обнаруженные в остальных выборках.

Таблица. Химический состав хромшпинелидов Сюльдюкарского поля

	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO	MgO
«Мантийные»	0–7,59* 0,21	2,73–55,17 15,87	12,07–68,56 51,30	4,10–32,75 17,04	0–17,45 2,78	0,03–7,00 0,40	1,17–24,18 11,48
«Курунгские»	0–2,27 0,18	1,77–51,22 14,72	14,88–66,32 52,39	9,15–32,63 17,39	0–15,04 2,48	0,11–9,80 0,38	1,39–20,11 10,99

Примечание: числитель – диапазон содержаний, знаменатель – среднее значение.

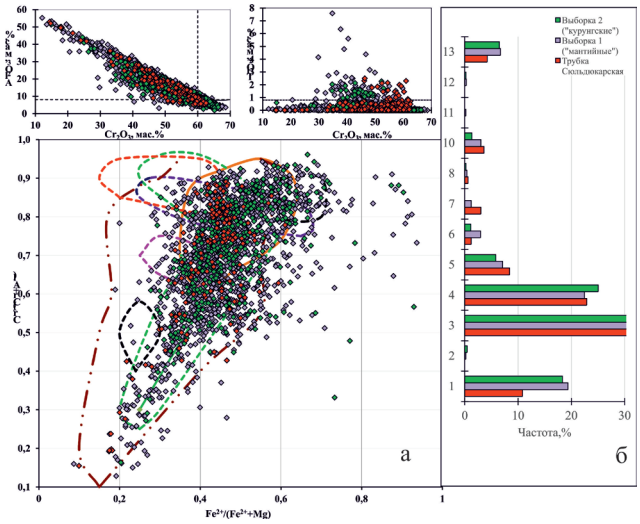


Рис. 2. Диаграммы химического состава (а) и распределение по химико-генетическим группам [2] (б) хромшпинелидов Сюльдюкарского поля:

1 – включения в алмазе, дуниты и гарцбургиты ± алмаз (пикрохромит); 2 – включения в алмазе, гарцбургиты (высокомагнезиальный пикрохромит); 3 – лерцолиты, в том числе катаклазированные (алюмопикрохромит); 4 – лерцолиты (среднехромистый алюмохромит); 5 – лерцолиты (низкохромистый алюмохромит); 6 – вебстериты (высокохромистая хромшпинель); 7 – лерцолиты и пироксениты (умереннохромистая хромшпинель); 8 – магнезиальные алькремиты (низкохромистая хромшпинель); 10 – катаклазированные лерцолиты (феррихромит); 11 – катаклазированные лерцолиты (титанистый феррихромит); 12 – включения в зональных гранатах (титанистый феррихромит); 13 – включения в зональных гранатах (ферриалюмохромит)

Таким образом, различия в химическом составе хромшпинелидов незначительны. Главным критерием разделения популяций остаются морфологические особенности. В связи с этим представляется необходимым дополнение данных минералогического массива отдельной строкой по признаку «курунгский хромшпинелид». Это сократит время на обработку данных, а также позволит визуализировать информацию на картах и разрезах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П. Поисковая минералогия алмаза / Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. ; АК «АЛРОСА» (ЗАО) ; СО РАН, ИГМ им. В. С. Соболева. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2010. – 650 с. – ISBN 978-5-9747-0180-1. – EDN QKJKLD.
2. Гаранин В. К. Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук : 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» / Гаранин Виктор Константинович. – М. : 2006. – 48 с. – EDN NKEBKB.
3. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии / Соболев Н. В. ; СО АН СССР. – Новосибирск : Новосибирское отделение издательства «Наука», 1974. – 264 с. – (Труды Института геологии и геофизики). – EDN RKWTGS.
4. Mitchell R. H. Kimberlites. Mineralogy, Geochemistry and Petrology. N.Y., London, Plenum Press, 1986, 435 p.

Николаев А. В.[1, 2] (Odinszova@Yandex.ru), Мехоношин А. С.[2] (mekhonos@igc.irk.ru), Кислов Е. В.[3] (evg-kislov@ya.ru), Колотилина Т. Б.[2] (tak@igc.irk.ru)

[1] АО «Иргиредмет», г. Иркутск; [2] ИГХ СО РАН, г. Иркутск; [3] ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОГО САЯНА (РОССИЯ) И ПРОВИНЦИИ ГАНЬСУ (КИТАЙ)

В настоящей работе приведены данные сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа о составе минералов платиновой группы (МПГ) в различных месторождениях Восточного Саяна (Россия) и провинции Ганьсу (Китай). Проведен сравнительный анализ МПГ этих месторождений.

Ключевые слова: сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), минералы платиновой группы, Медек, Желос, Джиньчуань.

В центральной части Восточного Саяна проявления ЭПГ-Cu-Ni сульфидных руд обнаружены в неопротерозойских ультрамафит-мафитовых интрузиях [2]. Наиболее изученными из них являются массивы Желос и Медек. Месторождение Джинчуань находится в северо-западной части Китая на юге провинции Ганьсу и также связано с ультраосновными породами неопротерозойского возраста. Главными рудоносными породами интрузии являются дуниты. ЭПГ минерализация во всех этих массивах тесно связана с сульфидами [1, 4, 5]. Сульфидные минералы в них представлены пирротином, пентландитом, виоларитом, халькопиритом, кубанитом, макинавитом.

В месторождениях Желос и Медек обнаружено более 20 различных минералов платиновой группы, наибольшим распространением среди них пользуются палладиевые висмутотеллуриды и антимониды, а также сперрилит [1, 2, 4]. В месторождении Джинчуань в ассоциации с сульфидами установлено более десяти минералов платиновой группы. Среди них преобладает сперрилит, кроме того, выявлены самородная платина, мончеит, палладистый мелонит, майченерит, садбериит [5].

В данном исследовании был изучен состав микрофаз МПГ этих месторождений. Поиск минералов платиновой группы и первоначальная оценка содержаний элементов проводились на

SEM TIMA 3 LMH FEG (TESCAN, Чехия) в режиме автоматического сканирования по обнаружению тяжелых элементов. Кроме того, состав минералов определялся на электронно-зондовом рентгеноспектральном микроанализаторе с кристалл-дифракционными каналами для регистрации рентгеновского спектра (РСМА) Superprob JXA-8200 (JEOL, Япония).

Сравнительный анализ состава висмутотеллуридов палладия показал, что на месторождениях Медек и Джинчуань они преимущественно представлены майченеритом (PdBiTe) (рис. 1, таблица). В массиве Желос по составу они ближе к котульскиту и меренскииту, майченерит является более редким минералом (рис. 2).

Во всех трех месторождениях висмутотеллуриды палладия находятся в ассоциации с такими сульфидами, как халькопирит, пентландит и пирротин. Также эти МПГ встречаются со следующими породообразующими минералами: оливин, хлориты, тремолит, энстатит, тальк и магнетит.

При анализе микрочастиц МПГ вне зависимости от вида детектора и программного обеспечения в составах на постоянной основе присутствует Fe и Ni, реже – S и Cu. Ранее проведенные исследования показали [3], что только в минералах из массива Медек Ni непосредственно присутствует в составе теллуровисмутидов палладия, а остальные элементы фиксируются в результате матричных эффектов, в том числе флюоресценции.

В аншлифах из месторождения Джинчуань нами впервые было обнаружено множество зерен ирарсита, в том числе содержащего платину (до 4 мас.%). Размеры этих зерен не превышают 2 мкм (рис. 3). Этот минерал преимущественно находится в сростках с пирротином, пиритом, пентландитом и холлингвортитом, реже с оливином.

Таблица. Элементный состав висмутотеллуридов палладия в различных месторождениях

Месторождение	Название электронного микроскопа	Номер зерна	Элементы / Массовая доля, %							Итого:
			S	Fe	Ni	Cu	Pd	Te	Bi	
Желос	JEOL	1		0,63	3,06		23,07	58,77	8,59	94,13
		2		0,70	3,72		22,67	58,66	8,97	94,71
		3		1,38	3,64		22,80	58,13	9,46	95,66
		4		0,36	0,36		24,20	31,76	38,63	95,32
		5		3,60	2,86		23,53	62,36	5,28	97,64
	TESCAN TIMA	6		2,97	6,00		21,39	65,12	4,52	100,00
		7		3,33	5,70		21,61	63,69	5,68	100,00
Медек		8		1,76	2,05	1,15	22,50	27,13	45,40	100,00
		9		1,54	1,85	1,04	22,16	26,20	47,20	100,00
		10		1,91	2,23	1,41	22,00	27,71	44,74	100,00
		11		1,13	1,92	0,72	23,21	25,68	47,35	100,00
		12		1,25	3,84		20,02	29,06	45,83	100,00
Джинчуань		13	6,86	10,34	3,11		18,23	30,21	31,25	100,00
		14	6,59	13,50	7,73		16,15	19,52	36,53	100,00

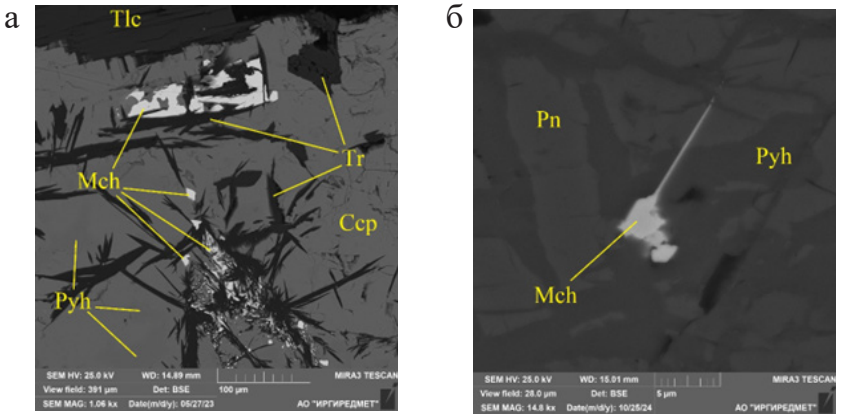


Рис. 1. BSE-фотографии (TESCAN) майченерита (Mch) в Медеке (а) и Джиньчуане (б) в ассоциации с тремолитом (Tr), халькопиритом (Ccp), пирротином (Pyh) и пентландитом (Pn)

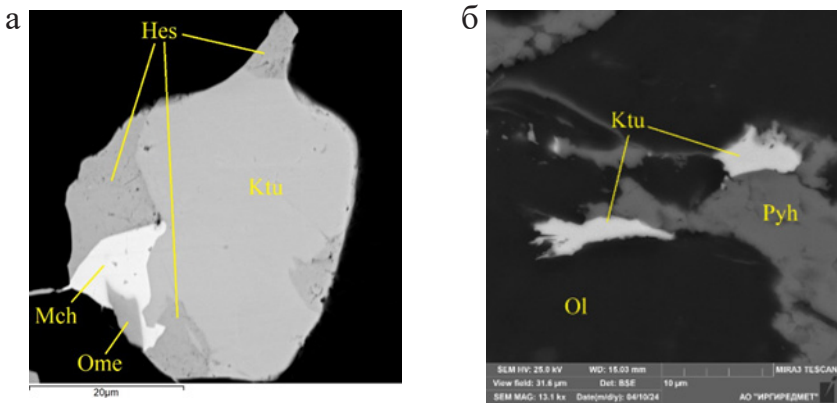


Рис. 2. BSE-фотографии с микроскопов JEOL (а) и TESCAN (б) МПГ месторождения Желос:
Ktu – котульскит; Hes – гессит; Mch – майченерит; Ome – омейит; Pyh – пирротин; Ol – оливин

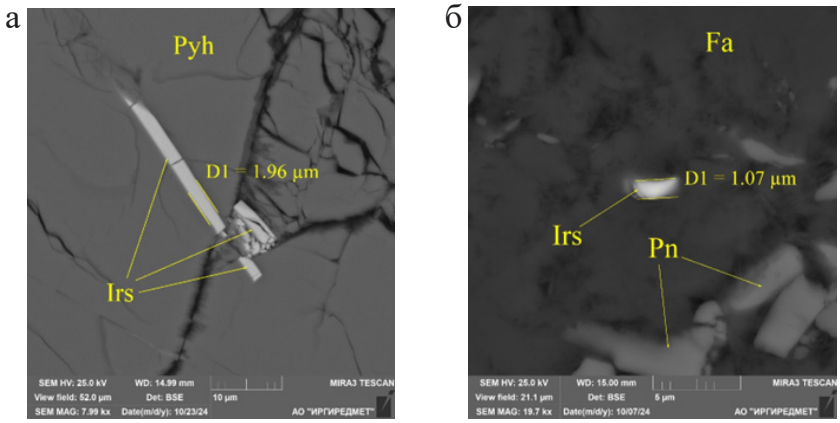


Рис. 3. BSE-фотографии (TESCAN) зерен ирарсита (Irs) в месторождении Джиньчуань:
Pyh – пирротин; Fa – фаялит; Pn – пентландит

Новые данные о составе микрофаз МПГ из неопротерозойских ЭПГ-Cu-Ni месторождений в Восточном Саяне и провинции Ганьсу в сочетании с ранее полученными результатами позволяют предположить, что висмутотеллуриды палладия в массиве Желос образовались при более высоких температурах, чем в массивах Медек и Джинчуань. Кроме того, наши исследования позволили значительно расширить видовой состав минералов платиновой группы в массиве Джинчуань.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проектам № 0284-2021-0006 и 0284-2021-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колотилина Т. Б., Мехоношин А. С., Орсоев Д. А. Распределение элементов платиновой группы в сульфидных рудах ультрабазитовых массивов центральной части Восточного Саяна (юг Сибири, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2016. – Т. 58, № 1. – С. 23–40.
2. Мехоношин А. С., Эрнст Р., Седерлунд 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.
3. Николаев А. В. Сканирующая электронная микроскопия минералов платиновой группы Медекского месторождения // Уральская минералогическая школа. – 2023. – № 29. – С. 137–139.
4. Шведов Г.И., Барков А.Ю., Олешкевич О.И. Рудные минеральные ассоциации в ультрамафитах массива Огнит, Иркутская область, Восточный Саян // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2016. – № 1. – С. 49-60.
5. Yang, X. Z., Ishihara, S., & Zhao, D. H. Genesis of the Jinchuan PGE deposit, China. Evidence from fluid inclusions, mineralogy and geochemistry of precious elements // Mineralogy and Petrology. – 2006. – V. 86, № 1. – P. 109-128.

Новопашина А. В. (avn_crust@mail.ru), Федоров Д. Н. (fedorovdn@alrosa.ru)
Вилюйская геологоразведочная экспедиция, ЭГЦ, НГМ, г. Мирный

ЗОНЫ ТРЕЩИНОВАТОСТИ КАК ОСНОВНАЯ ПРИЧИНА АНОМАЛИЙ НИЗКОГО УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ В ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

Зоны трещиноватости, связанные с глубинными разломами, являются одной из основных причин электрических аномалий и характеризуют повышенную проницаемость земной коры, что является одним из благоприятных признаков рудопроявления. Одновременно такие зоны являются геологической помехой и усложняют интерпретацию результатов электроразведки. Для примера приведены результаты сравнения данных по поисковым и заверочным скважинам одной из поисковых площадей Ыгыаттинского алмазоносного района Якутской алмазоносной провинции. Сравнительный анализ показал, что электрические аномалии могут возникать в зонах с раскрытием трещин от 5 мм. Заверка таких аномалий с учетом комплекса геолого-геофизических критериев является целесообразной, так как зоны проницаемости могут потенциально являться рудовмещающими структурами.

Ключевые слова: кимберлитовая трубка, электроразведка.

Перспективность электрических аномалий на обнаружение кимберлитовых тел оценивается по комплексу геолого-минерагенических, геофизических, геометрических (форма и размер) и пространственно-тектонических критериев. К геолого-минерагеническим относится наличие на территории поиска кимберлитовых пород и ореолов рассеяния минералов-спутников или их аномальные содержания в скважинах. К электроразведочным признакам относятся преимущественно пониженные значения удельного электрического сопротивления (УЭС) и повышенные значения вызванной поляризации (ВП). Значения сопротивления кимберлита могут варьироваться от первых Ом · м (тр. Сюльдюкарская) до сотен Ом · м (тр. Чебурашка). Дополнительно оценивается проявленность в аномальном положительном или отрицательном магнитном поле, а также наличие боковых отрицательных аномалий ГИС СМ в ближайших скважинах. Геометрически аномалия должна соответствовать трубочной геометрии – выделяться как вертикальный изометричный объект или тело типа жила, соизмеримое по простиранию с известными кимберлитовыми телами. Перспективность аномалий также определяется по пространственно-тектоническим признакам, таким как приуроченность к глубинным региональным рудоконтролирующим разломам преимущественно сдвиговой кинематики, к оперяющим и секущим разломам, как правило, зонам растяжения, которые могут являться потенциально рудовмещающими, кольцевым разломным структурам, а также расположение аномалий в зонах сочленения структур различного ранга. В большинстве случаев, разломы являются фрагментарными и представляют собой системы чередующихся трещиноватых сегментов, разделенных более консолидированными перемычками (рис. 1). По ослабленным трещинами зонам внедрялись кимберлиты, дайки долеритов и накапливались или, наоборот, выносились осадки, что отражается в геофизических полях.

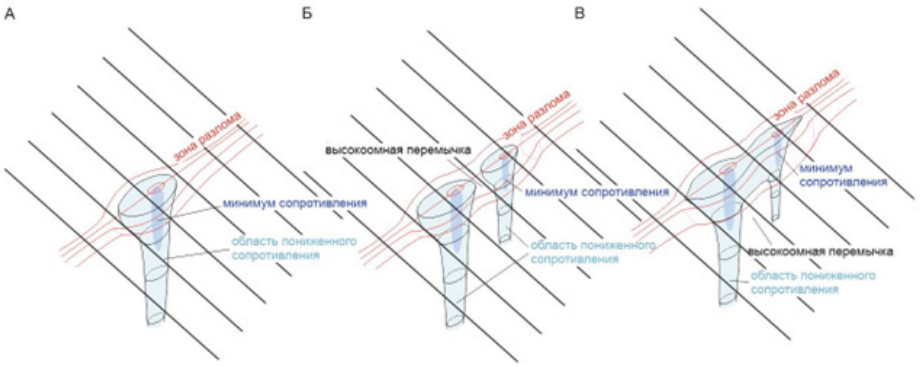


Рис. 1. Зоны проницаемости разлома: А – изометричная, Б – двойная, В – дайкообразная

На срезах УЭС зоны проницаемости выделяются как аномалии пониженного сопротивления, изометричные (рис. 1, А) или линейно-вытянутые (рис. 1, Б, В) вдоль направления рудоконтролирующих структур, или как структуры, оперяющие региональный разлом. На разрезах аномалии УЭС выглядят как вертикальные объекты, которые могут проявляться на нескольких профилях при межпрофильной корреляции, и иногда прерываются перемычкой с повышенным сопротивлением. Такое распределение УЭС отражает фрагментарную структуру разлома, проницаемые сегменты которого разделены более высокоомными блоками. Геометрически зоны повышенной проницаемости похожи на кимберлитовые трубки и дайки с кратероподобной верхней частью (общей или двойной) и нижней частью из одной-трех более тонких диатремоподобных оснований (рис. 1). В результате процессов инфильтрации атмосферных осадков и таликовой воды грунтово-талого слоя в зонах проницаемости более активны процессы деградации многолетнемерзлых пород, лимонитизации и кальцитизации с образованием межмерзлотных таликов и карстовых образований, по значениям УЭС близких к кимберлитовым телам. Если глубинный разлом нарушает перекрывающие отложения, иногда над такими структурами располагаются водоемы – озера или болота. В связи с этим аномалии в зонах проницаемости зачастую идентичны аномалиям от кимберлитовых тел, так как электрические аномалии от кимберлитов связаны, как правило, с верхними частями трубок, затронутых коровыми процессами и характеризующимися пористостью, влагонасыщенностью и глинистостью пород [1].

В 2023 г. с целью поиска кимберлитовых тел Вилюйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» на одной из поисковых площадей провела электроразведочные работы масштаба 1 : 5000 методом электрофотографии – вызванной поляризации (ЭТ-ВП). Участок поиска расположен в пределах Ыгыаттинского алмазоносного района западной части Республики Саха (Якутия). Измерения проводились симметричной (Шлюмберже), дипольной и трехэлектродной электроразведочными установками с 64 электродами. Расстояние между профилями составляло 50 м, между электродами – 10 м. В результате 2D- и 3D-инверсии были выделены более пятнадцати аномалий (рис. 2).

По данным бурения, геологический разрез исследуемого участка представлен среднепермскими перекрывающими отложениями борулойской свиты P_2br – песчаниками мощностью от 2–4 (скв. Ан. 4, скв. Ан. 8, скв. Ан. 11) до 50 м (скв. Ан. 11), включающими прослои и слои углистого алевролита мощностью 3–7 м, на большей части участка перекрытыми и прорванны-

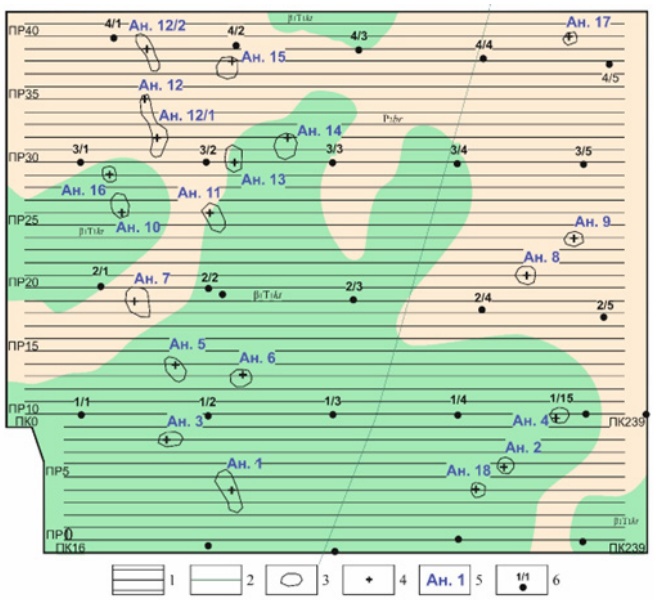


Рис. 2. Схема поискового участка: 1 – профили ЭТ-ВП, 2 – региональный разлом, 3 – контуры аномалий ЭТ-ВП, 4 – заверочные скважины, 5 – названия аномалий ЭТ-ВП и соответствующих им заверочных скважин, 6 – поисковые скважины

ми долеритами $\beta_1 T_1 kt$ неравномерной мощности (от 4 до 62 м), в северо-западной части участка – туфами мощностью 5–15 м (скв. Ан. 10). Траппы отсутствуют в разрезах скважин в зоне аномалий Ан. 10, Ан. 12, Ан. 12/2 и Ан. 15, в зоне Ан. 17, а также восточнее Ан. 4. В центральной части долериты имеют максимальную мощность около 60 м (скв. 2/2, 2/3). Глубина кровли вмещающих верхнекембрийских пород карбонатного цоколя холомолохской свиты $\epsilon_3 hl$ на участке неравномерна и варьируется от 45–72 м в центральной части, от 34 до 42 м – по юго-восточному, юго-западному и северо-западному краям участка, и от 6 до 32 м – в юго-восточной части.

Геоэлектрические разрезы исследуемого участка характеризуются двух-трехслойным строением (рис. 3). Верхний высокоомный слой с сопротивлениями более 1000 Ом · м, связанный с долеритами, утолщен в местах повышенной мощности траппов и прерывается в местах их отсутствия. Низкоомный верхний слой с сопротивлениями 25–100 Ом · м, местами располагающийся под высокоомным, местами наблюдающийся от поверхности, связан с породами пермских отложений. По данным ГИС ИК, средняя проводимость пермских песчаников повышена относительно трапов и пород карбонатного цоколя до 15–20 мСим/м, аномально повышена на контакте с долеритами (в среднем до 60 мСим/м). Прослои и слои углистого алевролита в пермских отложениях характеризуются высокой проводимостью до 70 мСим/м. На разрезах ВП низкоомный слой фрагментарно слабо поляризуется. Кора выветривания, по данным ИК, повышенной проводимостью не выделяется. Под низкоомным слоем фиксируется нижний слой преимущественно высокоомных пород карбонатного цоколя с сопротивлениями более 1300 Ом · м, с проводимостью по данным ИК до 10 мСим/м, в котором выделяются низкоомные аномалии 15–600 Ом · м. На всех геоэлектрических разрезах прослеживается региональный разлом.

В результате заверки скважинами глубиной 60–65 м рудных тел не обнаружено. Бурением установлено, что аномалии низкого УЭС связаны с двумя видами аномалиеобразующих объектов, находящихся на разной глубине: 1 – утолщенным низкоомным слоем в перекрывающих отложениях, включающим песчаники на глинистом цементе мощностью до 40 м, а также пропластки и слои углистого алевролита меньшей мощности (до 8 м); 2 – зонами повышенной трещиноватости в карбонатном цоколе при наличии в трещинах и кавернах пленок и корок гидроокислов железа. В кавернах и трещинах возможно также частичное оттаивание льда в количестве от первых процентов с образованием электролита, вызывающего аномалии низкого УЭС. Гидрогеологически на исследуемом участке не исключается наличие подрусловых и подозерных межмерзлотных таликов, образующихся в зонах трещиноватости в результате просачивания вод из приповерхностного грунтово-талого слоя, мощность которого в период максимального оттаивания в августе-сентябре составляет 0,5–2 м. Фиксируется слабая поля-

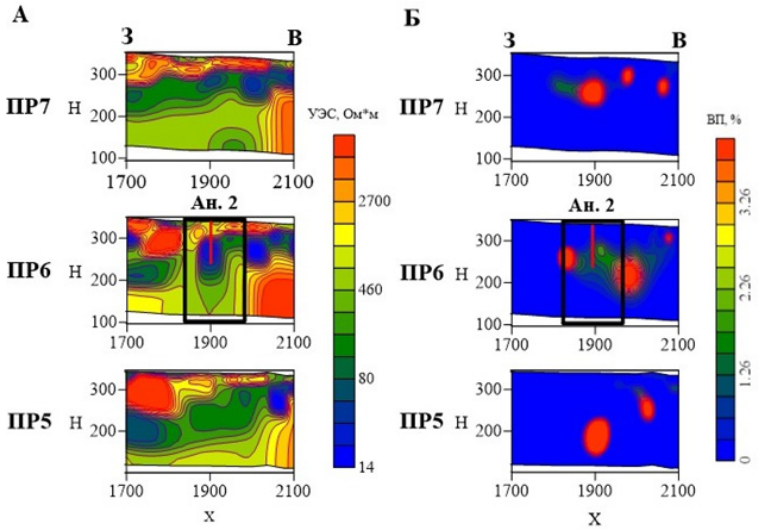


Рис. 3. Аномалия Ан. 2 на разрезах УЭС (А) и ВП (Б)

ризация подошвы верхнего низкоомного слоя в перекрывающих отложениях, что может быть связано с наличием слоя углистого алевролита, кровля которого маркирует границу между верхней (P_2br_2) и нижней (P_2br1) подсвитами борулойской свиты. Зоны трещиноватости в карбонатном цоколе поляризуются на контакте, что может быть связано с отложениями вторичных минералов по бортам разломов. На разрезах ВП поляризуются также области сочленения объектов 1 и 2 – верхних низкоомных пластов с вертикальными низкоомными зонами.

Сравнение данных по скважинам, пробуренным в аномальных и безаномальных зонах УЭС исследуемого участка, не выявило различий в уровне кровли карбонатного цоколя, но позволило установить различия в мощности и глубине подошвы аномалиеобразующих пластов – песчаника повышенной проводимости и углистого алевролита высокой проводимости: в перекрывающих отложениях аномалии УЭС главным образом связаны с утолщением и погружением подошвы слоев песчаника и углистого алевролита. Скважины, пробуренные в безаномальных зонах, в отличие от аномальных зон, на срезах УЭС 72–177 м преимущественно располагаются в областях высоких сопротивлений. По данным ИК, в карбонатном цоколе не зафиксированы различия в значениях проводимости из-за неспособности метода ИК различать породы с сопротивлением более 100 Ом · м, но, по данным документирования, для аномальных зон характерна интенсивная трещиноватость с раскрытием трещин до 0,5–5 см и интенсивное ожелезнение карбонатных пород по сравнению с безаномальными зонами, где в основном фиксируется слабая трещиноватость с раскрытием трещин в среднем до 0,1–0,3 см (особенно в скважинах, расположенных в областях с высоким сопротивлением срезов УЭС 72–177 м).

Таким образом, аномалии низкого сопротивления подобные аномалиям от кимберлитовых тел могут возникать в зонах трещиноватости с раскрытием трещин от 5 мм. Заверка таких аномалий является целесообразной, так как зоны проницаемости могут потенциально являться зонами внедрения кимберлита. При этом для определения перспективности электрических аномалий необходимо учитывать как можно более широкий спектр имеющиеся признаков по другим критериям: наличие аномалий ГИС СМ, проявленность области электрической аномалии в магнитном поле, фиксирование разломной структуры по данным гравиразведки и сейсморазведки и присутствие других структурно-тектонических, геохимических и геофизических предпосылок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калмыков Б. А., Трусов А. А., Гончаров Е. М., Мальков А. А. Выявление особенностей геологического строения и аномалий трубочного типа по материалам аэроэлектроразведки МПП при проведении алмазопоисковых работ на закрытых территориях // Тез. Докл. XIII международной научно-практической конференции «научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2024. – С. 157–159.

Новоселов К. Л. (novoselov@tpu.ru)
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ АЛЕЙСКО-ЗМЕИНОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ РУДНОГО АЛТАЯ)

В алейско-змеиногорских лейкогранитах встречены акцессорные ксенотим, монацит и впервые – приорит, фергюсонит, скандистый ферроколумбит. Рассматриваются особенности химического состава минералов и механизм их формирования на постмагматическом этапе становления интрузива в щелочную стадию автометасоматоза.

Ключевые слова: Рудный Алтай, гранитоиды, акцессорные минералы, приорит, фергюсонит, ксенотим, монацит, колумбит.

Алейско-зменогорский комплекс (D_{2-3}) включает три крупных гранитоидных массива – Новониколаевский, Алейский, Устьянский и ряд более мелких тел в структурах северной части Алейского поднятия Рудного Алтая [7]. Массив имеет пятифазное строение с гомодромной последовательностью пород от габброидов до лейкогранитов. Изучаемые гранитоиды четвертой фазы внедрения представлены крупными штоками натриевых и калиево-натриевых биотитовых лейкогранитов. Ведущая ассоциация акцессорных минералов – магнетит, титаномагнетит, ильменит, алланит, рутил, апатит, гематит, сфен, циркон, апатит, спессартин. В единичных зернах встречены ксенотим, монацит, турмалин, топаз, в единственном штоке – колумбит, торит, и впервые для данного комплекса – фергюсонит, приорит, торианит, ураноторианит. Упомянутые минералы в общем известны в гранитоидах [14, 20], но в алейско-змеиногорских породах Y-Nb, Y-Ti акцессории обнаружены впервые.

Фергюсонит $Y(Nb,Ta)O_4$ образует срастания с колумбитом (Рис. 1, а), и такая ассоциация минералов весьма распространена в гранитоидах [9]. В другом сростке (размером 0,2 × 0,2 мм) колумбит расположен в краевой части зерна и в трещинах, пустотах фергюсонита (рис. 1, б), который содержит тонкие вкрапленники (размером в первые микроны) ураноторианита. Химический состав фергюсонита соответствует его основным характеристикам [6, 10, 15, 17], соотношение Y и суммы Y + TR в среднем составляет 65,6 % при нормальных значениях от 63 до 75 %, содержание CaO не превышает 1–3 %, UO_2 и ThO_2, замещающие Y, не превышают количества 7,55 и 5,91 % соответственно.

Приорит $Y(Nb,Ti)_2O_6$ образует слегка удлиненные зерна размером 100 × 150 μm, красновато-бурого цвета, со стеклянным блеском. Внутреннее строение зерна однородное, слегка трещиноватое (рис. 2), на границах наблюдаются срастания с кварцем, титанитом, биотитом, апатитом. В химическом составе обращает внимание отсутствие ниобия, изоморфного с титаном. Пониженные содержания Nb характерны для такой разновидности приорита, как бломстрандин, но полное отсутствие Nb позволяет предполагать, что минерал близок крайне редким иттрократиту $(Y,Th)Ti_2(O,OH)_6$ или тайиту $HYTi_2O_6$ [12]. Кроме того, вероятно, его присутствие как самостоятельного минерального вида, подобного Y-иваширoиту $YTaO_4$, не изоструктурному с фергюсонитом [18].

Ксенотим YPO_4 встречен в виде изометричных включений (10–15 μm) в кварцевых вростках в кристалле циркона и вкрапления кристалла (~ 10 μm) в центре зерна торита [1]. Установлены примеси ThO_2 от 1,91 до 6,61 мас.% и UO_2 от 1,58 до 4,82 мас.%.

Кристалл монацита $(Ce,La)[PO_4]$ размером 0,2 × 0,3 мм, с не полностью сохранившимися гранями, обладает блоково-зональным строением. Наблюдаемые три зоны отличаются количеством примесей, особенно ThO_2 и SiO_2 [5].

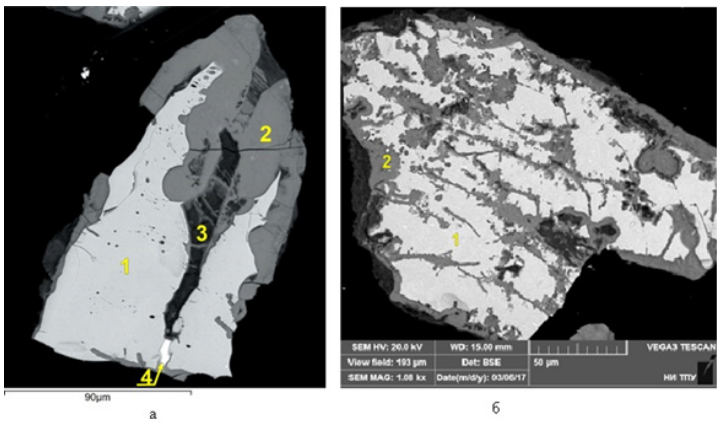


Рис. 1. а – фергюсонит (1) в срастании с колумбитом (2), 3 – хлорит, 4 – ураноторианит; б – фергюсонит (1), колумбит (2), вкрапленники белого цвета – ураноторианит.
Здесь и на последующих рисунках изображение в обратнорассеянных электронах

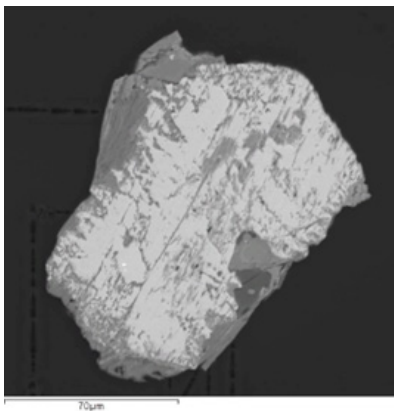


Рис. 2. Зерно приорита

Колумбит $(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$ образует включения кристаллов в трещинках и пустотках ильменорутила. В химическом составе Nb доминирует над Ta, коэффициент тантал-ниобиевого отношения варьирует (0,012–0,014) при неизменно низком содержании тантала (0,81–0,84 %), также характерны железистость (17,64–19,16 %) и весьма низкая марганцовистость (0,19–0,3 %). Коэффициент Mn/(Mn+Fe) не превышает 0,01–0,02. Постоянно присутствуют изоморфные примеси титана (6,14–10,01 %), замещающего ниобий, и скандия (1,03–1,84 %), входящего по схеме $Sc^{3+}\leftrightarrow Fe^{2+}$. Колумбит, образующий срастания с фергюсонитом, характеризуется повышенными содержаниями примесей тория, церия, титана, кальция, фосфора, кремния, алюминия.

Ильменорутил $FexTi_{3-3x}(Nb,Ta)_2xO_6$. В химическом составе минерала ниобий преобладает над танталом, коэффициент Ta_2O_5/Nb_2O_5 варьирует от 0,05 до 0,31. Ильменорутил обогащен титаном относительно ниобия и тантала ($(Nb_2O_5+Ta_2O_5)/TiO_2$ = 0,16–0,32). Ванадий в качестве структурной примеси ($V^{5+}\leftrightarrow Nb^{5+}$) присутствует постоянно (0,34–0,89 %), достигая иногда 1,15 %. Повышенные содержания V в ильменорутиле из гранитных пегматитов Среднего Урала отмечены [3, 8].

Генезис фергюсонита, приорита, торианита, ксенотима, монацита рассматривается как пегматитовый [2, 6, 15, 16, 19]. Фергюсонит нередко встречается в составе пегматитов западной части Алтае-Саянской складчатой области [4, 13]. В отдельных случаях формирование иттриевых и редкоземельных минералов связывается с фракционированием из расплава лёгких лантаноидов и Y на постмагматической стадии кристаллизации [11]. Особенность алейско-змеиногорских гранитоидов заключается в отсутствии их пегматитов, пегматитовый этап, как следующий за магматическим, не получил развития. Акцессорные минералы, присущие гранитным пегматитам, встречены в апикальных и краевых частях гранитоидных тел [1], что позволяет предположить на завершающей стадии формирования интрузивов накопление остаточного расплава, обогащённого Nb, Ti, Y, TR и другими элементами, но без реализации в дальнейшем пегматитовом процессе такие растворы обусловили интенсивный автометасоматоз в апикальных и апикально-краевых частях интрузивов, и типичные пегматитовые минералы (ильменорутил, скандистый ферроколумбит, ксенотим) сформировались в гранитоидных телах [1]. Кроме того, описываемые акцессории встречены в штоке лейкогранитов, расположенном в подводящем интрузивном канале [5]. Большинство редких элементов-примесей в породе штока превышают средние содержания в лейкогранитах данной фазы. Приуроченность к питающему каналу обусловила насыщение акцессорных минералов редкоземельными, радиоактивными элементами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Новоселов К. Л. Акцессорные ниобий-танталовые минералы Алейского гранитного массива (СЗ Рудного Алтая) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 2. – С. 38–44.
3. Бетехтин А. Г. Минералогия. – М. : Госгеолиздат, 1950. – 956 с.
4. Гракова О. В. Акцессорный ильменорутил из алмазсодержащих среднедевонских пород Южного Тимана // Вестник. – 2011. – № 10. – С. 11–13.
5. Гусев А. И. Редкометалльные пегматиты западной части Алтае-Саянской складчатой области // Известия АО РГО. – 2015. – № 3 (38). – С. 16–24.
6. Новоселов К. Л. Иттриевые редкоземельные и редкометалльные акцессорные минералы лейкогранитов алейско-змеиногорского комплекса (Рудный Алтай) // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 7. – С. 85–94.
7. Минералы : справочник // Т. II, Вып. 3. Сложные окислы, титанаты, ниобаты, танталаты, антимонаты, гидроокислы / под ред. Ф. В. Чухрова, Э. М. Бонштедт-Куплетской. – М. : Наука, 1967. – С. 251–260.
8. Петролого-геохимические особенности девонских гранитоидов северо-западной части Рудного Алтая / Ю.А. Туркин, К.Л. Новоселов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С.5 – 15.

9. Попова В.И., Губин В.А., Чурин Е.И. Редкометалльная минерализация гранитных пегматитов Режевского района на Среднем Урале // Записки Российского минералогического общества. – 2013. – Ч. CXLII, № 1. – С. 23–38.
10. Попова В. И., Чурин Е. И., Блинов И. А. Фергусонит-(Y) и продукты его изменения в гранитном пегматите жилы Береговой Зенковского массива на Урале // Новые данные о минералах. – 2012. – № 47. – С. 47–55.
11. Макагонов Е. П., Муфтахов В. А. Редкоземельно-редкометалльная минерализация в поздних гранитах сыростанского массива (Южный Урал) // Литосфера. – 2015. – № 2. – С. 121–132.
12. Савельева В. Б., Базарова Е. П., Хромова Е. А., Канакин С. В. Редкоземельные минералы в породах Катугинского редкометалльного месторождения (восточное Забайкалье): поведение лантаноидов и Y при кристаллизации насыщенного фтором агпаитового расплава // Записки Российского минералогического общества. – 2017. – Т. 146. – № 4. – С. 1–21.
13. Солодов Н. А., Семенов Е. И., Бурков В. В. Геологический справочник по тяжелым литофильным редким металлам / Под ред. Н. П. Лаверова. – М. : Недра, 1987. – 438 с.
14. Гусев А. И. Типизация пегматитовой минерализации Алтая // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 3. – С. 93–97.
15. Wang RuCheng, Wu FuYuan, Xie Lei. A preliminary study of rare-metal mineralization in the Himalayan leucogranite belts, South Tibet // Science China. Earth Sciences. – 2017. – V. 60, № 9. – P. 1655–1663.
16. Wu-Bin Yang, He-Cai Niua, Ning-Bo Li. Enrichment of REE and HFSE during the magmatic-hydrothermal evolution of the Baerzhe alkaline granite, NE China: Implications for rare metal mineralization // Lithos. – 2020. – V. 358–359. – P. 1–20.
17. Fu-Yuan Wu, Xiao-Chi Liu, Zhi-Chao Liu. Highly fractionated Himalayan leucogranites and associated rare-metal mineralization // Lithos. – 2020. – V. 352–353. – P. 1–24.
18. Shang Liua, Lin Dinga, Hong-Rui Fanc. Hydrothermal genesis of Nb mineralization in the giant Bayan Obo REE-Nb-Fe deposit (China): Implicated by petrography and geochemistry of Nbbearing minerals // Precambrian Research. – 2020. – V. 348. – P. 1–24.
19. Hidemichi Hori, Toshinori Kobayashi, Ritsuro Miyawaki. Iwashiroite-(Y), YTaO4, a new mineral from Suishoyama, Kawamata Town, Fukushima Prefecture, Japan // Journal of Mineralogical and Penological Sciences. – 2006. – V. 101. – P. 170–177.
20. Na-Xin Guoa, Zheng Zhaoa, Jian-Feng Gaob. Magmatic evolution and W-Sn-U-Nb-Ta mineralization of the Mesozoic Jiulongnao granitic complex, Nanling Range, South China // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 94. – P. 414–434.
21. Regine Morgenstern, Rose E. Turnbull, Paul A. Ashwell. Petrological and geochemical characteristics of REE mineralization in the A-type French Creek Granite, New Zealand // Mineralium Deposita. – 2019. – V.54. – P.935–958.

Ноев В. С. (NoevVS@rusgeology.ru)
АО «СВПГО», г. Анадырь

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ЭТАПА ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА СЕРЕБРО В ПРЕДЕЛАХ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ (ЧУКОТСКИЙ АО)

Работы по объекту «Поисковые работы на серебро в пределах Кольцевой перспективной площади (Чукотский АО)» выполняются АО «Северо-Восточное ПГО» АО «Росгео» в рамках Государственного контракта в целях оценки перспектив выявления рудных объектов. Имеющиеся поисковые критерии и признаки указывают на сходство с серебряным месторождением Гольцовое Дукатского рудного района (Магаданская область).

Ключевые слова: серебро, прожилково-жильные и минерализованные зоны, серебро-полиметаллическая формация, проходка канав, прогнозные ресурсы, Чукотский АО.

Кольцевая перспективная площадь расположена на правобережье р. Вульвывеем в перивулканической зоне Охотско-Чукотского вулкано-плутонического пояса (ОЧВП). В металлогеническом отношении площадь является фрагментом Экитыкинской потенциальной золото-серебряно-оловорудной рудоносной зоны Восточно-Чукотской серебряно-золоторудной минерагенической области Охотско-Чукотской минерагенической провинции.

Перспективы площади на выявление промышленных рудных серебро-полиметаллических объектов обозначены после проведения в 1980–1985 гг. литохимических поисков по потокам рассеяния масштаба 1 : 200 000. В 1990–1994 гг. территория охвачена групповой геологической съемкой масштаба 1 : 50 000 с общими поисками [2]. В результате этих работ выделены сереброрудный узел Веселый, перспективные участки Веселый-1, Веселый 2, Шанс, Каменушка, геохимические аномалии по потокам, вторичным и первичным ореолам рассеяния. В штуфных пробах из сульфидно-кварцевых прожилково-жильных образований установлены содержания серебра до 5790 г/т, свинца, цинка, мышьяка, меди более 1 %, олова до 0,3 %, золота до 3,7 г/т.

Дальнейшее изучение рудных объектов Кольцевой перспективной площади продолжилось в 2023–2024 гг. в рамках поисковых работ АО «Северо-Восточное ПГО» [1]. По результатам геохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1 : 50 000 и 1 : 10 000 выявлены отвечающие рудным зонам высокоперспективные аномалии, соответствующие по элементному составу серебро-полиметаллической (Ag, Pb, Cu, Bi, Zn) и олово-полиметалличесой (Sn, Pb, Ag, Cu, As, Zn) ассоциациям. По данным спектрального анализа, в геохимических пробах содержания серебра достигают 30 г/т и более, свинца, мышьяка более 1 %, цинка до 0,5 %, меди до 0,4 %, золота до 0,4 г/т, олова до 0,15 %, висмута до 0,06 %. По геохимическим данным, общий ресурсный потенциал серебра по всей Кольцевой площади составили 4100 т, в том числе по участкам: Каменушка – 500 т, Весёлый-1 – 1000 т, Шанс – 500 т, Весёлый-2 – 100 т.

По данным геофизических работ, пространственная локализация рудных зон определяется серией сближенных линейных аномалий магнитного поля и кажущегося сопротивления субмеридионального и северо-восточного простирания, приуроченных к узлам пересечения тектонических нарушений соответствующей ориентировки с субвулканическими и интрузивными образованиями леурваамского позднемелового комплекса ОЧВП, тем самым подчеркивая общую структуру рудного поля.

В 2024 г. на двух участках Каменушка и Весёлый-1 канавами вскрыты потенциальные прожилково-жильные и минерализованные рудные зоны мощностью от 10 до 50 м, протяженностью до 2 км. На участке Каменушка рудные зоны сложены гранит-порфирами, флюидальными субвулканическими риолитами леурваамского комплекса, туфами с вкрапленно-прожилковой минерализацией сульфосолей серебра, карбоната, кварца, пирита, халькопирита, галенита, сфалерита размером первые мм. На участке Весёлый-1 (рисунок) вскрыты жильно-прожилковые зоны № 3–2 и № 3–3, сложенные дайками гранодиорит-порфиров и ороговикованными алевролитами мымлереннетской толщи позднего триаса.

Таким образом, по геолого-структурному расположению в перивулканической зоне ОЧВП, приуроченности к рудоконтролирующим зонам разрывных нарушений и узлам их пересечений, по парагенетической связи с образованиями ОЧВП, морфологии, составу рудных образований, по поисковым признакам объекты Кольцевой площади сопоставимы с серебряным месторождением Гольцовое Дукатского рудного района (Магаданская область). Наиболее значимые поисковые признаки:

- сопровождение оруденения высококонтрастными и продуктивными вторичными ореолами и потоками рассеяния. По интенсивности и продуктивности они не уступают вторичным ореолам и потокам рассеяния ряда месторождений Магаданской области;
- промышленные до весьма высоких содержания серебра и других рудных элементов в ряде штуфных и отдельных бороздовых пробах из сульфид-хлорит-кварцевых и сульфид-кварцевых образований прожилково-жильных и минерализованных зон;
- в геофизических полях минерализованные и прожилково-жильные зоны отчётливо выделяются цепочкой положительных аномалий кажущегося сопротивления. На карте магнитного поля выделяются положительные линейные аномалии, соответствующие рудоконтролирующим разрывным нарушениям.

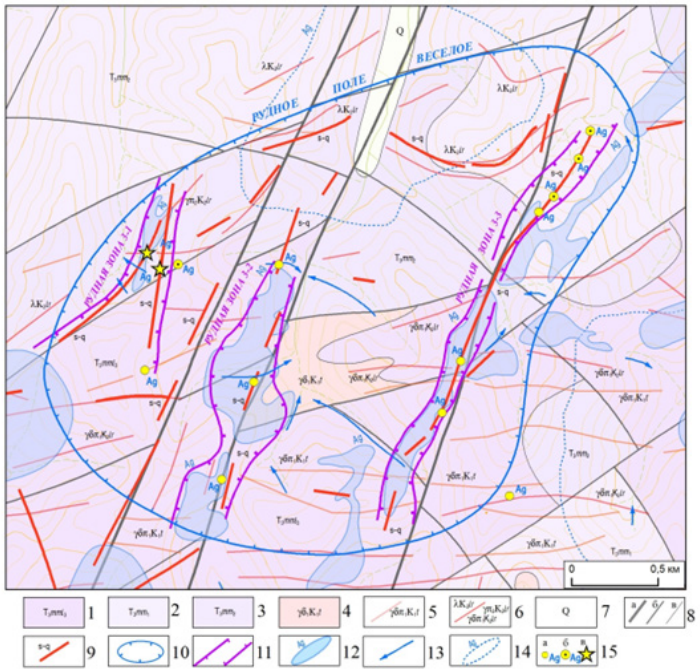


Рисунок. Геолого-поисковый план участка Веселый-1:
1–3 – триасовая система, верхний отдел: 1 – песчаники с прослоями алевролитов и глинистых сланцев (мымлеренетская толща), 2–3 – маломымлеренетская толща: 2 – нижняя подтолща (глинистые сланцы и алевролиты с прослоями песчаников), 3 – средняя подтолща (песчаники и алевролиты с прослоями глинистых сланцев); 4–5 – раннемеловые магматические образования (тауреранский плутонический комплекс, первая фаза): 4 – штоки роговообманково-биотитовых гранодиоритов, 5 – дайки гранодиорит-порфиров; 6 – позднемеловые магматические образования (леурваамская вулкано-плутоническая ассоциация): первая фаза – гранодиорит-порфиры, вторая фаза – гранит-порфиры (леурваамский плутонический комплекс), субвулканические образования – дайки, штоки риолитов, дацитов (леурваамский осадочно-вулканогенный комплекс); 7 – четвертичные отложения; 8 – а – рудоконтролирующие разломы, б – второстепенные разломы, в – геологические границы; 9 – прожилково-жильные и минерализованные образования сульфид-кварцевого, сульфид-хлорит-кварцевого состава; 10 – рудное поле Веселое; 11 – рудные зоны; 12 – геохимическая аномалия по вторичным ореолам рассеяния серебра; 13 – аномалии в потоках рассеяния с содержанием серебра 30–200 г/т; 14 – шлиховой ореол серебряных минералов; 15 – место отбора штуфной пробы с содержанием серебра 100–5790 г/т (свинца, цинка, меди, мышьяка 0,1–1 % и более): а – серебра 100 – 400 г/т, б – серебра 400–1000 г/т, в – серебра 1000–5790 г/т

После получения результатов лабораторных анализов будет проведена оценка прогнозных ресурсов серебра по категории P_2. Имеющиеся признаки указывают на высокие перспективы выявления здесь серебро-полиметаллических рудных объектов, пригодных для открытой отработки. Объект, безусловно, в дальнейшем заслуживает внимания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ноев В. С. Информационный геологический отчет о результатах и объемах работ за 2024 год по объекту: «Поисковые работы на серебро в пределах Кольцевой перспективной площади (Чукотский АО). – Анадырь, 2024.
2. Шарнин М. А. Отчет о групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 с общими поисками в верховьях р. Вульвывеем на площади листов Q-60-19-Б,Г; 20-А, Б, В, Г в 1990–1994 гг. (Кольцевая партия). – Эгвекинот, 1996.

Ножкин А. Д. (nozhkin@igm.nsc.ru), Лиханов И. И. (likh@igm.nsc.ru)
ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

ЗОЛОТО В ПОРОДАХ ДОКЕМБРИЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Енисейский кряж как крупная золотоносная провинция не выделяется повышенным фоном по золоту. Все месторождения Au сосредоточены в пределах Центрального металлогенического пояса, в котором имеются благоприятные геолого-геохимические предпосылки для формирования золотого оруденения.

Ключевые слова: кларки Au, этапы, типы и особенности формирования золоторудной минерализации, Центральный металлогенический пояс, Енисейский кряж.

Енисейский кряж – один из старейших золотоносных районов Сибири, в пределах которого распространены месторождения разных генетических типов. Они размещены в структурно-вещественных комплексах архея, раннего и позднего протерозоя. В Центральном металлогеническом поясе кряжа известен ряд крупных золоторудных, а также золото-урановых месторождений и рудопроявлений. Выяснение природы уникальной рудоносности этого пояса и их связи с процессами тектономагматизма, гидротермального метаморфизма и геохимическими характеристиками вмещающих осадочно-метаморфических пород являются ключевыми в решении проблем металлогении [5]. Нами установлены особенности распределения Au в породах разных структурно-вещественных докембрийских комплексов Енисейского кряжа, включая Ангаро-Канский блок, окраинно-континентальные образования Заангарья и островодужные ассоциации аккреционных систем. В докладе показано на каком исходном золотоносном фоне вмещающих пород создавались рудные концентрации благородного металла и сформулированы геолого-геохимические предпосылки для формирования золотого оруденения в Центральном металлогеническом поясе.

Енисейский кряж представляет собой древний ороген коллизионно-аккреционного типа, расположенный на западной окраине Сибирского кратона (рисунок). В заангарской части он сложен палеопротерозойскими и мезо-неопротерозойскими породами, составляющими Восточный и Центральный кратонные блоки и Исаковский островодужный террейн. Все тектонические блоки и пластины разделены крупными региональными разломами, которые сопровождаются оперяющими структурами более высокого порядка, вблизи которых происходит коллизия блоков с образованием надвигов. Последнее вызывает неоднородный по давлению региональный метаморфизм, выраженный сочетанием двух фациальных серий низких и умеренных давлений [1, 7]. Детальный обзор геохронологии, тектонической позиции и геодинамической природы комплексов, участвующих в строении региона, приведены в работах [2, 6]. Там же представлена хронологическая последовательность крупных этапов и событий в геологической истории Енисейского кряжа, сформировавших его тектонический облик.

Центральный металлогенический пояс расположен в пределах Татарско-Ишимбинской системы разломов, отделяющих Центральный блок от Восточного (рисунок). Здесь многократно и наиболее контрастно проявлены тектоно-магматические процессы. На основе геологических и изотопно-геохимических данных выделены (в млрд лет) мезопротерозойский (1,6–1,05), ранний (1,05–0,8) и поздний (0,8–0,6) неопротерозойский этапы магматизма и эволюции земной коры Енисейского кряжа [3]. Исследование неопротерозойских комплексов позднего этапа представляет особый интерес, поскольку с тектономагматическими процессами данного периода связано формирование золотого и золото-уранового оруденения. В постколлизионный неопротерозойский этап формируется ряд прогибов, в том числе рифтогенных. Наиболее многократно неопротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм проявился в зоне Татарско-Ишимбинской системы глубинных разломов, где сосредоточены все золоторудные и урановые месторождения Центрального металлогенического пояса Енисейского кряжа [4].

Установлено, что во всех типах осадочных, метаморфических и магматических пород, за исключением черных углеродистых сланцев, концентрация благородного металла находится на уровне кларковых его значений – средней распространенности в этих породах. Максимальное содержание золота (от 10–20 до 60 мг/т) выявлено в черных углеродистых сланцах тейской и сухопитской серий, рыбинской и панимбинской толщ. К многочисленным горизонтам углеродистых сланцев приурочены золоторудные тела месторождений.

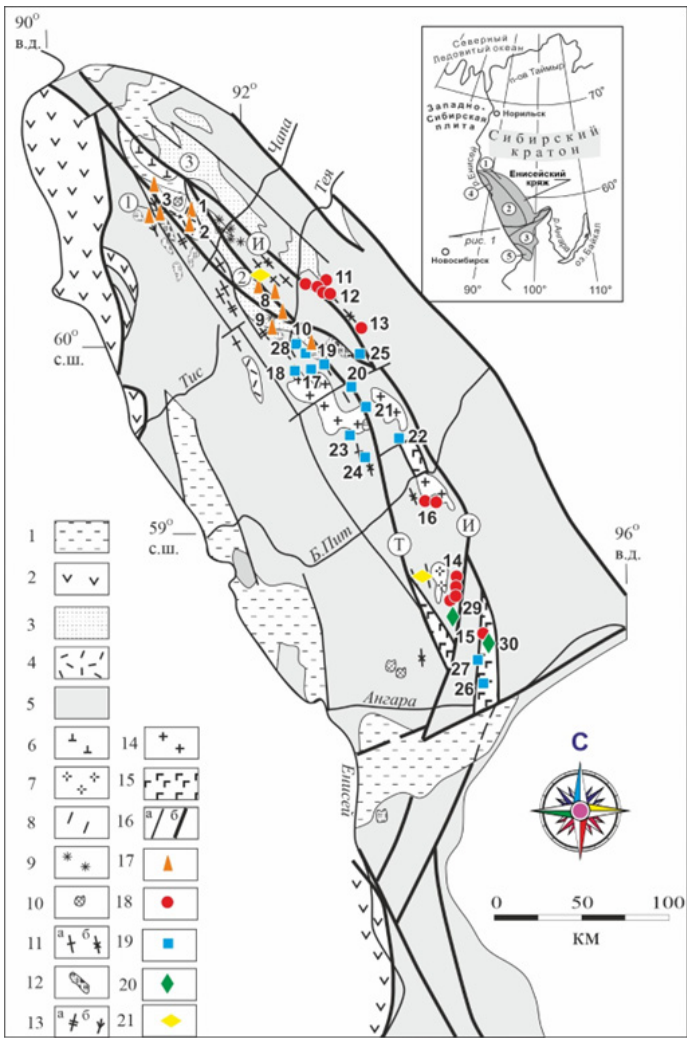


Рисунок. Мезо-неопротерозойские рифтогенные и внутриплитные комплексы, золоторудные и золото-урановые месторождения Центрального металлогенического пояса Енисейского кряжа. 1 – чехол (PZ-KZ); 2 – офиолиты и островодужные комплексы (NP); 3–4 – рифтогенные (NP) комплексы чингасанской (3) и верхневороговской серий (4); 5 – нерасчлененные комплексы докембрия; 6–12 – рифтогенные и внутриплитные комплексы (в млн лет): 6 – вороговский – траппы (Т); 7 – татарский – граниты; 8 – карбонатиты; 9 – чапинский комплекс – щелочные пикриты; 10 – среднетатарский – фойяиты и захребетнинский – нефелиновые сиениты; 11 – захребетнинский – дайки сиенит-порфиров (а) и трахидолеритов (б); 12 – кутукасский – лейкограниты, гурахтинский – субщелочные граниты; 13 – ковригинский – дайки риолит-порфиров (а) и габбро-долеритов (б); 14 – аяхтинский – граниты, лейкограниты; 15 – мезопротерозойская пикробазальт-базальтовая и плагиориодацит-базальтовая ассоциации Рыбинско-Панимбинского пояса; 16 – разломы (а), зоны разломов (б): И – Ишимбинская, Т – Татарская. 17 – золотоурановые месторождения и рудопроявления: 1 – Кедровое; 2 – Оленье; 3 – Кутукасское; 4 – Ясное; 5 – Полярное; 6 – Тейское; 7 – Марсаловское; 8 – Северо-Тейское; 9 – Ногатинское и Осиновское; 10 – Дубовое; 18 – золоторудные узлы и месторождения золото-кварцевого типа: 11 – Советский; 12 – Александро-Агеевский; 13 – Перевальнинский; 14 – Партизанский; 15 – Раздольнинский; 16 – Аяхтинский; 19 – золоторудные узлы и месторождения золото-сульфидного типа: 17 – Верхнее-Енашиминский (Олимпиадинский); 18 – Благодатнинский; 19 – Титамухтинский; 20 – Ерудинское; 21 – Панимбинское; 22 – Товрикульское; 23 – Золотой ключ; 24 – Ведугинское; 25 – Кварцевая гора; 26 – Попутнинское; 27 – Боголюбовское; 28 – Золотое; 20 – сурьмяные месторождения: 29 – Удерейское; 30 – Раздольнинское; 21 – редкометалльные месторождения. Цифры в кружках: 1 – Верхневороговская грабен-синклиналь, 2 – Уволжский грабен, 3 – Тейско-Чапский прогиб.

Полученные данные показывают, что Енисейский кряж как крупная золотоносная провинция не выделяется повышенным фоном по Au. Все месторождения золота сосредоточены в пределах Центрального металлогенического пояса, в котором имеются благоприятные геолого-геохимические предпосылки для формирования золотого оруденения. Важнейшими из них являются: размещение месторождений между Татарским и Ишимбинским глубинными разломами в троговой структуре Рыбинско-Панимбинского пояса с повышенным содержанием Au в базитах, пикритоидах, углеродистых сланцах; повышенные содержания Au в черных углеродистых сланцах на разных стратиграфических уровнях тейской и сухопитской серий протерозоя; проявление калий-натриевого гранитоидного (~ 850 млн лет назад) внутриплитного, рифтогенного плюмового магматизма на уровне 780, 750, 700 и 650 млн лет, приведшего к привносу, перераспределению и концентрации золота и урана; наличие геохимических ореолов Zn, Pb, Ag, Au, Bi, As, зон метасоматических изменений березитового, гумбеитового и кварц-гидрослюдисто-карбонатного типов; развитие рудообразующих и рудоконцентрирующих систем, формирующих экономически значимые месторождения [8].

Работа выполнена за счет средств Российского научного фонда (проект № 25-77-51003).

СПИСОК ЛИТЕРТУРЫ

1. Лиханов И. И., Ревердатто В. В., Козлов П. С., Вершинин А. Е. Тейский полиметаморфический комплекс в Заангарье Енисейского кряжа – пример совмещенной зональности фациальных серий низких и умеренных давлений // Доклады Академии Наук. – 2011. – Т. 436 (4). – С. 509–514.
2. Лиханов И. И., Ножкин А. Д., Ревердатто В. В., Козлов П. С. Гренвильские тектонические события и эволюция Енисейского кряжа, западная окраина Сибирского кратона // Геотектоника. – 2014. – Т. 48 (5). – С. 32–53.
3. Ножкин А. Д., Туркина О. М., Баянова Т. Б., Бережная Н. Г., Ларионов А. Н., Постников А. А., Травин А. В., Эрнст Р. Е. Неопротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм Енисейского кряжа как индикатор процессов распада Родинии // Геология и геофизика. – 2008. – № 7. – С. 666–689.
4. 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.
5. Шахов Ф. Н. Основные направления научных исследований в золотоносных районах Сибири. Геология и геофизика. – 1961. – № 10. – С. 89–100.
6. Likhanov I. I. Provenance, Age and Tectonic Settings of Rock Complexes (Transangarian Yenisei Ridge, East Siberia): Geochemical and Geochronological Evidence // Geosciences (Switzerland). – 2022. – V. 12, No. 11. – Art. 402.
7. Likhanov I. I., Polyansky O. P., Reverdatto V. V., Memmi I. Evidence from Fe- and Al-rich metapelites for thrust loading in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, eastern Siberia // Journal of Metamorphic Geology. – 2004. – V. 22, No. 8. – P. 743–762.
8. Nozhkin A. D., Likhanov I. I. Gold in the Precambrian rocks of the Yenisei Ridge, East Siberia, and geological and geochemical prerequisites for the formation of gold mineralization in the Central Metallogenic Belt of the region // Geochemistry International. – 2024. – V. 62, No. 11. – P. 1155–1173.

Ойцева Т. А.[1, 2] (tatiana.oitseva@gmail.com), Мизерная М. А. [1] (Mizernaya58@bk.ru), Кузьмина О. Н. [1] (kik_kuzmins@mail.ru), Бисатова А. Е. [1] (bisatova.ainelya@mail.ru), Агеева О. В. [1] (ageyeva93@mail.ru)

[1] Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск;
[2] ТОО «ГЕОС», г. Усть-Каменогорск

ЗОЛОТОРУДНЫЕ СТРУКТУРЫ ЮЖНОГО АЛТАЯ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

Южный Алтай расположен на юго-восточном фланге Большого Алтая (Восточный Казахстан). Особенность Южного Алтая заключается в многометалльном профиле эндогенного оруденения: золоторудный, полиметаллический и редкометалльный. Золоторудное оруденение представлено продолжением Западно-Калбинского золоторудного пояса.

Ключевые слова: Западная Калба, золото, гранитоиды, Южный Алтай, россыпи.

Территория Южного Алтая расположена на юго-восточном фланге глобальной структуры Большого Алтая (БА), входящего в систему Центрально-Азиатского пояса. Эта территория на севере ограничена Чингиз-Нарымским глубинным разломом широтного направления, на востоке отделяется геологическими структурами Горного Алтая или Алтай-Монгольским террейном, на западе обрамляется озером Зайсан и Бухтарминским водохранилищем, а на юго-востоке прослеживается в Китай (рисунок).

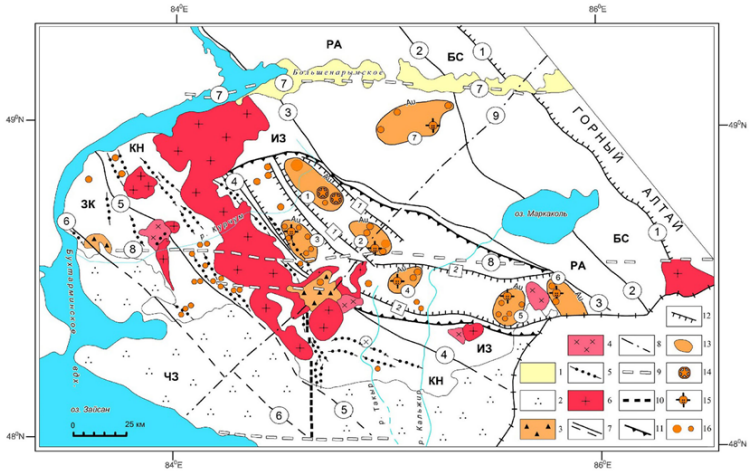


Рисунок. Схема размещения золотоносных структур Южного Алтая [5]:
отложения: 1 – четвертичные, 2 – рыхлые нерасчлененные (F–N); 3–5 – вулкано-плутоническая ассоциация: 3 – риолит-дацитовая наземная, 4 – гипабиссальных плагиогранит-гранодиоритов и 5 – порфировых даек кунушского комплекса, C_3); 6 – гранитовая формация (калбинский комплекс, P_1); 7–10 – глубинные разломы: 7 – продольные северо-западные и 8 – поперечные северо-восточные, ограничивающие структурно-формационные зоны и тектонические блоки, 9 – широтные и 10 – меридиональные регматические древнего заложения; границы: 11 – Курчум-Кальджирского рудного района, 12 – рудных зон и 13 – рудных узлов; 14 – месторождения золото-кварц-лиственитовой и 15 – золото-кварцевой формаций; 16 – рудопроявления и точки минерализации золота; рудные зоны (цифры в квадратах): 1 – Майкопчегай-Маралихинская, 2 – Манка-Кыставкурчумская; рудные узлы (цифры в кружках): 1 – Маралихинский, 2 – Майкопчегай, 3 – Кыстав-Курчумский, 4 – Батпакбулак, 5 – Алкабек, 6 – Манка, 7 – Маймырский

Формирование геологических и рудоносных структур происходило в обстановке тектонического сжатия и коллизии Джунгарского массива и Западно-Сибирской плиты, горизонтального сдвижения тектонических зон и разнородных блоков, проявления сложной складчато-разрывной тектоники с образованием надвиговых структур с протрузиями серпентинизированных гипербазитов и выступами докембрийского меланократового основания в виде чешуй и блоков, ограниченных разломами (Курчум-Кальджирский, Теректинский, Курчумский и др.).

Сложное геологическое строение региона обусловило разнообразие развитых здесь рудных месторождений и рудопроявлений, в изучение которых большой вклад внесли Н. И. Бородаевский, К. Р. Рабинович, З. М. Нурбаев, В. И. Старов, А. А. Шатобин, Н. В. Полянский, О. М. Чирко, В. Н. Майоров, Г. Н. Щерба, Дьячков Б. А. и многие другие исследователи [1, 3, 4]. Особенность металлогении Южного Алтая заключается в многометалльном профиле эндогенного оруденения: золоторудный, полиметаллический и редкометалльный.

Западно-Калбинский пояс объединяет главные золоторудные месторождения БА, сформированные в Зайсанской сутурной зоне. В ней размещаются порядка 450 месторождений и рудопроявлений золота различных геолого-генетических типов: золото-сульфидный прожилково-вкрапленный (суздальский), золото-кварцевый (кулуджунский), золото-березитовый (баладжальский), золото-сульфидно-углеродистый (бакырчикский) и другие [1, 3]. По геологическим условиям образования и вещественному составу руд золоторудные объекты сопоставляются с известными мировыми типами: карлинский (Суздальское), в черносланцевых толщах (Бакырчик, Мурунтау, Сухой Лог и др.), плутоногенный тип (Кулуджун, Баладжал, Манка и др.). Имеются определенные сходства казахстанских золоторудных объектов с орогенными месторождениями золота Китая [6].

Золоторудные месторождения сформировались в стадию герцинской косой коллизии Казахстанского и Сибирского микроконтинентов, сопровождавшейся активизацией системы глубинных разломов, внедрением приразломных малых интрузий и даек габбро-диорит-гранодиорит-плагиогранитовой серии (C_{2-3}) и поступлением синхронно с ними рудоносных флюидов (H_2O, Cl, As, Ag, Au и др.), отложением и концентрацией золота в благоприятной рудовмещающей среде на различных литолого-стратиграфических уровнях. Магматический контроль характеризуется пространственной ассоциацией золотого оруденения преимущественно с плагиогранитами кунушского комплекса (C_3) известково-щелочной серии, натриевой спецификой щелочей (Na_2O / K_2O > 3,4). Новые геохронологические данные по цирконам подтвердили позднекаменноугольный возраст гранитоидов кунушского комплекса – 291–306 млн лет [7]. По высокому содержанию Sr (до 815 г/т), коэффициентам (La / Yb – 27,5, Sr / Y – 46–114,3, Rb / Sr – 0,23639) и Sm-Nd изотопным данным (ƐNd (T) = +6,7) плагиограниты могут быть сопоставлены с адакитовыми гранитами (AD), производными дегидрационного плавления метабазитов в нижней части коры [2].

Анализ геолого-геофизических материалов и металлогенические реконструкции показывают, что известные рудные зоны (Западно-Калбинская, Суздаль-Аркалыкская, Жанан-Боко-Зайсанская и др.) облекают Чарско-Горностаевское тектоническое поднятие и имеют значительную протяженность. Зайсанская сутура в общем виде ориентирована в северо-западном направлении, а на юго-восточном фланге вследствие косой коллизии и подворота литосферных плит проникает в геологические структуры Южного Алтая и в Китай. Такая региональная протяженность золотоносных структур является благоприятным фактором для прогнозирования рудных объектов. Это согласуется с материалами по Центральной Азии, отражающими концентрацию золотопроявлений в области сочленения континентальных литосферных плит Обь-Зайсанской складчатой системы [8]. Изложенные данные позволяют выделить в регионе более крупный Восточно-Казахстанский золоторудный пояс, который пересекается редкометалльными гранитами Калба-Нарымского плутона. Продолжение Западно-Калбинского золоторудного пояса наблюдается в Южном Алтае.

Основные золоторудные месторождения расположены в Курчум-Кальджирском блоке Иртышской зоны смятия, где выделяются Манка-Кыставкурчумская и Майкопчегай-Маралихинская рудные зоны с рудными узлами (см. рисунок). В этих зонах преобладают золото-кварцевый, золото-березит-кварцевый и золото-лиственитовый типы оруденения (Кыстав-Курчумское, Батпакбулакское, Манка, Маралиха, Алкабек и др.). Известны многие россыпи золота [4]. Часть объектов отрабатывается в настоящее время, часть заслуживает дальнейшего детального изучения.

Статья подготовлена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19676805).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Дьячков Б. А., Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А., Мизерная М. А., Черненко З. И., Амралинова Б. Б. Типы золоторудных месторождений Восточного Казахстана. – Усть-Каменогорск : ВКГТУ, 2015. – 204 с.
2. Орлова А. В. [и др.] Гранитоиды с геохимическими характеристиками адакитов в восточной части Байкало-Муйского складчатого пояса // Материалы конференции. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2018. – С. 432–433.
3. Рафаилович М. С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. – Алматы, 2009. – 304 с.
4. Третьяков А. В. Формирование, закономерности размещения и перспективы россыпной золотоносности Востока Казахстана. – Алматы : КазГЕО, 2009. – 296 с.
5. Bissatova A. Y., D'yachkov B. A., Mizernaya M. A., Zimanovskaya N.A. [et al.] Specific Features of Geotectonic Development and Ore Potential in Southern Altai (Eastern Kazakhstan) // Geology of Ore Deposits. – 2021. – V. 63, №. 5. – P. 383– 408.
6. Goldfarb R. J., Qiu K. F., Deng J., Chen Y. J., Yang L. Q. Orogenic gold deposits of China // Econ. Geol. – 2019. – № 22. – P. 263–324.
7. Kuibida M. L., Dyachkov B. A., Vladimirov A. G., Kruk N. N., Khromykh S. V. [et al.] Contrasting granitic magmatism of the Kalba fold belt (East Kazakhstan): Evidence for Late Paleozoic post-orogenic events // Journal of Asian Earth Science. – 2019. – V. 175. – P. 178–198.
8. Naumov E., Borisenko A., Kalinin Y., Kovalev K., Dyachkov B., Mizernaya M., Seltmann R. Permian orogenic gold deposits of Eastern Kazakhstan and Western Siberia. Ore Deposits of Asia: China and Beyond «Proceedings of International Conference SEG 2017, Beijing, China, September 17–20, 2017. Abst. # P115.

Окулов А. В.[1] (okulov@tsnigri.ru), Черных А. И.[2] (chernykhai@polyus.com)
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва, [2] УК «Полюс», г. Москва

ВОЗРАСТ ФОРМИРОВАНИЯ РУД И КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ КИЗАССКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ШАМАНСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ, ЗАПАДНЫЙ САЯН) ПО ДАННЫМ $^{40}Ar/^{39}Ar$ ИЗОТОПНОГО ДАТИРОВАНИЯ

Кизасское рудное поле сложено отложениями шаманской свиты раннего кембрия и характеризуется амагматичным строением. На территории рудного поля известны многочисленные россыпи, а также рудопроявления золота, наиболее крупное из которых – уч. Троицкий. Рудные тела и рудные зоны представлены в основном кварцевыми жилами, зонами неравномерного жильно-прожилкового окварцевания. В связи с дискуссионностью возраста формирования золотого оруденения и источника рудного вещества, пространственной удаленностью кварцевых жильно-прожилковых зон от интрузивных комплексов актуально датирование руд и гидротермалитов.

Ключевые слова: Кизасское рудное поле, участок Троицкий, р. Левый Кизас, жильный кварц, мусковит, парагонит, золото, $^{40}Ar/^{39}Ar$ изотопное датирование.

Кизасское золоторудно-россыпное поле (87 км^2) находится в Шаманском рудном узле (473 км^2) Кизас-Анзасского золотоносного района Северо-Саянской минерагенической зоны (Таштыпский административный район Республики Хакасия) и в целом относится к хорошо изученным [1, 3, 4, 5]. В геологическом плане территория рудного поля сложена метаморфизованными в нижней ступени зеленосланцевой фации вулканогенно-карбонатно-терригенными отложениями шаманской свиты раннего кембрия ($Є_1šm$). В пределах поля и его обрамления практически не проявлены магматические интрузивные образования.

Широкое распространение как в рудном поле, так и в пределах всего Шаманского рудного узла, имеют золотоносные россыпи, которые в целом тяготеют к ареалу распространения пород шаманской свиты раннего кембрия ($Є_1šm$). С полем распространения других раннекембрийских

пород (верхнемонокская $Є_1$vm, нижнемонокская Cnm, кайзасская $Є_1$kz, чеханская $Є_1čh$ свиты) россыпные месторождения пространственно практически не связаны или связаны ограничено. Эти особенности позволяют предполагать элементы стратиграфического контроля эндогенных источников россыпного золота породами шаманской свиты.

Отработка россыпей в пределах рудного узла была начата еще в середине XIX в. По имеющимся архивным, фондовым материалам и данным Госбаланса, из россыпей рудного поля добыты более 22 т золота, при этом максимальную продуктивность для Алтае-Саянского региона имеют россыпи р. Левый Кизас с притоками. Наличие богатых россыпей золота обусловило перспективность данного региона в отношении поисков рудного золота.

В структурном плане Кизасское рудное поле приурочено к СЗ крылу одноименной Кизасской антиклинали, сложенной отложениями шаманской свиты. На основе полученных данных и с учетом результатов работ предшественников в рудном поле выделяются две основные мощные и протяженные минерализованные зоны, положение которых контролируется региональными разрывами СВ ориентировки и оперяющими их нарушениями:

1) Троицко-Левокизасская минерализованная зона Fe-карбонатизации и жильно-прожилкового окварцевания протягивается от г. Троицкой через водораздел рр. Безымянка – Кизас далее через бассейн левых притоков р. Левый Кизас; протяженность зоны около 8,5 км, мощность – от 300 м до 1 км (район г. Троицкой). Именно в ее пределах локализована подавляющая часть рудопроявлений золота, в том числе наиболее значимые (рудные зоны рудопроявления г. Троицкой). По итогам поисковых работ 2020–2022 гг., проведенных АО «Сибирское ПГО», здесь были локализованы прогнозные ресурсы золота $P_1 + P_2$ – 10,9 т.

2) Успенская минерализованная зона гнездово-прожилкового окварцевания протягивается по данным предшественников от верховьев р. Безымянка через верховья р. Успенский далее в бассейн р. Малый Анзас; протяженность зоны около 10 км, мощность – 300–700 м.

Рудные тела в пределах рудного поля представлены в основном кварцевыми жилами, зонами неравномерного жильно-прожилкового окварцевания, зонами дробления и милонитизации, сопровождаемыми жильно-прожилковой кварцевой и убогой вкрапленной медно-сульфидной и пиритовой, реже арсенопирит-пиритовой минерализацией, развитием светлых слюд (мусковит-парагонит). Ориентировка рудных зон в основном СВ, кварцевых жил внутри них – субширотная, СВ, СЗ, ССЗ, субмеридиональная.

Мощность кварцевых жил от 0,2 до 1 м, протяженность до 30–40 м. Распределение жил и прожилков крайне неравномерное – от единичных до 20–30 шт. на пог. м. Протяженность рудных зон и рудных тел варьирует от 50–100 до 800–1400 м при мощности 1–13 м с содержаниями золота 0,5–36,1 г/т (до 58–150 г/т по частным пробам).

Пригодных для изучения газово-жидких включений в кварце не обнаружено. Рудный кварц не имеет каких-либо специфических термолюминесцентных, газохроматографических и текстурно-структурных характеристик. По своим параметрам он практически не отличим от безрудного кварца. Золотоносным чаще всего оказывается кварц, содержащий Fe-карбонат, пирит, сульфиды меди, мусковит-парагонит. Более подробно геологическое строение и золотоносность рудного поля изложены в работах [1, 3, 4, 5].

Как уже отмечалось выше, Кизасское рудное поле и Шаманский рудный узел имеют в целом амагматичное строение. Наблюдается тенденция увеличения объемов магматизма при приближении к породам верхне- и нижнемоноксокой свит, особенно в юго-восточном направлении, в сторону Джебашской зоны смятия (около 6 км к югу от кромки Кизасской площади). Здесь широко проявлены силлообразные тела метагаббро-диабазов субвулканического комплекса раннего кембрия (C_1), плагиогранит-порфиры майнского комплекса раннего кембрия (C1m), дайки альбитит-порфиров и габброидов лысогорского комплекса позднего силура (S_2t). В Кизасском рудном поле единичные обломки диорит-порфиритов были встречены нами в аллювии самых верховьев р. Левый Кизас.

Однако до сих пор однозначно не решен вопрос об источнике золота и времени формирования золотого оруденения; не ясно, имеется ли вообще у золотого оруденения связь с интрузивным магматизмом и если да, то с каким этапом магматической активизации оно связано? В этой связи актуально проведение лабораторно-аналитических исследований, нацеленных на

определение возраста гидротермально-метасоматических преобразований и золотого оруденения. Все это будет способствовать пониманию генетических аспектов формирования золотого оруденения Кизассой площади и может быть использовано для целей прогноза и поисков на сходных по геологическому строению территориях Алтае-Саянского региона.

Первые данные по возрасту серицита-парагонита Кизасского рудного поля, определенные методом $^{40}Ar/^{39}Ar$ изотопного датирования, были получены в 2021 г. По серицит-парагонитовому агрегату из золотоносной кварцевой жилы (образец 309) с участка вершины г. Троицкой был получен интегральный возраст 350,8 ± 5,3 млн лет – нижний карбон [4]. По данным минералогического анализа в пробе установлено более 100 знаков золота, а также пирит. Однако данное определение имело единичный характер, поэтому выводы о возрасте носили предварительный характер.

Для определения возраста формирования кварцевых жил, в том числе золотоносных, нами были дополнительно исследованы пробы кварца, отобранного в ходе полевых работ ФГБУ «ЦНИГРИ» в Кизасском поле в период 2020–2022 гг. По пробам выполнен пробирный и ИСП МС анализы, минералогический анализ протолочек, а также термолюминесцентный и газовохроматографический анализы по кварцу. По монофракции мусковита / серицита-парагонита было выполнено $^{40}Ar/^{39}Ar$ изотопное датирование в Лаборатории изотопно-аналитической геохимии ИГМ СО РАН (аналитик Д. С. Юдин). Исследования выполнялись по методике [2]. Ниже приводится характеристика этих образцов и основные результаты анализов.

Образец К20-70-1. Верховья р. Лев. Кизас, водораздел рр. Кварцевый – Лев. Кизас, делювий. Кварц сливной, молочный, непрозрачный, по трещинкам лимонит и тонкочешуйчатый серицит; пустоты выщелачивания частично выполнены рыжими землистыми агрегатами с гидрооксислами Fe. Возраст мусковита составил 391,5 ± 4,2 млн лет – средний девон.

Образец К20-04-1. Верховья р. Спиридоновский, р-н канавы Т-24, делювий. Молочно-белый кварц с мусковитом по трещинкам. По данным в тяжелой фракции отмечены знаки пирита (в т. ч. окисленного), халькопирита. По данным пробирно-атомно-абсорбционного анализа содержания золота составили < 0,005 г/т. Возраст мусковита составил 390,1 ± 4,2 млн лет – средний девон.

В канаве К-206 на участке Троицкий в интервале 253–257 м по данным АО «Сибирское ПГО» была задокументирована кварцевая жила субмеридиональной ориентировки, в данном интервале содержания золота составили от 0,24 до 1,18 г/т, по данным пробирно-атомно-абсорбционного анализа. В ходе изучения канавы специалистами ФГБУ «ЦНИГРИ» в указанном интервале были установлены 2 типа кварца:

Образец К206-255-1. Кварц сливной молочный до бледно-серого, сливной, трещиноватый, рудного облика, с обильными гидроксидами Fe (далее г. о. Fe) рыжими, порошковатыми, развитыми по трещинам, также по трещинам тонкочешуйчатые агрегаты светлой слюды (серицита). В кварце фиксируются в ассоциации со слюдой и г. о. Fe многочисленные включения полуокисленных сульфидов (халькопирит, пирит). По сульфидам развивается медная зелень. Возраст серицита составил 389,9 ± 4,3 млн лет – средний девон.

Образец К206-255-2. Кварц отчетливого средне-крупнозернистого строения, участками до сливного. Окраска бледно-серая до серой. В кварце обильные обособления рыжих, порошковатых г. о. Fe, по трещинам агрегаты тонкочешуйчатой светлой слюды (серицит, парагонит). По данным минералогического анализа, золото не установлено, в тяжелой фракции отмечен рутил, знаки пирита (в т. ч. окисленного), халькопирита, медной зелени. По данным пробирно-атомно-абсорбционного анализа содержания золота составили 0,008 г/т. Возраст серицита-парагонита составил 382,5 ± 4,3 млн лет – средний–верхний девон.

Образец К206-689. Участок г. Троицкой, канава К-206, 689 м (отвалы зачистки канавы). Кварц молочный, сливной, с отдельными мелкими обособлениями рыжих г. о. Fe размером до 5–7 мм. По трещинам тонкочешуйчатый агрегат светлой слюды (мусковит), а также выделения окисленных сульфидов (пирит, халькопирит), с пленками медной зелени. Видимое Au до 0,25 мм, 4–5 золотинок, в окисленном пирите и около него. По данным минералогического анализа хвостов пробы, установлены 30 знаков золота размером 0,05–0,75 мм, в составе тяжелой фракции пирит, халькопирит, гидроксиды Fe. По данным пробирно-атомно-абсорбци-

онного анализа, содержание золота 3,24 г/т. Возраст серицита составил 373,5 ± 4,0 млн лет – верхний девон.

Отобранные образцы характеризуют возраст формирования кварцевых жил Кизасского рудного поля. Возраст как золотоносного, так и незолотоносного кварца определяется средним–поздним девоном. С учетом ранее полученных датировок, верхняя граница формирования золотоносных кварцевых жил определяется низами нижнего карбона. Можно полагать, что формирование обильной кварцево-жильной и прожилковой минерализации происходило в период со среднего девона по нижний карбон, то есть связано с девонским этапом тектоно-магматической активизации региона. Источник кремнезема имеет, вероятно, глубинный характер. Пока сложно говорить, являлся ли он также источником рудного вещества. Не исключено, что первично-золотоносными являлись отложения шаманской свиты, а наличие золота в кварце является результатом его переотложения. Данные выводы носят предварительный характер, продолжается обработка аналитических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окулов А. В., Черных А. И., Сорокин Д. А., Позднякова Н. Н., Кряжев С. Г., Прохорова М. А. Минералого-геохимическая характеристика золотого оруденения Кизасского рудного поля (Республика Хакасия) // XXIX Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа – 2023» : Сборник статей. – Екатеринбург : Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН, 2023. – С. 142–144.
2. 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. – № 11. – С. 1181–1199.
3. Черных А. И., Окулов А. В., Арсентьева И. В., Кряжев С. Г., Позднякова Н. Н. Золотоносность Шаманского рудного узла Кизас-Анзасского рудного района (Республика Хакасия) // Сборник докладов XI научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов – состояние и перспективы». 12–15 апреля 2022 г. – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 243–246.
4. Черных А. И., Окулов А. В., Кряжев С. Г., Арсентьева И. В. Геологическое строение и золотоносность Шаманского рудного узла Алтае-Саянской складчатой области (Республика Хакасия) // Руды и металлы. – 2022. – № 4. – С. 54–77.
5. Арсентьева И. В., Брысин М. П., Черных А. И., Гвоздева И. А. Перспективы золотоносности Анзас-Кизасской площади (Республика Хакасия) // Сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2018. – С. 40–41.

Ошкин А. Н.[1, 2] (office@sonica.company), Турчков А. М.[1, 2] , Воронцов В. В.[3]

[1] ООО «Соника», [2] МГУ имени М. В. Ломоносова, [3] ООО «Геоспейс Технолоджи Евразия»

СЕЙСМОРАЗВЕДКА ДЛЯ ЗАДАЧ ТПИ

Сейсморазведка ввиду высокой стоимости крайне редко и в весьма упрощенных вариантах выполняется при работах на твердые полезные ископаемые (ТПИ). Однако стоимость сейсморазведочного оборудования снижается, появляются новые технологи, повышающие эффективность работ и снижающие их цену. В докладе рассматривается опыт применения сейсморазведки для решения задач, связанных с поиском и разработкой твердых полезных ископаемых.

Ключевые слова: сейсморазведка, МОВ-ОГТ, возбуждение в движении, твердые полезные ископаемые, тектоника, бескабельные регистрирующие системы, GSX.

Сейсморазведка мало используется для решения задач, связанных с твердыми полезными ископаемыми. В первую очередь это связано с высокой стоимостью сейсморазведочных работ.

Однако по мере совершенствования оборудования и технологий происходит постепенное снижение стоимости, делающее рентабельным применение сейсморазведки для задач поиска и разработки ТПИ.

По мнению авторов, наиболее важную роль в процессе снижения стоимости полевых работ играют два фактора: распространение бескабельных регистрирующих систем и появление технологии возбуждения упругих волн в движении. Бескабельные (нодальные) регистрирующие системы – это автономные одноканальные регистраторы, устанавливаемые в произвольных точках профиля и не зависящие от кабелей. Как правило, запись сейсмического сигнала производится непрерывно в память регистратора в течение всего срока нахождения на профиле. Обычно объем памяти и аккумулятор позволяют записывать данные 30–45 суток, чего достаточно для выполнения полевых работ. Записываемый сигнал синхронизируется по GPS-времени с микросекундной точностью. На сейсмическом источнике устанавливается также синхронизируемое по GPS-времени устройство, записывающее в память времена срабатывания источника (начала сейсмограмм). В дальнейшем после сбора регистраторов с профиля производится считывание с них данных и нарезание на сейсмограммы заданной длины по временам срабатывания источника. В докладе приведены результаты работ, полученные с применением бескабельной системы «GSX» от «Geospace Technologies». Имеются и российские производители подобного оборудования. Отказ от проводов дает огромную гибкость в создании систем наблюдений. Шаг между пунктами приема (ПП) может динамично меняться в зависимости от требований проекта, а также от конкретной ситуации на дневной поверхности. Плюсы таких систем раскрываются на пересеченной или техногенно-нагруженной местности. Это позволяет раскладывать регистраторы в лесу без предварительной рубки просек, легко пересекать ручьи и дороги. Отказ от проводов повышает надежность системы – невозможно оборвать магистральный провод, а выход из строя единичного регистратора не скажется на работе других. Минусы, конечно, тоже есть. В первую очередь это слепость большинства подобных систем, то есть невозможность увидеть сигнал и оценить его качество в процессе полевых работ. Однако некоторые методические приемы позволяют свести к минимуму минусы, компенсируемые перечисленными выше плюсами. Одна и та же бескабельная регистрирующая система может использоваться на любых масштабах исследований, от самых малоглубинных до исследований границы Мохо – вопрос исключительно размера системы наблюдений и мощности применяемых источников. Вторым обозначенным фактором снижения стоимости полевых сейсморазведочных работ является появление и развитие технологии возбуждения импульсными источниками в движении. Суть подхода заключается в использовании электромагнитных импульсных источников санного типа (в работе использован источник «Енисей СЭМ-50»), требующих буксировки и имеющих постоянный контакт с грунтом. В таком случае открывается возможность возбуждения сигнала непосредственно во время движения импульсного источника по профилю, сокращая шаг между пунктами возбуждения (ПВ) до первых метров [1]. Скорость движения источника по профилю составляет 1,5–2 км/ч, что дает фактическую производительность порядка 30–40 пог. км линий возбуждения в сутки. Это значительное сокращение временных затрат на процесс регистрации, что существенно удешевляет полевые работы. Практика показала, что, несмотря на слабое воздействие одиночного удара и повышенный шум буксирующего трактора, суммарный сейсмический разрез, полученный после надлежащей обработки данных, зачастую не уступает по качеству, а иногда и превосходит разрез, полученный по классической технологии с остановками на каждом ПВ и накоплением сигнала [2, 4].

Возможности легкой сейсморазведки для глубин в первые сотни метров. Глубинность сейсморазведочных исследований зависит от мощности сейсмического источника и размеров регистрирующей системы. Когда речь идет о глубинах в первые сотни метров, то могут применяться облегченные сейсмические источники весом в сотни килограмм и регистрирующие системы, состоящие из первых сотен каналов. В работе [5] приведен пример результатов, полученных авторами на тестовом полигоне МГУ в д. Александровка Калужской области. Один и тот же набор полевых материалов обрабатывался с использованием отраженных волн по технологии МОВ-ОГТ и с использованием рефрагированных волн. На отраженных волнах глубинность разреза составляет около 1000 м. На рефрагированных около 300–400 м. Съемка профиля, длиной 7 км, выполнялась в течение 4 дней ненапряженной работы.

3D сейсморазведка на угольном разрезе. Применение технологии возбуждения в движении позволяет с высокой скоростью отрабатывать большие объемы полевых работ. Это особенно актуально при проведении сейсморазведочных работ в варианте 3D. На рис. 1 приведен пример обработки и интерпретации сейсмического куба МОГТ 3D, полученного в начале 2023 г. на одном из угольных месторождений Казахстана. Задачей сейсморазведочных работ было выявление разломных зон в угольных пластах, представляющих существенную проблему, как с точки зрения непосредственно добычи угля в шахтах, так и с точки зрения безопасности – к разломным зонам приурочены выходы метана. В качестве теста были выполнены сейсмические исследования в трехмерном варианте. Площадь исследования по контуру ПВ составила 1,3 × 1,3 км. Время регистрации данных – три рабочих смены. Количество нодов GSX составило 250.

По результатам работ удалось построить сейсмический куб (см. рис. 1, справа), на котором был выделен целевой пласт (красная линия). По сейсмическому кубу был рассчитан атрибут, отвечающий за когерентность сейсмического сигнала, что в данном случае связано с тектоническими нарушениями (минимальные значения показаны голубой заливкой), после чего по поверхности целевого горизонта была построена карта этого атрибута (см. рис. 1, слева), на которой отчетливо видна детальная тектоника в пространстве.

3D сейсморазведка на трапповом разрезе. В зимний сезон 2023–2024 гг. в Норильском промышленном районе на разрезе, представленном переслаиванием трапповых базальтов, были выполнены опытно-методические сейсморазведочные работы МОГТ 3D для определения возможностей сейсморазведки по выделению внедренных интрузивных тел, содержащих полиметаллические руды [3]. Полевая съемка выполнялась с использованием бескабельной регистрирующей системы GSX в размере 1050 каналов и технологии возбуждения в движении. Регистрация куба размером примерно 2 × 3 км была выполнена менее чем за 3 суток работ в 3 смены. Полное время нахождения полевой партии в поле составило 14 суток. В результате получен сейсмический куб, на котором отчетливо было проявлено строение толщи базальтов, внутри которой на глубине около 1000 м несогласно залегало интрузивное тело сложной формы (рис. 2, слева). Несмотря на невысокую контрастность интрузивного тела, его форма и геометрия, выделенные по данным сейсморазведки, с высокой точностью совпали с результатами бурения (так как работы носили опытно-методический характер, интрузия была хорошо изучена бурением). Однако помимо интрузивного тела, сейсморазведка неожиданно продемонстрировала детальную тектонику участка работ (см. рис. 2, справа).

Выводы. Современный уровень развития сейсморазведочных технологий дает возможность успешно применять сейсморазведку для решения задач ТПИ. Ни один другой геофизический метод не позволяет визуализировать геологические объекты с такой детальностью на глубинах в сотни метров и более. Особенно это относится к тектоническим нарушениям. Приведенные примеры сейсмических исследований были получены на горизонтально-слоистых разрезах. Это оптимальные условия для производства сейсморазведочных работ, где сейсмика демонстрирует всю мощь технологии, включая современные подходы к обработке и интерпретации

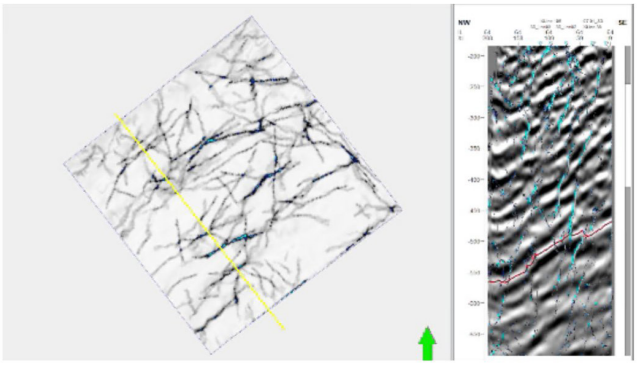


Рис. 1. Автоматическое выделение тектонических нарушений, по данным МОГТ-3D:
слева – горизонтальное сечение куба атрибута, отвечающего за когерентность сейсмических данных; справа – соответствующее желтой линии вертикальное сечение сейсмического куба с наложенным значением атрибута, отвечающего за когерентность

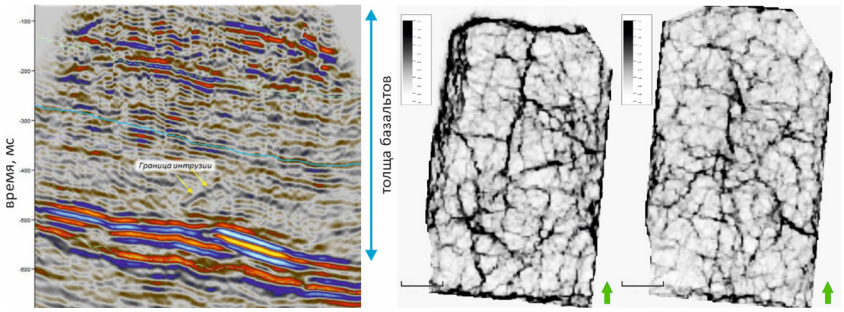


Рис. 2. Вертикальное сечение сейсмического куба МОГТ 3D на трапповом разрезе (слева) и горизонтальные сечения атрибута, отвечающего за когерентность сигнала (тектонические нарушения) вдоль разных пластов (справа)

данных. Однако у авторов имеется успешный опыт выполнения сейсморазведочных работ в горных условиях Забайкалья, не вошедший в доклад в виду запрета на публикацию материалов. В условиях неслоистых сред может применяться метод сейсмотомографии, имеющий (по опыту авторов) глубинность 300–400 м. Разделение пород по скоростям упругих волн может быть важным признаком выделения рудных тел. Задачи поиска геологических объектов могут выполняться в профильном варианте 2D сейсморазведки. Продемонстрированные примеры детальной 3D съемки могут быть использованы для детального изучения геометрии выделенных ранее другими методами геологических объектов. Детальная тектоника может быть использована для проектирования шахт и карьеров. Она может сильно повысить эффективность мероприятий по дегазации разрабатываемых шахтным способом горизонтов, повышая безопасность добычи полезных ископаемых. Современная сейсморазведка может за разумную стоимость дать совершенно новые сведения о строении разреза, недоступные ранее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детков В. А., Баландин П. В. Технология возбуждения упругих колебаний в движении GLIDE // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2019. – Т. 2, № 63. – С. 52–60.
2. Камалтдинов Р. Р., Зозуля В. А., Гладилов Д. В., Ошкин А. Н., Турчков А. М. Импульсное возбуждение в движении: реальные достижения или «бег на месте»? // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2024. – Т. 3, № 82. – С. 46–53.
3. Ошкин А. Н., Турчков А. М., Бурденко А. А., Вязниковцев А. А., Воробьев Ю. В., Детков В. А. 3D сейсморазведка на трапповом разрезе для задач ТПИ // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2024. – Т. 2, № 81. – С. 8–19.
4. Ошкин А. Н., Турчков А. М., Бурденко А. А., Вязниковцев А. А., Гладилов Д. В., Мосягин Е. В., Детков В. А. Сейсморазведка малых объектов: быстро, качественно, недорого // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2023. – Т. 4, № 79. – С.52–60.
5. Турчков А. М., Ошкин А. Н., Коротков И. П., Воронцов В. В., Череповский А. В. Опыт применения малогабаритного источника и бескабельной системы регистрации для изучения ВЧР и неглубоко залегающий объектов // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2022. – Т. 2, № 73. – С. 32–40.

Пак Н. Т. (paknikolay50@mail.ru), Ивлева Е. А. (violgol@mail.ru)
Институт геологии НАН КР, г. Бишкек

СКАРНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В ТЯНЬ-ШАНЕ (КЫРГЫЗСТАН)

Скарновые месторождения золота широко развиты в Кыргызстане и по запасам золота составляют около 10 %. Среди них имеются крупные месторождения с запасами более 70 т. Приводятся характеристика и особенности строения некоторых месторождений, распределение их по геодинамическим обстановкам.

Ключевые слова: геодинамическая обстановка, интрузия, метасоматит, золото, запасы.

Скарновые месторождения золота отличаются небольшими масштабами и играют незначительную роль в общем балансе производства золота в мире. Однако в пределах Кыргызстана они встречаются довольно часто и составляют около 10 % запасов золота. Территория Кыргызстана сложена Тянь-Шаньской горной системой, которая делится на Северный, Срединный и Южный Тянь-Шань, имеющие в целом субширотную ориентировку. Кыргызстан, имея небольшую площадь (0,2 млн км^2), содержит около ста месторождений золота, в том числе суперкрупное месторождение Кумтор (запасы золота около 1000 т, добыто 450 т) и до десяти крупных месторождений с запасами свыше 70 т. Среди крупных объектов имеются и скарновые месторождения золота.

Крупные (более 70 т): Макмал, Куру-Тегерек, Чалкуйрюк-Анджилга.

Средние (10–70 т): Алтын-Джилга, Бозымчак, Кичи-Сандык, Насоновское, Акташ и др.

Мелкие (1–10 т): Турпактушты, Чанач, Кара-Тюбе, Кумбель, Каратюбе, Тохтонысай, Каратор и др.

Среди скарновых месторождений золота Кыргызстана выделяется месторождение **Макмал**, которое является одним из крупнейших в мире скарнового типа. Запасы золота на нем изначально составляли около 80 т при среднем содержании золота 7–8 г/т. За время работы комбината карьерным способом добыты около 37 т золота.

Оруденение приурочено к южному контакту апофизы Чаарташского гранитного массива (P_1), связанному с пермской постколлизионной тектоно-магматической активизацией. Вмещающие толщи сложены известняками с линзами кремней, реже доломитами (C_1t–v). В приконтактовой зоне образовался последовательный ряд метасоматитов: магнезиальные и известковые скарны, кварц-полевошпатовые метасоматиты (КПМ), развивающиеся по скарнам и гранитам, грейзены и березиты в гранитах и кварцевые метасоматиты в мраморах и скарнах (рисунок). Завершается гидротермальный процесс образованием поздних золотоносных и безрудных кварцевых и карбонатных жил. Известковые скарны слагают субширотную зону мощностью от 30 до 100 м и протяженностью до 2 км. Представлены они преимущественно мономинеральными волластонитовыми скарнами, в меньшей мере – гранатовыми и пироксеновыми.

Оруденение представлено самородным золотом в КПМ, березитах и окварцованных породах. Сульфиды, представленные в основном пиритом, реже халькопиритом, пирротином, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, молибденитом, составляют от 2 до 4 %. Наиболее богатое (до сотни г/т) и масштабное оруденение связано с КПМ, которые развиты по скарнам с частичным или полным их замещением, при этом образуются метасоматические брекчии, где КПМ выполняет роль цемента, а обломки – это реликты скарнов. КПМ также развиты по гранитам в эндоконтактовой зоне. КПМ являются околорудными и составляют основную массу промышленных руд месторождения. Березиты также содержат промышленное количество золота, вплоть до десятка г/т. Золотая минерализация также развита в зонах окварцевания скарнов, мраморов и даек. Часть золота находится в поздних кварцевых жилах.

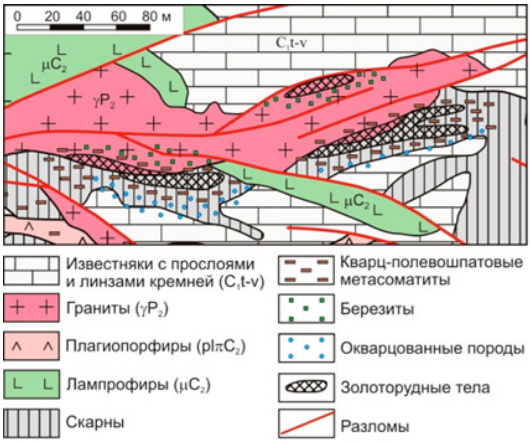


Рисунок. Схематическая геологическая карта восточной части месторождения Макмал

Другим интересным объектом является разрабатываемое месторождение Бозымчак с запасами около 40 т золота. Оно находится на западе в пределах Чаткальского сектора Срединного Тянь-Шаня. Осадочные толщи девон-каменноугольного возраста представлены карбонатными породами – известняками, доломитами, доломитистыми известняками. Породы прорваны интрузией гранодиоритов сандалаш-чаткальского комплекса (C_{2-3}). Возраст гранодиоритов по циркону составляет 303–305 млн лет.

На контакте образовались магнезиальные скарны, апомагнезиальные и известковые скарны гранатового, пироксенового и волластонитового составов в разных количественных соотношениях. Скарны образуют подковообразную залежь согласно контакту с интрузивными породами и имеют протяженность около 2 км, мощность 7–85 м, прослежены на глубину до 400 м. Залегание скарнов крутое, часто имеет падение под гранодиориты. Послескарновые изменения связаны с образованием серпентина, хлорита, флогопита, тремолита, актинолита, эпидота, кварца, позднего кальцита и др. Наиболее широко и ярко проявлены процессы серпентинизации вплоть до образования серпентинитов. Они развиваются по доломитам и по магнезиальным и преобразованным скарнам.

Золото-медное оруденение располагается в пределах развития скарнов и серпентинитов. Оруденение наложено на гранат-волластонитовые и гранат-пироксеновые скарны, на апомагнезиальные скарны с серпентинитами. Основные компоненты – золото, медь и серебро, имеющие высокие коэффициенты корреляции между собой. Содержание сульфидов составляет 5–15 %. Основными рудными минералами являются халькопирит, борнит, халькозин, пирит, пирротин, золото, магнетит. Реже встречаются арсенопирит, кобальтин, молибденит, галенит, сфалерит, теннатит и др. Видимое под микроскопом самородное золото чаще всего встречается внутри борнита или в его краевых частях, в халькопирите или в непосредственной близости от борнита в нерудных минералах. Очень редко включения золота наблюдались в арсенопирите, пирите и др. Размеры наблюдаемых под микроскопом золотин колеблются от 1 микрона до 0,3 мм.

Таким образом, наряду со скарновым типом золото-медных руд на месторождении Бозымчак имеется серпентинитовый промышленный тип руд, который перерабатывается на фабрике.

Заключение. По относительному количеству месторождений и запасам золота территория Тянь-Шаня (по крайней мере, в пределах Кыргызстана) может считаться золото-скарновой провинцией. Формирование золото-скарновых месторождений происходило в палеозое при различных геодинамических обстановках (таблица).

На золото-скарновых месторождениях на начальных стадиях формируются магнезиальные и известковые скарны. В последующие стадии (кислотного выщелачивания) происходят различные метасоматические изменения, наложенные в основном на скарны и в меньшей мере на окружающие их породы – гранитоиды, терригенные и карбонатные породы и др. Механизм рудоотложения – это главным образом процесс метасоматического замещения скарнов или жильного выполнения в скарнах с отложением рудных минералов.

Золотоносные кварц-полевошпатовые метасоматиты и серпентиниты являются редко встречающимися образованиями на скарновых месторождениях золота.

Таблица. Скарновые месторождения золота Кыргызстана

Геодинамические обстановки, возраст	Северный Тянь-Шань	Срединный Тянь-Шань	Южный Тянь-Шань
Островодужные обстановки раннего палеозоя	Акташ Тохтонысай Насоновское		
Активные континентальные окраины переходные к коллизии каменноугольного возраста		Бозымчак Куру-Тегерек Каратюбе Чанач	
Внутриплитная тектоно-магматическая активизация пермская		Макмал Кумбель Кичи-Сандык	Алтын-Джилга Гавиан Чалкуйрюк-Анджилга Караказыкская группа Каратор

Пархачев А. А.[1, 2] (Andrey_Parhachev@vsegei.ru), Глухов Ю. В.[2] (glukhov@geo.komisc.ru)
[1] ФГБУ «Институт Карпинского», Сыктывкарский сектор, г. Сыктывкар;
[2] Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

ПИРОПОВЫЕ СПУТНИКИ АЛМАЗОВ ЦИЛЕМСКОГО ПОДНЯТИЯ НА СРЕДНЕМ ТИМАНЕ

Пиропы Цилемского поднятия по морфологии, составу, набору микровключений и строению схожи с пиропами Четласского поднятия и Умбинского кимберлитового поля Среднего Тимана. Морфологически преобладают магматически-овализированные и обломочные формы. По составу относятся к альмандин-пиропам с низким содержанием хромистого уваровитового минала. Внутреннее строение пиропов преимущественно однородное, отмечаются микровключения хромшпинелидов, срастания минеральных фаз хромшпинелида, пироксена и рутила.

Ключевые слова: пиропы, спутники алмазов, Средний Тиман.

Участок исследований расположен на Среднем Тимане в пределах Цилемского поднятия и охватывает левые притоки р. Цильма – рр. Кузнечиха, Чирка, Каменка, Лиственничная, Коренная. Многолетний вклад в изучение полезных ископаемых Цилемского поднятия внесли Юдин В. С., Плякин А. М., Пачуковский В. М., Апенко М. А. и многие другие. Большое значение имеет находка двух кристаллов алмаза в русловых отложениях р. Цильма в 1958 г., позже в ходе специализированных работ были выявлены лишь шлиховые ореолы их минералов-спутников в рыхлых отложениях некоторых водотоков. Нами получены новые данные о пироповых гранатах, их составе, морфологии, распределении.

В геологическом строении района исследований участвуют дислоцированные терригенные среднерифейские и терригенные, терригенно-карбонатные и карбонатные верхнерифейские образования, на которых с резким угловым несогласием залегают слабо дислоцированные терригенные и вулканогенно-терригенные отложения палеозоя. Магматические образования представлены долеритами среднедевонского канино-тиманского комплекса.

Объектом исследования являются пироповые гранаты (25 зерен), выделенные из концентратов шлиховых и протолочных проб, отобранных с участков рр. Коренная, Кузнечиха, Лиственничная, Чирка. Исследования проводились на базе ЦКП «Геонаука».

Пиропы характеризуются лиловым цветом с разной его интенсивностью, поверхность зерен глянцевая, сопровождаемая стеклянным блеском. Размер варьирует от 0,4 до 0,8 мм. Зерна имеют обломочную, округлую, овализированную формы, представленные умеренно-уплощенными и умеренно-удлиненными, угловато-округлыми или округло-угловатыми разностями. Овализация пиропов происходит еще в глубинных обстановках и является результатом оплавления гранатовых зерен при взаимодействии с кимберлитовым расплавом [1]. Характерным элементом магматогенного округления зерен пиропов является их специфичная глянцевая (леденцовая) поверхность, сопровождаемая стеклянным блеском, который хорошо заметен при определенных углах освещения-отражения при повороте зерен. Стеклянный блеск есть как на округлых криволинейных участках зерен, так и на плоских сколотых поверхностях.

При изучении микрорельефа наблюдается типичная особенность кимберлитовых пиропов – трещиноватость и оскольчатость. Также у зерен отмечается бугорчатая поверхность, характеризующаяся упорядоченным расположением бугорков-микрокристаллитов. Остроребер-ные обломочные формы с криволинейными и часто бугорчатыми поверхностями представляют собой предельные формы гипергенного растворения пироповых гранатов [1]. Такая форма с бугорчатостью является типичной для пиропов из промежуточных коллекторов. По нашим сведениям, гипергенный бугорчато-черепитчатый микрорельеф имеется также у пиропов из элювизированной верхней части кимберлитовой (альнеитовой) трубки Водораздельная.

По степени механической изношенности поверхности зерен, оцененной на принципах классификации Л. А. Зимина [5], преобладают пиропы, у которых площадь первичных поверхностей составляет более 50 % (II класс). Не менее часто встречаются зерна с признаками сильного механического износа, где первичные поверхности сохранились в виде реликтов (III класс). Пиропы без следов экзогенного изменения первичной поверхности наблюдаются редко и со-

ставляют лишь 16 % от всего количества зерен в выборке (I класс). Они выделены из девонских кварцевых песчаников (р. Коренная). Также имеется зерно пиропа с признаками минимальной изношенности (менее 5 %) из косового аллювия р. Кузнечиха. Значительный механический износ исходной поверхности и сортированность зерен уверенно указывают на пребывание пиропов в обстановке высокой (или весьма длительной) гидродинамической (возможно также эоловой) активности.

По составу пироповые гранаты относятся к альмандин-пиропам, как правило, с низким содержанием хромистого уваровитового минала. Содержание MgO в данных гранатах варьирует от 17,5 до 22,4 мас. %. Содержания вклада в гранатах соответствующего расчетного пиропового минала $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ находятся в интервале от 62 до 78 %. Аналогично равномерно в пироповых гранатах распределены и другие компоненты.

На дискриминационной диаграмме Н. В. Соболева [4] наибольшая часть составов зерен пиропов компактно локализована в поле лерцолитового парагенезиса (рисунок). Основной кластер точек находится в узком диапазоне значений по хрому и кальцию – 1,6–3,6 мас. % Cr_2O_3 и 4,9–5,8 мас. % CaO. Причем в этом поле оказались составы пиропов практически из всех проб, за исключением зерна с участка р. Кузнечиха. Состав последнего несколько выделился повышенным содержанием кальция (6,3 мас. % CaO) и формально оказался в поле верлитового парагенезиса. Также за пределами лерцолитового поля оказались составы двух пироповых зерен из пробы с участка р. Кузнечиха. Описанное распределение составов в целом характерно для пироповых гранатов Среднего Тимана. Как видно на рисунке, оно схоже с распределением пиропов из трубки Умбинская [3] и во многом напоминает распределение составов пироповых гранатов бассейна р. Увъю Четласского поднятия [2].

Внутреннее строение пиропов преимущественно однородное. Иногда отмечаются микровключения хромшпинелидов (до 4 мкм) и срастания минеральных фаз хромшпинелида с пироксеном, а в другом зерне еще и с рутилом.

Пиропы Цилемского поднятия по морфологии, составу, набору микровключений и строению схожи с пиропами Четласского поднятия и Умбинского кимберлитового поля Среднего Тимана. Морфологически преобладают магматически-овализированные («леденцовые») и обломочные угловато-округлые или округло-угловатые формы с характерным зеркальным блеском. Есть формы («псевдокубоиды») и элементы (бугорчатость) растворения, возникающие чаще всего при длительном пребывании в промежуточном коллекторе, а также при элювизации эродируемых верхних частей магматических материнских тел.

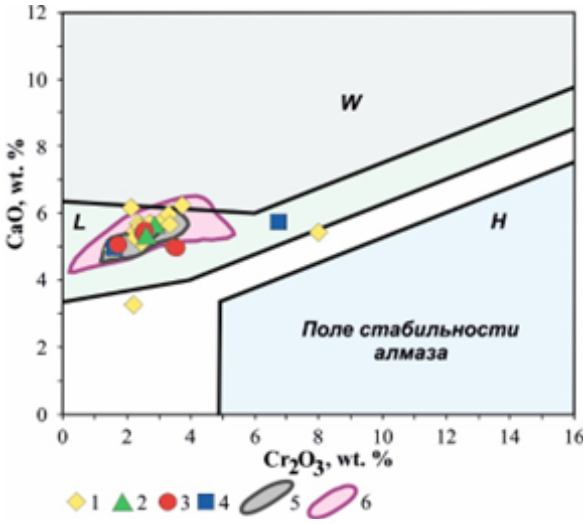


Рисунок. Фигуративные точки составов пироповых гранатов Цилемской площади в полях различных парагенезисов гранатов на диаграмме Н. В. Соболева [4]:
W – верлиты; L – лерцолиты; H – дуниты и гарцбургиты. Точки опробования (1–4): 1 – р. Кузнечиха; 2 – р. Лиственничная; 3 – р. Коренная; 4 – р. Чирка. Контуры высокой (5) и низкой (6) плотности точек составов пиропов трубки Умбинская, Вольско-Вымская гряда [3].

Полученные распределения составов изученных пиропов Цилемской площади на дискриминационной диаграмме Н. В. Соболева практически аналогичны местным среднетиманским источникам – таким, как, например, кимберлиты Умбинского поля на Вольско-Вымской гряде. По составу пироповые гранаты являются альмандин-пиропами лерцолитового парагенезиса, относящегося к породам верхней литосферной мантии. Глубинных высокохромистых пиропов из областей фазовой стабильности алмаза обнаружить не удалось. Находки таких пиропов на Среднем Тимане являются редкостью.

Поскольку значительная часть пироповых гранатов очевидно связана с девонским коллектором и, по-видимому, обстановками активной гидродинамики, механический износ поверхности пиропов в целом относительно высокий. При этом редкие слабоокатанные зерна пиропов также встречаются. Увеличение точности прогнозов на алмазоносность Цилемской площади требует увеличения репрезентативности шлихового опробования древних осадочных коллекторов и четвертичных аллювиальных отложений с охватом дренирующих регион водотоков различного ранга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск : Филиал «Гео» Издательства СО РАН; Издательский дом «Манускрипт», 2001. – 276 с.
2. Пыстин А. М., Глухов Ю. В., Бушенев А. А. Новая находка алмаза и перспективы коренной алмазоносности Четласского поднятия (Средний Тиман) // Записки Горного института. – 2023. – Т. 264, Вып. 6. – С. 842–855.
3. Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Гриффин В. Л. Распределение редких элементов в глубинных минералах кимберлитов как признак плюмовых процессов на Севере Русской платформы // Глубинный магматизм, его источники и плюмы. Труды IX международного семинара. – Миасс : Изд-во Института географии СО РАН, 2009. – Вып. 1. – С. 134–157.
4. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск : Наука, 1974. – 263 с.
5. Хмельков А. М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). – Новосибирск : АРТА, 2008. – 252 с.

Писарев П. А. [1], Куприянова Т. Н. [1], Козлов Д. С. [1], Власов Е. А. [2], Колова Е. Е. [3]

[1] ООО «Удинск Золото» (ПАО «Полюс»), г. Хабаровск; [2] Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва; [3] ФГБУН «СВКНИИ ДВО РАН», г. Магадан

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУД И ФОРМАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУЛЬБАТКАН

В работе представлены обновленные данные об особенностях геолого-структурного строения и минерального состава руд месторождения Чульбаткан. Показана взаимосвязь тектоники и процессов рудообразования на месторождении: руды локализуются в узлах пересечения систем разломов восток-северо-восточного и северо-западного простирания. Руды месторождения малосульфидные, полезные компоненты руд – золото (главный) и серебро (попутный). Полученные результаты исследования геологического строения и минерального состава руд, ГЖВ позволили отнести месторождение к золоторудным системам, связанным с восстановленными интрузиями (RIRGS).

Ключевые слова: золото, месторождение, Чульбаткан, Нижнее Приамурье, восстановленные интрузии, RIRGS.

Месторождение Чульбаткан находится на территории Амгунь-Бичинского междуречья, в центральной части северного окончания Сихотэ-Алинской складчатой системы, в южной части Херпучинского рудно-россыпного узла.

Месторождение локализовано в пределах многофазного гранодиорит-плагиогранитового Чульбатского массива нижнеамурского интрузивного комплекса позднемелового возраста. Первая фаза массива представлена крайне ограниченно – кварцевыми диоритами, вторая, главная фаза – гранодиоритами и плагиогранитами, третья фаза – дайками аплитов, гранитов и спессартитов. Массив прорывают терригенные образования лимурчанской толщи и горинской, пионерской и пиванской свит среднеюрского–раннемелового возраста, сложенных переслаивающимися песчаниками, алевролитами (см. рисунок).

Важнейший рудоконтролирующий фактор – тектонический. Рудная минерализация месторождения Чульбаткан локализуется в узле пересечения систем разломов восток-северо-восточного (Чульбатский разлом) и северо-западного (Центральный, Придолинный, Западный разломы) простирания. Оруденение не имеет единого генерального направления. Частично оно тянется вдоль Чульбатского разлома, но основная часть его приурочена к лежачему блоку этого разлома и представляет собой «скопление микропрожилков» неправильной формы, простирающееся в восток-северо-восточном и юго-восточном направлениях.

Гидротермально-метасоматические процессы на месторождении в целом проявлены неравномерно. Выделяются четыре основных типа метасоматических изменений рудовмещающих пород: березитизация, карбонатизация, аргиллизация и окварцевание. Породы зон бедных руд (0,1–1,0 г/т золота) преимущественно березитизированы, карбонатизированы и аргиллизированы, степень же их окварцевания незначительная. В зонах богатых руд (> 1 г/т) проявлены как процессы березитизации, так и более позднего достаточно интенсивного окварцевания. С последним главным образом связано более богатое золотое оруденение.

Рудные тела выделяются только по результатам опробования и морфологически представляют собой штокверк с кварцево-сульфидной минерализацией. Руды вкрапленные или прожилково-вкрапленные, количество рудных минералов обычно не превышает 2–3 %, изредка достигая в единичных образцах 20–25 % (желваки сливного ксеноморфного пирита до 5 см). В результате текущих исследований и ранее другими исследователями [1, 6] отмечается, что в составе руд установлены пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин, молибденит, тетраэдрит-(Zn), тетрадимит, алтаит, теллуровисмутит, гессит, волынскит, рутил, минералы золота – калаверит, петцит, самородное золото. Следует отметить, что в богатых рудах возрастает распространенность теллуридов и золото-серебряные теллуриды начинают играть роль важных минералов-концентраторов Au и Ag.

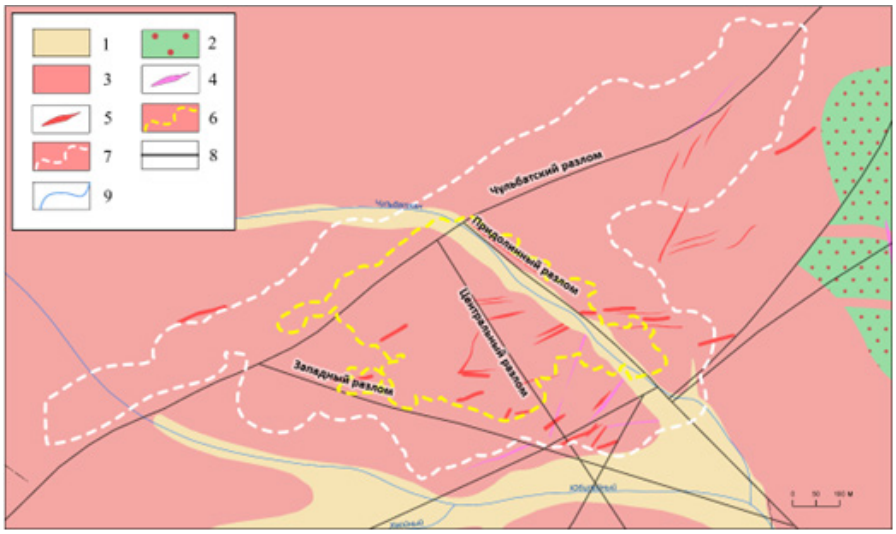


Рисунок. Геологическая схема центральной части месторождения Чульбаткан:
1 – аллювиальные отложения; 2 – ороговикованные алевролиты, песчаники (горинская свита); 3 – плагиограниты (вторая фаза нижнеамурского интрузивного комплекса); 4 – дайки диоритовых порфиритов (третья фаза нижнеамурского интрузивного комплекса); 5 – дайки аплитов (третья фаза нижнеамурского интрузивного комплекса); 6 – проекция богатого рудного домена; 7 – проекция бедного рудного домена; 8 – достоверные разломы; 9 – ручьи

Самородное золото ассоциирует с минералами теллура, часто встречается в трещинах в катаклазированном пирите, в виде включений в блеклой руде. Для зёрен самородного золота характерна изометричная или удлинённая форма или округлая ксеноморфная. Размеры их, как правило, не более 60 мкм, изредка попадаются более крупные зерна – до 0,8 мм. В присутствии калаверита самородное золото имеет наибольшую пробность (до 938 ‰). В рудах, не содержащих в своём составе калаверит, пробность золота снижается до 860 ‰.

Исследование газово-жидких флюидных включений (ФВ) в мелкозернистом и скрытокристаллическом кварце с рудной минерализацией показало, что он формировался при температурах от 335 до 128 ºС из среднесолёных (от 6,4 до 1,7 мас. % экв. NaCl) хлоридных растворов, насыщенных ионами Fe, Mg и Na. Основная масса кварца кристаллизовалась в диапазоне температур от 250 до 175 ºС. В работе [1] приведены результаты исследования флюидных включений в дорудном, крупнокристаллическом кварце. Температура его образования определена как 330–325 ºС. Концентрация солей составила 5,4 мас. % экв. NaCl; CO_2 – 2,5 моль/кг; CH_4 – 0,6 моль/кг раствора. Расчетная плотность углекислотно-водного флюида 0,87 г/см^3.

По ряду характерных признаков месторождение Чульбаткан отвечает широко распространенному классу золоторудных месторождений, связанных с восстановленными интрузиями (RIRGS), выделенному в конце прошлого века в золоторудном поясе Тинтина [7]. Эталонные месторождения этого класса, такие как Форт Нокс, Пого (США), Даблин Галч, Клир Крик (Канада), Тимбарра, Кидстоун (Австралия), характеризуются большими запасами при весьма невысоких содержаниях золота (0,7–2,0 г/т) [7].

Приуроченность к активной континентальной окраине, неоднократная тектономагматическая активизация территории являются благоприятными условиями для размещения месторождений этого класса.

Гранодиориты и плагиограниты Чульбатского массива мелового возраста, вмещающего месторождение, характеризуются нормальной и умеренной щелочностью ($Na_2O + K_2O$ = 5,07–7,24 %) калий-натриевого типа (Na_2O / K2O = 0,55–1,24), высокой и весьма высокой глиноземистостью (Al_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO + MgO) = 2,27–3,06). Локализация массива в поясе развития пород ильменитовой серии [5], низкое отношение двухвалентного железа к трехвалентному (Fe_2O_3 / FeO = 0,17), наличие шлиховых потоков ильменита при отсутствии магнетита (Росгеолфонд. Геологический отчёт № 20811, 1986) указывают на то, что массив формировался в восстановительных условиях. Чульбатский массив сопровождается дайками гранитов, аплитов и спессартитов. Характер гидротермально-метасоматических изменений, в которых ведущую роль играют березитизация и окварцевание, также говорит в пользу золоторудных систем, связанных с восстановленными интрузиями [3, 7, 9].

Ряд признаков: малосульфидный состав руд (менее 3 %), тесная ассоциация самородного золота с минералами теллура (алтаит, калаверит, петцит и др.), небольшие размеры зерен золота и высокая пробность – позволяют отнести месторождение Чульбаткан к аналогичным по генетическому типу объектам на северо-западе североамериканского континента и на северо-востоке России [2–4, 7–9]. Результаты исследования флюидных включений позволяют утверждать, что температура, соленость и насыщенность CO_2 рудообразующего флюида соответствуют типу RIRGS [3, 7, 9]. Наконец, геохимические особенности месторождения, проявленные во вторичных ореолах рассеяния, такие как ассоциация золота с Ag, Sb, Cu, Pb, Te, Bi, Zn, наличие Au-As-Bi с W и Sn рудного фактора, низкие содержания Rb и Nb в породах массива, корреляция содержаний золота и теллура на уровне более 90 %, позволяют предположить, что месторождение Чульбаткан относится к золоторудным системам, связанным с восстановленными интрузиями [3, 7–9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. С., Шишакова Л. Н. Минеральный состав руд золоторудного месторождения Чульбаткан, Нижнее Приамурье, Хабаровский край // Руды и металлы. – 2017. – № 3. – С. 43–50.
2. Волков А. В., Савва Н. Е., Сидоров А. А. [и др.] Золоторудное месторождение Школьное (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 3–31.

3. 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.
4. Волков А. В., Черепанова Н. В., Прокофьев В. Ю. [и др.] Месторождение золота в гранитоидном штоке Бутарный (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 214–237.
5. Меркулова Т. В., Мишин Л. Ф. Окислительно-восстановительные процессы в мезозойско-кайнозойских вулкано-плутонических системах и их роль в формировании региональных гравитационных и магнитных аномалий Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34, № 6. – С. 112–124.
6. Фомина М. И., Михалицына Т. И. Характерные минералогические черты Au-кварцевого месторождения Чульбаткан (Хабаровский край) // Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (10–12 апреля 2024 г.). – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 383–386.
7. Hart C. J. R. Reduced Intrusion-Related Gold Systems // Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. – 2007. – № 5. – P. 95–112.
8. Logan J. M. Prospective Areas for Intrusion-Related Gold-Quartz Veins in Southern British Columbia // Geological Fieldwork 2000, Paper 2001-1.
9. Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K. // Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // Mineral. Depos. – 1999. – V. 34. – P. 323–334.

Плотинская О. Ю.[1], Азовскова О. Б.[2], Власенко Н. С.[3], Булатов В. А.[2], Ровнушкин М. Ю.[2]
[1] ИГЕМ РАН, г. Москва, [2] ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург,
[3] СПбГУ, РЦ «Геомодель», г. Санкт-Петербург

ВЫСОКОРЕНИЕВЫЙ МОЛИБДЕНИТ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГУМЕШЕВСКОЕ И САЛАВАТ (УРАЛ)

При помощи РСМА и EBSD изучены химический состав и политипные модификации молибденита месторождений Гумешевское и Салават (Средний и Южный Урал). На Гумешевском молибденит из скарнов содержит в среднем Re 0,07 мас.%, а из аргиллизитов Re 0,39 мас.%. В молибдените Салавата в среднем Re 0,16 мас.%. В участках зерен молибденита с повышенными содержаниями Re доля выше 3R-политипа молибденита. Полученные данные согласуются с данными для других аналогичных месторождений Урала.

Ключевые слова: порфировые, скарны, молибденит, рений, Урал.

Молибденит является основным минералом-носителем Re, важнейшего критического и стратегического металла [6]. Около 80 % Re добывается из порфировых месторождений [9], и изучению вариаций содержаний Re на них посвящено множество работ. Скарновые и скарново-порфировые месторождения с этой точки зрения изучены заметно хуже. Одним из примеров крупных скарново-порфировых систем является Гумешевское Cu-(Au) месторождение (Средний Урал) [1]. Несмотря на то, что ни Mo, ни Re на Гумешевском месторождении не имеют промышленного значения, исследование молибденита позволяет проследить эволюцию типоморфных свойств минерала на протяжении эволюции гидротермальной системы и выявить его роль как индикатора условий минералообразования. В сравнительных целях изучен молибденит Cu-порфирового месторождения Салават (Южный Урал). Запасы Гумешевского месторождения на 2000 г. – 462 тыс. т Cu, ресурсы по P_1 – 798 тыс. т [4]. Отношение Cu/Mo в рудах составляет 600–1700; содержания Mo составили 0,2–4 ppm (до 480 ppm в единичных пробах). Содержания Re обычно не превышали 1 ppb [2]. Прогнозные ресурсы Cu месторождения Салават

(P_1) – 993 тыс. при среднем содержании 0,48 % [3]. Содержания Mo 1–15 ppm, Re – менее 30 ppb, в единичных пробах до 4700 ppb; отношение Cu/Mo в рудах 600–1000; среднее содержание Re в молибдените составило по двум пробам 0,24 и 0,46 мас.%. [2].

Химический состав молибденита был изучен на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX100 в ЦКП «Геоаналитик» (аналитик В. А. Булатов) при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе зонда 40 нА, предел обнаружения (3σ) Re 0,08 мас.%. Политипные модификации молибденита определялись при помощи метода дифракции обратно-рассеянных электронов (EBSD) на электронном микроскопе Hitachi S-3400N с детектором Oxford NordlysNano EBSD с предварительным травлением потоком аргоновой плазмы в ресурсных центрах СПбГУ «Геомодель» и «Нанофотоника» (аналитик Н. С. Власенко).

На месторождении Гумешевское молибденит был изучен в гранатовых скарнах, где он ассоциирует с сидеритом, актинолитом, хлоритом, пиритом и халькопиритом и в аргиллизитовых метасоматитах в ассоциации с кварцем, каолинитом, гидрослюдами, пиритом и магнетитом. В молибдените из скарнов содержится Re от < 0,08 до 0,23 мас.%, среднее 0,07 (n = 14). В молибдените из аргиллизитов – от < 0,08 до 1,17 мас.%, среднее 0,39 (n = 136). Распределение Re в пределах чешуек чрезвычайно неравномерное: участки с содержаниями > 0,7 мас.% чередуются с участками с < 0,1 мас.% Re (рис. 1, А). На месторождении Салават молибденит установлен в кварц-пиритовом прожилке с альбитом, пумпелиитом и хлоритом. Концентрации Re от 0,1 до 0,28 мас.%, среднее 0,16 мас.% (n = 10) близки к таковым из скарнов Гумешевского (см. рис. 1, А). По данным EBSD-картирования, молибденит из скарнов представлен или политипом 2H, или смесью 2H и 3R. Молибденит из аргиллизитов представлен политипами 3R, 2H, и смесью 2H + 3R. При этом в пределах отдельных зерен однозначной зависимости между содержаниями Re и политипом не наблюдается: и 3R, и 2H-молибденит содержат Re как < 0,08 мас.%, так и > 0,5 мас.% (рис. 2, Б). Тем не менее доля 3R-молибденита выше в участках с повышенными содержаниями Re (см. рис. 2, А).

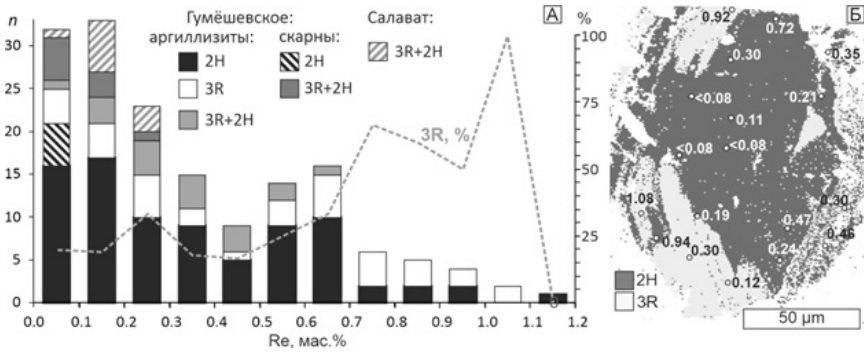


Рис. 1. А – гистограмма распределения содержаний Re (мас.%) в молибдените Гумешевского и Салаватского месторождений, по данным РСМА; пунктирная линия – 3R / (3R + 2H); Б – карта фаз с распределением политипов молибденита в пределах зерна из аргиллизитов Гумешевского месторождения и содержания Re в точках (мас.%)

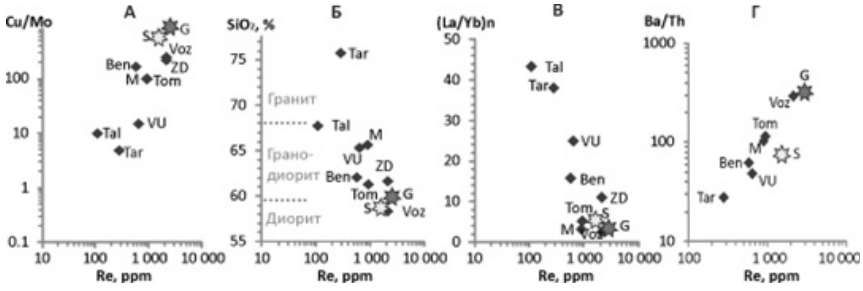


Рис. 2. Зависимость среднего геометрического содержания Re в молибдените от состава руд и интрузивных пород порфировых месторождений Урала:
месторождения: Tom – Томинское, ZD – Зеленый дол, Voz – Вознесенское, VU – Верхнеуральское, M – Михеевское, Tar – Тарутино, Ben– Бенкала, Tal– Талицкое, G – Гумешевское, S – Салават

Повышенные концентрации Re в молибдените аргиллизитов, то есть низкотемпературных кислотных метасоматитов, по сравнению с более высокотемпературными скарновыми ассоциациями хорошо согласуются с наблюдениями о том, что низкие температуры и повышенная кислотность флюида способствуют концентрированию Re в молибдените в масштабах отдельных месторождений [5].

Среднее геометрическое содержание Re в молибдените Гумешевского месторождения (2400 ppm) близко к содержаниям, установленным для молибденита медно-порфировых месторождений Биргильдинское, Вознесенское и Зеленый Дол (см. рис. 2). Среднее геометрическое содержание Re в молибдените месторождения Салават составляет 1540 ppm и близко к таковым для Вознесенского, Томинского и Михеевского месторождений (см. рис. 2). Как было показано [8], среднее геометрическое содержание Re в молибдените порфировых и скарново-порфировых месторождений Урала положительно коррелирует с отношением Cu/Mo в рудах и молибденит месторождений Гумешевское и Салават подтверждает эту закономерность (см. рис. 2, А). Это доказывает, что баланс масс играет ведущую роль в концентрировании Re в молибдените. Кроме того, изученный молибденит обоих месторождений подтверждает отрицательную связь между Re в молибдените и SiO_2 и величиной $(La/Yb)_n$ (см. рис. 2, Б, В), то есть повышенными содержаниями Re характеризуются молибдениты, связанные с более основными и менее дифференцированными породами. Также данные для месторождений Гумешевское и Салават подтверждают положительную корреляцию между содержанием Re и отношением Ba/Th (см. рис. 2, Г) в породах, которое является показателем мобильности флюида в зоне субдукции [7], что доказывает заметную роль приповерхностного субдукционного компонента в балансе Re при генерации материнских магм.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабежев А. И. Гумешевское скарново-медно-порфировое месторождение (Средний Урал, Россия): анализ эволюции рудно-магматической системы (с использованием изотопной геохимии Sr, Nd, C, O, H) // Геология рудных месторождений. – 2010. – Т. 52, № 2. – С. 153–170.
2. Грабежев А. И. Рений в медно-порфировых месторождениях Урала // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 1. – С. 16–32.
3. Иванов А. И., Вартанян С. С., Черных А. И. [и др.] Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов, золота, меди, свинца, цинка Российской Федерации (по результатам работ ФГУП ЦНИГРИ за 2012–2015 гг.) // Отечественная геология. – 2016. – № 5. – С. 1–52.
4. Штейнберг Д. Д. Гумешевское рудоуправление // Уральский геологический журнал. – 2000. – № 1. – С. 5–46.
5. Berzina A. N., Sotnikov V. I., Economou-Eliopoulos M., Eliopoulos D.G. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia // Ore Geol. Rev. – 2005. – V. 26. – P. 91–113.
6. Chakhmouradian A. R., Smith M. P., Kynicky J. From “strategic” tungsten to “green” neodymium: a century of critical metals at a glance // Ore Geol. Rev. – 2015. – V. 64. – P. 455–458.
7. Pearce J. A., Stern R. J., Bloomer S.H., Fryer P. Geochemical mapping of the Mariana Arc-Basin system: Implications for the nature and distribution of subduction components // Geochem. Geoph. Geosys. – 2005. – V. 6. – P. Q07006.
8. Plotinskaya O. Y., Zu B., Seltmann R. [et al.] Tectonic history of the Urals as stored in molybdenites of porphyry and greisen deposits // Earth. Sci. Rev. – 2023. – V. 247. – P. 104609.
9. Polyak D. E. Rhenium: U.S. Geological Survey, 2011 Minerals Yearbook, 2013. http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rhenium/myb1-2011-rheni.pdf. обращение 02/02/2025

Подмогов Ю. Г.[1] (podmogov1@yandex.ru), Керцман В. М.[2] (natagm@bk.ru),
Мойланен Е. В.[3] (info@geotechnologies.ru), Савинова И. А.[3] (siran1981@yandex.ru)
[1] ООО «Геотехнологии», г. Москва;
[2] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва; [3] ИПУ РАН, г. Москва

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РУДНЫХ ЗАДАЧ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

Рассмотрены классификация современных аэроэлектроразведочных систем и особенности комбинированной электромагнитной системы. Показаны геоэлектрические разрезы с объектами, выявленными по результатам инверсии временных, частотных и комбинированных данных. Приводятся практические результаты использования комбинированной аэроэлектроразведки при поисках рудных полезных ископаемых на Дальнем Востоке: при поисках эпитермальных высокосульфатных месторождений золота на Камчатке в 2021 г. и медно-никелевых руд в ультрамафитах Кунманьенского комплекса в Хабаровском крае в 2023 г.

Ключевые слова: комбинированная аэроэлектроразведка, электрические зондирования во временной и частотной областях, комплекс ЭКВАТОР.

Поиски медно-никелевых руд в ультрамафитах Кунманьенского комплекса в 2023 г. Аэрогеофизическая съемка [7] была направлена на изучение геологического строения Кунманьенского массива и сопредельных территорий. Цель съемки – выделение участков перспективных на обнаружение оруденения, связанного с сульфидизированными раннепротерозойскими мафит-ультрамафитами кунманьенского комплекса. Были выполнены опытные работы над известными рудными залежами в пределах площади работ. Эти работы показали, что геоэлектрические разрезы достаточно хорошо согласуются с данными бурения, рудные интервалы, насыщенные сульфидами, заметно отличаются более низким сопротивлением от высокоомных ультрамафитов (рис. 1).

В целом выполненные работы на участках, содержащие установленные и разведанные рудные тела, позволили установить главный геофизический признак наличия руд Кунманьенского типа [4, 5]. Это значительный перепад удельных сопротивлений пород от уровня 8000–15 000 Ом·м и более, характерный для рудовмещающих габброидов до уровня 2000–3000 Ом·м для рудных интервалов. Причиной падения сопротивления является наличие сульфидов, содержащих рудные элементы. Рудовмещающие габброиды (кроме высоких сопротивлений) хорошо картируются по резкодифференцированному магнитному полю и минимальным значени ям радиоактивности. По аналогии с известными залежами выделялись перспективные участки, содержащие объекты с аномально низкими сопротивлениями, среди высокоомных раннеархейских габброидов майско-джанинского комплекса (νAR1md). На перспективном участке Тыркан в зоне аномально низких сопротивлений (в скальном обнажении) обнаружен образец ультрамафитов, обогащенный сульфидами (рис. 2).

На выявленных аномальных объектах удельные сопротивления очень часто составляют значения ниже 1000 Ом·м, достигая 150–600 Ом·м. Мы предполагаем, что в этих объектах содержания сульфидов, а значит и содержания полезных рудных компонентов, могут заметно превышать содержания в установленных рудных телах месторождения Кун-Манье.

Поиски эпитермальных высокосульфатных (алунитовых) месторождений золота на Камчатке в 2021 г. В месторождениях эпитермального [8, 9] и Cu-Au порфирового типов содержится значительная доля мировых запасов золота и меди. Весьма перспективной областью для обнаружения таких месторождений является Северо-Камчатский рудный район [1, 3, 6]. Данные месторождения обладают уникальными геофизическими характеристиками. Золоторудные залежи связаны с вторичными кварцитами, локализованными в вулканитах, преимущественно андезитового состава [2]. Для вторичных кварцитов характерны высокие сопротивления (особенно в области кварцевого ядра) и отсутствие намагниченных и радиоактивных объектов в верхней части разреза (ВЧР). Пример картирования вторичных кварцитов показан на рис. 3. Карта локальной составляющей аномального магнитного поля демонстрирует отсутствие магнитных объектов в ВЧР, хотя на глубине фиксируется слепая магнитная интрузия

(черный пунктир), которая может быть источником гидротерм для формирования рудосодержащих пород. На карте кажущихся сопротивлений контрастной аномалией высоких сопротивлений фиксируется перспективный золоторудный объект, связанный с вторичными кварцитами.

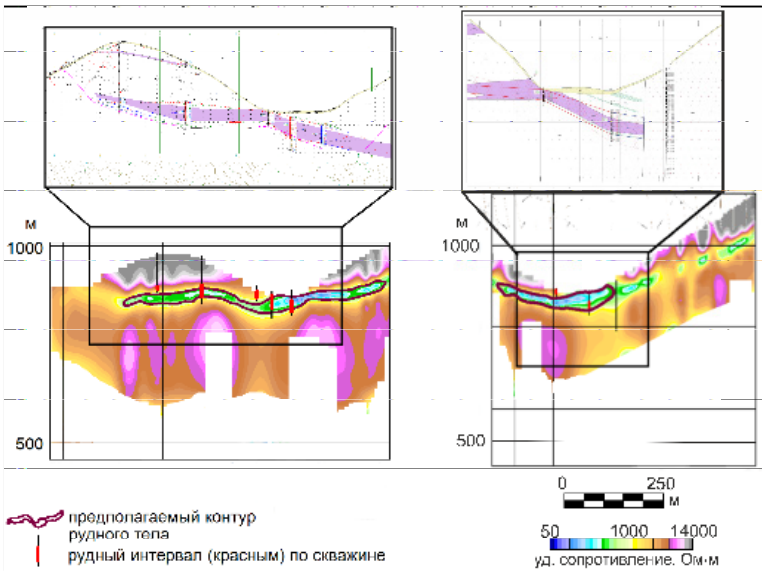


Рис. 1. Залежь Соболевская – сопоставление геоэлектрических разрезов с данными бурения: внизу представлены геоэлектрические разрезы, построенные в результате 1D инверсии данных аэроэлектроразведки, вверху – разрез, построенный по данным бурения

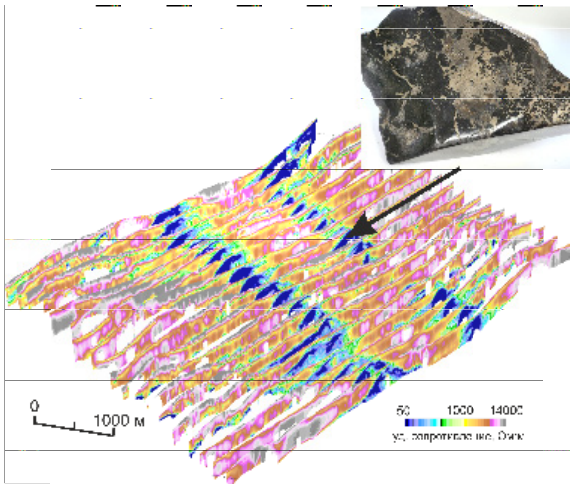


Рис. 2. Объемное представление геоэлектрических разрезов по участку Тыркан

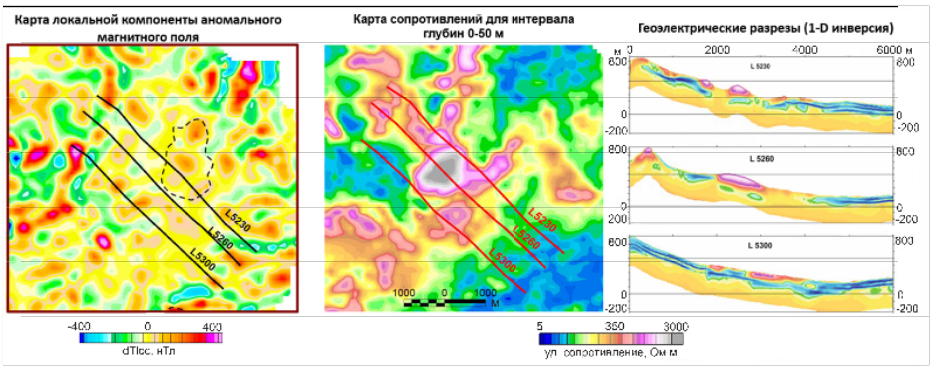


Рис. 3. Участок Малетойваям. Геофизические признаки месторождения эпитермального типа

Выводы.

1. Комбинированная электромагнитная система комплекса осуществляет электромагнитные зондирования как в частотной, так и во временной области это обеспечивает детальность изучения верхней части разреза и достаточную глубинность исследований.

2. Система выполняет высокоточные измерения кажущихся сопротивлений среды в огромном динамическом диапазоне 0,1–20 000 Ом · м.

3. Инверсия с использованием частотных и временных данных существенно улучшает информативность и достоверность геоэлектрических разрезов.

4. Использование комбинированной электромагнитной системы комплекса позволяет локализовывать рудные залежи, обогащенные сульфидами среди высокоомных ультрамафитов, а также уверенно картировать золотоносные вторичные кварциты, для которых характерны очень высокие сопротивления (в кварцевом ядре) и отсутствие намагниченных и радиоактивных объектов в ВЧР.

5. Выполненные аэрогеофизические работы являются эффективным инструментом локализации перспективных участков, что значительно повышает темпы опоискования перспективных территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белков Е. Е., Дмитриев Е. И., Шелудченко С. Д. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Энынгваям-Лигинмиваям (Окончательный отчет Усть-Малетойваямской партии за 1970–71 гг. М-б 1 : 50 000. Q-P-58-126-В,Г). п. Корф, Камчатское ГУ, 1972, Камчатский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО» № 3478, РФГФ № 330240.
2. Бортников Н. С., Толстых Н. Д. Эпитермальные месторождения Камчатки, Россия // Геология рудных месторождений. – М. : ИГЕМ РАН, 2023. – Т. 65, № 7. – С. 722–752.
3. Воскресенский К. И, Корнеев А. В. Отчет о результатах поисковых и оценочных работ в пределах Малетойваямской площади в 2007–2010 гг. г. Петропавловск-Камчатский, ООО «Камчатская медная компания», 2011, Камчатский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО» № 8472.
4. Гурьянов В. А., Кириллов В. Е. Никеленосность Кун-Маньенской минерагенической зоны юго-восточного обрамления Сибирской платформы // Отечественная геология. – 2023. – № 2. – С. 43–55.
5. Иванов В. В., Игнатов П. А., Красных А. В., Макаров Д. В. Анализ геохимических ореолов района Cu-Ni месторождения Кун-Манье // Материалы XIII Российской международной научно-практической школы «Новое в познании процессов рудообразования». – М. : ИГЕМ РАН, 2024. – С. 1–4.
6. Калинин К. Б., Частухин А. В. Поисково-оценочные работы на флангах месторождения Малетойваям, в центральной и восточной части Малетойваямской площади в 2012–2018 гг. г. Петропавловск-Камчатский, ООО «Интерминералс», 2019, Камчатский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО» № 9219, РФГФ № 535717.
7. Керцман В. М., Мойланен Е. В., Подмогов Ю. Г. Возможности аэрогеофизики при поисках золоторудных месторождений различного типа // Геофизика. – 2019. – № 4. – С. 52–59.
8. Goldie M. K. A geophysical case history of the Yanacocha gold district, northern Peru // SEG Technical Program Expanded Abstracts. – January 2000. – P. 750–753. https://doi.org/10.1190/1.1816178
9. Kwan K., Prikhodko A., Legault J. M., Plastow G. C., Kapetas J., Druecker M. VTEM airborne EM, aeromagnetic and gamma-ray spectrometric data over the Cerro Quema high sulphidation epithermal gold deposits, Panama* // Exploration Geophysics, – 2015. – V. 2015, Iss. 1. – P. 1–4. https://doi.org/10.1071/ASEG2015ab309

Подмогов Ю. Г.[1] (podmogov1@yandex.ru), Керцман В. М.[2] (natagm@bk.ru),
Мойланен Е. В.[3] (info@geotechnologies.ru), Савинова И. А.[3] (siran1981@yandex.ru)
[1] ООО «Геотехнологии», г. Москва; [2] МГУ им. М. В. Ломоносова; г. Москва;
[3] ИПУ РАН, г. Москва

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПЕРЕЖАЮЩИХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОМПЛЕКСОМ ЭКВАТОР ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Опережающие аэрогеофизические исследования являются ключевым этапом в процессе перехода от стадии общих поисков к стадии детальных поисковых и поисково-оценочных 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 работ в Республике Руанда (Центральная Африка) и в Забайкальском крае. Полученные результаты позволяют существенно минимизировать объемы и сроки последующих заверочных работ.

Ключевые слова: аэроэлектроразведка, аэромагнитометрия, аэрогамма-спектрометрия, комплекс ЭКВАТОР.

Особенности электроразведочной системы комплекса 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 (32 л NaI (Tl); 1024 канала энергетической шкалы), систему сбора данных и высокоточной навигации NAVDAT, комплекс программ автоматической обработки аэрогеофизической информации [3].

Результаты аэрогеофизических исследований в Республике Руанда, 2017 г. Аэрогеофизическая съемка масштаба 1 : 50 000 была выполнена на всей территории Руанды (26 тыс. км^2). Комплекс методов включал магнитометрию, электроразведку и гамма-спектрометрию. Съемка была реализована в течение 6 месяцев. Работы выполнялись по заказу правительства Руанды в целях повышения ресурсного потенциала республики. В рамках этих исследований выделялись участки, перспективные на обнаружение различных полезных ископаемых. Рассмотрим один из участков.

Интерес к участку 5 (рис. 1) вызван наличием контрастных проводников среди достаточно высокоомных пород: в кварцитах (1) и метаморфизованных сланцах (2). Наличие кварцитов в пределах участка подтверждается практически нулевыми концентрациями РАЭ. Проводник в метаморфизованных сланцах (2) сопровождается магнитной аномалией интенсивностью 150–200 нТл. Наличие проводников и магнитных аномалий, возможно, связано с активными процессами сульфидизации. Здесь вероятно наличие золотоносных руд. Аналогичные особенности геофизических полей наблюдались на золоторудном месторождении Сухой Лог [1].

На участке 7 (рис. 2) фиксируется аномалия пониженных сопротивлений (20 Ом·м на фоне 800–2500 Ом·м), она сопровождается магнитной аномалией интенсивностью 250–350 нТл, также наблюдается повышение концентраций калия до 3 % при фоновом тории. В непосредственной близости находятся точки минерализации олова. Можно предположить возможную связь аномалии с S-W рудами.

Выполненные исследования позволили существенно уточнить контуры кварцитов (черный пунктир) среди массива гранитоидов (рис. 3). Кварциты надежно идентифицируются высокими сопротивлениями и низкой радиоактивностью. По обрамлению массива кварцитов фиксируются локальные магнитные аномалии интенсивностью 50–500 нТл. В пределах СВ части участка наблюдаются проявления олова, золота и редких металлов (колтан). В пределах магнитных приконтактных изменений возможно обнаружение золота и колтана.

Результаты аэрогеофизических исследований в Забайкальском крае. В качестве примера успешного использования опережающих аэрогеофизических работ комплексом ЭКВАТОР при поисках золота приведем два участка: Кондинский и Бахтарнак [2]. Работы на участках выполнялись по заказу компании Nord Gold.

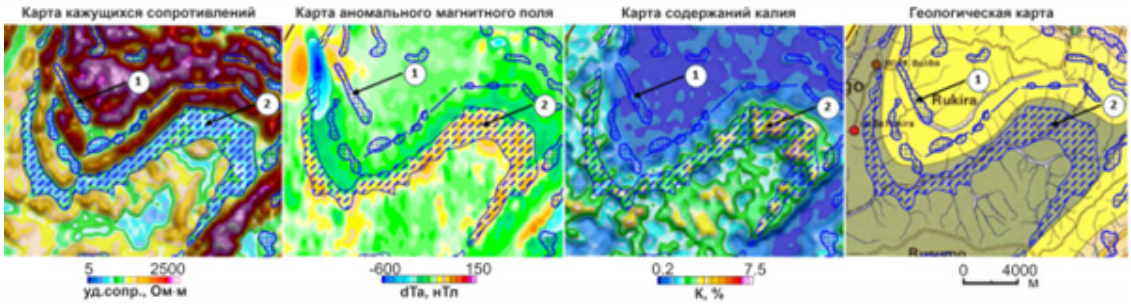


Рис. 1. Республика Руанда. Участок 5. Фрагменты геофизических полей и геологической карты

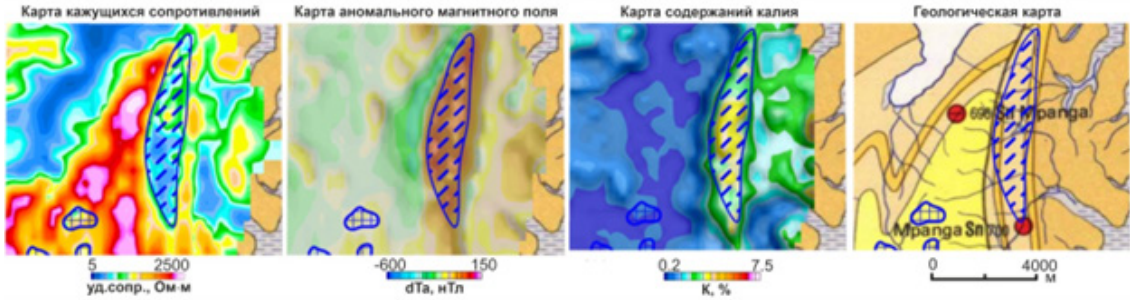


Рис. 2. Республика Руанда. Участок 7. Фрагменты геофизических полей и геологической карты

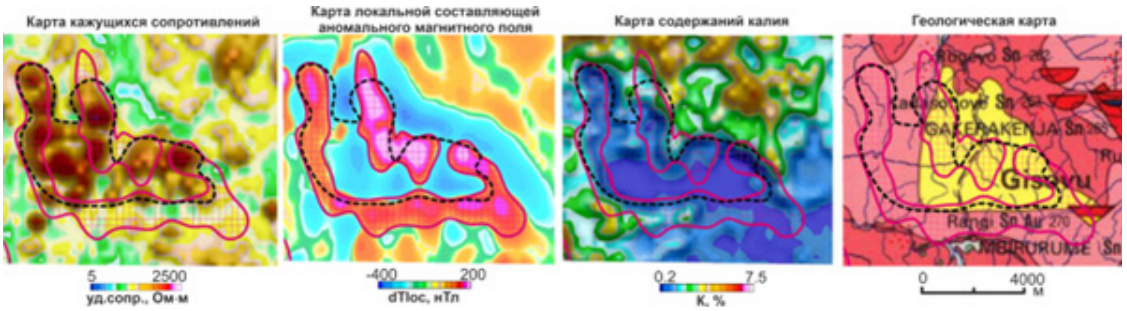


Рис. 3. Республика Руанда. Участок 25. Фрагменты геофизических полей и геологической карты

Кондинская площадь, 2019 г. Результаты на эталонном участке (на момент проведения съемки известные рудопроявления Роман и Чуостах) показали, что основным признаком наличия руды являются аномалии повышенных концентраций калия при его явном доминировании над торием (рис. 4). На отдельных аномалиях калиевой природы выполнен полный цикл работ оценочной и разведочной стадий. В 2022 г. участок Роман прошел экспертизу Государственной комиссии по запасам, были подтверждены 2 млн унций золота. Запасы месторождения составили 49 т рудного золота.

Участок Бахтарнак, 2022 г. На участке Бахтарнак были выполнены комплексные аэрогеофизические исследования масштаба 1 : 10 000 на площади около 250 км^2. Здесь перспективы золотоносности связываются с контрастными магнитными аномалиями и аномалиями пониженных сопротивлений. На рис. 5 представлены фрагменты геофизических карт и схема результатов их интерпретации на геологической основе. Здесь фиксируются линейные магнитные аномалии, соответствующие дайкам основного состава. По западным контактам даек фиксируются известные рудопроявления золота (Бахтарнак 1, 2) и пункты золотой минерализации. Между двумя магнитными объектами (среди карбонатных пород кембрия, в поле сопротивлений) фиксируется проводник изометричной формы. Его присутствие может быть связано с процессами карстообразования или активной сульфидизации. Обнаруженные локальные электропроводные области в пределах развития карбонатных пород могут содержать золоторудные объекты, по аналогии с месторождениями Куронахского или Карлинского типа.

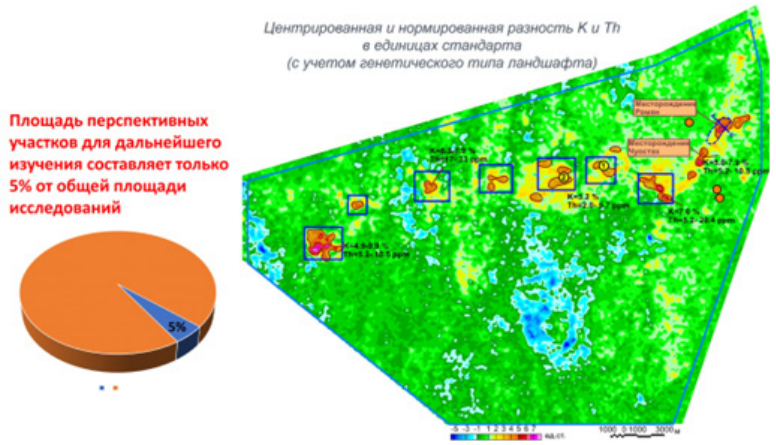


Рис. 4. Выделение золотоперспективных участков по аномальным концентрациям калия. Кондинская площадь, 2019 г.

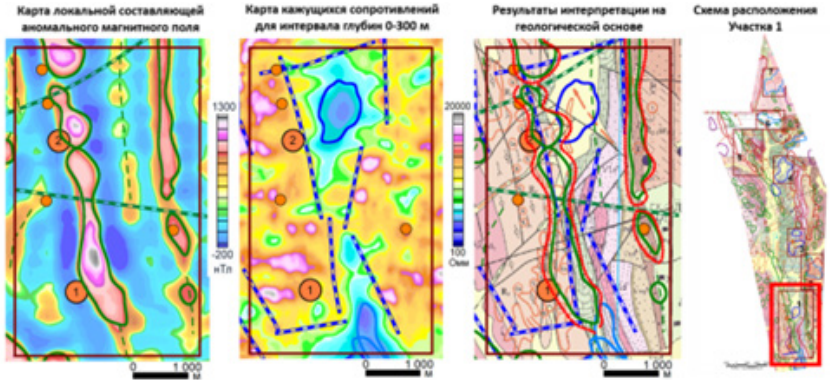


Рис. 5. Площадь Бахтарнак. Участок 1. Локализация золотоперспективных магнитных и электропроводных объектов

Выводы:

• Аэрогеофизический комплекс ЭКВАТОР осуществляет высокоточные измерения параметров магнитного поля, регистрацию полного спектра гамма-излучения, а также выполняет электромагнитные зондирования во временной и частотной области.

• Электромагнитная система комплекса осуществляет высокоточные измерения кажущихся сопротивлений в огромном динамическом диапазоне 0,1–15 000 Ом·м (пять порядков).

• Опережающие аэрогеофизические съемки являются эффективным средством локализации участков ограниченных размеров, перспективных на обнаружение различных полезных ископаемых.

• Аэрогеофизические исследования значительно сокращают темпы опоискования перспективных территорий и обеспечивают большую геологическую информативность результатов, выполняемых геологоразведочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Керцман В. М., Мойланен Е. В., Подмогов Ю. Г. Возможности аэрогеофизики при поисках золоторудных месторождений различного типа // Геофизика. – М. : МОО ЕАГО, – 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». – М. : ФГБУ «ВИМС» , 2022. – С. 18.
3. Moilanen J., Karshakov E. and 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.

Попов И. В. (popov@tsnigri.ru), Алексеев Я. В. (alekseev@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР ПО «ЗАЯВИТЕЛЬНОМУ ПРИНЦИПУ» НА АЛМАЗЫ, БЛАГОРОДНЫЕ И ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ В 2024 г.

Приведены результаты деятельности недропользователей на АБЦМ в рамках действия механизма «заявительного принципа» на территории России в 2024 г. Рассмотрены показатели: лицензирование, объемы планируемых и фактических затрат недропользователей, прирост запасов АБЦМ. Отмечены основные проблемы реализации механизма «заявительного принципа».

Ключевые слова: лицензии, «заявительный принцип», геологическое изучение, финансирование, затраты, прирост запасов, недропользователи.

Упрощенный механизм получения лицензионных участков для геологического изучения недр по «заявительному принципу» действует в России с 2014 г. с целью повышения инвестиционной привлекательности в сфере недропользования, повышения показателей воспроизводства минерального сырья и развития «юниорного» бизнеса в России [1].

На протяжении всего срока действия механизма «заявительного принципа» велась работа по совершенствованию его нормативно-правового регулирования. В настоящее время действие механизма регламентируется приказом Минприроды России и Роснедр от 28.10.2021 № 802/20 (вступил в силу с 1 января 2022 г.).

Повышенный интерес со стороны недропользователей на АБЦМ в рамках действия механизма «заявительного принципа» подтверждается количеством заявок на получение в пользование участков недр с целью геологического изучения. На начало 2025 г. за период действия механизма «заявительного принципа» на АБЦМ были поданы более 22,1 тыс. заявок. При этом стоит отметить, что на золото приходятся порядка 94 % от поданных заявок на ГИН с целью поисков и оценки месторождений АБЦМ. В 2024 г. были поданы более 2,6 тыс. заявок на АБЦМ с целью геологического изучения, что на 6 % выше показателя предыдущего года. Максимальное количество поданных заявок на АБЦМ в рамках «заявительного» механизма было подано в 2021 г. – более 3,5 тыс. [2].

По результатам рассмотрения поданных заявок, около 44 % из них удовлетворяются, остальные заявки возвращают заявителям до рассмотрения либо отклоняются регулятором по результатам их рассмотрения.

За период с 2014 по 2024 гг. недропользователи получили более 9,1 тыс. лицензий на пользование недрами по «заявительному» механизму на АБЦМ (в качестве основного ПИ). На начало 2025 г. действовали более 6,1 тыс. лицензий указанного вида, что на 5 % ниже, чем на начало 2024 г. Основной объем действующих лицензий приходится на золото – 93 %. В течение 2024 г. были выданы 767 лицензий на АБЦМ по «заявительному принципу» и 156 переоформлены. Более 1,2 тыс. лицензий на АБЦМ указанного вида были аннулированы в 2024 г., в основном по причине истечения срока действия и невыполнения условий пользования недрами [2].

Основные причины уменьшения количества действующих лицензий на АБЦМ по «заявительному принципу»: увеличение площади участков (с 100 до 500 км^2), вводимые ограничения в субъектах РФ на предоставление в пользование участков недр, постепенное исчерпание участков недр с известным ресурсным потенциалом и усиление мониторинга за деятельностью недропользователей.

Фактический объем финансирования ГРР на АБЦМ за счет средств недропользователей по лицензиям, выданным по «заявительному принципу», ежегодно растет. В 2020–2021 гг. объём финансирования увеличился почти в 2 раза по сравнению с предыдущими годами (3,9 млрд руб. – 2019 г., 7,7 млрд руб. – 2020 г. и 14,1 млрд руб. – 2021 г.). В 2023 г. объем затрат недропользователей на АБЦМ увеличился на 14,5 % по сравнению с предыдущим годом и составил 19,8 млрд руб.

Планируемый объем затрат недропользователей на ГРР на АБЦМ в 2024 г. по «заявительному» механизму предполагает их значительное увеличение – более чем в 2 раза по сравнению

с 2023 г. Однако, стоит ожидать, что фактические затраты будут меньше запланированных, что следует из сложившейся многолетней динамики.

Результатом работ по геологическому изучению участка недр, включающему поиски и оценку месторождений ПИ, является прирост запасов. Впервые прирост балансовых запасов на АБЦМ, в рамках «заявительного принципа», был получен в 2016 г. (россыпное золото), через два года после введения механизма в действие.

Для серебра (как попутное ПИ) прирост балансовых запасов в 2024 г. на 99 % (13,4 т) обеспечен золоторудным месторождением Делювиальное, расположенным в Республике Саха (Якутия).

Поставленные на госбаланс запасы россыпных алмазов получены на Сюзёвском месторождении в Пермском крае. Впервые они были учтены в 2022 г., а в 2024 г. запасы были переутверждены с учетом изменений в сторону увеличения (Протокол ГКЗ от 24.03.2024 № Э003-00174-77/01084338). На долю Сюзёвского месторождения приходится более 1/3 всего прироста запасов россыпных алмазов, полученных в результате работ по «заявительному» механизму. Недропользователем получена лицензия на разведку и добычу.

Представленные данные показывают, что основной интерес недропользователей сосредоточен на ПИ месторождений золота, что выражается в значимых результатах на данный вид ПИ в рамках действия механизма. Прирост балансовых запасов коренного и россыпного золота в 2024 г. – 41 т, что составило 10,7 % от всего прироста запасов золота по «заявительному принципу» за период его действия.

Прирост балансовых запасов коренного золота в 2024 г. был получен на золоторудном месторождении Делювиальное в Республике Саха (Якутия) по категориям: C_1 – 2298,9 кг, C_2 – 9702,1 кг (Протокол ГКЗ от 04.07.2024 № Э003-00174-77/01282800) и месторождении окисленных золотосодержащих руд Западно-Семеновская площадь в Республике Башкортостан по категориям: C_1 – 1903,6 кг, C_2 – 3145,7 кг (Протокол ТКЗ от 26.07.2024 № 78/24-РБ).

Ежегодно количество объектов и запасов россыпного золота в рамках «заявительного» механизма увеличивалось, достигнув максимальных показателей в 2024 г. Для россыпного золота прирост запасов по лицензиям «заявительного принципа» в 2024 г. получен на 184 лицензиях на территории 17 субъектов РФ и составил 23,9 т, что составило 26 % от всего прироста запасов россыпного золота по «заявительному принципу» за период его действия.

Таблица. Прирост балансовых запасов АБЦМ, полученный по механизму «заявительного принципа», за период 2014–2024 гг. [2]

Вид ПИ (АБЦМ)	Единицы измерения	Прирост балансовых запасов ($ABC_1 + C_2$) *		
		2014–2024 гг.	в т. ч. 2024 г.	% (гр. 4 / гр. 3)
1	2	3	4	5
Алмазы	тыс. карат	1888,1	685,6	36,3
Золото, в т. ч.:	т	381,9	41	10,7
коренное	т	290	17,1	5,9
россыпное	т	91,9	23,9	26
Серебро	т	1755	13,5	0,8
МПГ, в т. ч.:	кг	9608,5	–	–
платина	кг	4669,2	–	–
палладий	кг	4939,3	–	–
Медь	тыс. т	730,1	–	–
Свинец	тыс. т	отсутствует		
Цинк	тыс. т	отсутствует		
Никель	тыс. т	отсутствует		
Кобальт	т	отсутствует		

Примечание: * – по данным протоколов ГКЗ/ТКЗ по состоянию на 01.01.2025 г.

Прирост балансовых запасов по МПГ, меди, никелю, кобальту, свинцу и цинку в 2024 г. отсутствовал. При этом из указанных металлов в предыдущие годы прирост балансовых запасов был получен по меди, платине и палладию.

Основные проблемы при реализации «заявительного механизма»: наличие административных барьеров по предоставлению участков лесного фонда и земель других назначений для целей недропользования; частичное или полное отсутствие необходимой инфраструктуры вблизи перспективных площадей; недостаточность механизмов, стимулирующих приток частных инвестиций; отсутствие или недостаточная развитость собственной геологической службы у недропользователей, способной проводить ГРР.

Кроме того, встречаются случаи, когда недропользователи с лицензиями по «заявительному принципу» не предпринимают активных действий по производству ГРР, их деятельность сводится к разработке проекта на производство ГРР и поискам инвесторов, которым возможно продать действующую организацию с поисковой лицензией.

В перспективе, по мере исчерпания задела объектов, по которым имеется информация о возможности локализации запасов полезных ископаемых, существует риск снижения результативности реализации механизма «заявительного принципа».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Я. В., Попов И. В. Особенности реализации механизма «заявительного принципа» на алмазы, благородные и цветные металлы // Отечественная геология. – 2023. – № 2. – С. 14–26.
2. ФГИС «АСЛН» [Электронный ресурс]. – URL: https://asln.rosnedra.gov.ru.

Прийменко В. В. (priymenko@neisri.ru), Гагиева А. М. (gagieva@neisri.ru), Ползуненков Г. О. (gennadiy_mag@mail.ru), Макаров М. И. (makarov@neisri.ru), Соловьев В. Ю. (solovev@neisri.ru), Валл М. В. (museum@neisri.ru)
СВКНИИ им. Н. А. Шило, ДВО РАН, г. Магадан

О ВОЗРАСТЕ ГРАНОДИОРИТОВОГО ШТОКА РУДНОГО ПОЛЯ Au-Ag АЛУНИТ-КВАРЦЕВОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ТУРОМЧА (ОХОТСКО-ЧУКОТСКИЙ ВУЛКАНОГЕННЫЙ ПОЯС)

Для гранодиоритов, слагающих штокообразную интрузию в границах Туромчинского рудного поля, методом U-Pb (LA-SF-ICP-MS) датирования по циркону получена датировка 79 ± 2 млн лет (кампан), сопоставимая с возрастом гранитоидов ахавеемского комплекса и отвечающая позднему этапу магматической активности Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. С гранодиоритами связано формирование золото-серебряной минерализации алунит-кварцевого типа, что позволяет рассматривать их как единую порфировую рудно-магматическую систему, функционирующую около 80 млн лет назад.

Ключевые слова: гранодиориты ахавеемского комплекса, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, рудопроявление Туромча, золото-серебрянные алунит-кварцевые рудопроявления, U-Pb (LA-SF-ICP-MS) датирование по циркону.

Золото-серебряное рудопроявление Туромча алунит-кварцевого типа [1] (согласно классификации [10, 11] HS – High sulfudation), принадлежит Эвенскому рудному району (РР) Охотско-Чаунской металлогенической провинции. Алунит-кварцевые золото-серебряные объекты относятся к редким и слабоизученным не только для Северо-Востока, но и России в целом [1]. Можно отметить месторождения Березняковское на Урале, Данченковское на о. Уруп Курильских островов, Озерновское и рудопроявление Малетойваям на Камчатке. Для Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) наиболее известным объектом данного типа является месторождение Светлое в Хабаровском крае [5]. Учитывая тот факт, что алунит-кварцевые золото-серебряные объекты широко представлены и активно разрабатываются в зарубежных регионах Тихоокеанского кольца [11], следует предполагать перспективность прогнозно-поис-

ковых программ на этот тип оруденения в пределах вулканогенных поясов активных континентальных окраин Дальнего Востока России.

Первоначальное изучение рудопроявления Туромча (Скалистое) связано с поисковыми работами по выявлению проявлений самородной серы и алунита [3]. Тогда же впервые была установлена зональность, выраженная последовательной сменой метасоматических изменений – от реликтовых вулканитов кислого состава на периферии, через мощную зону алунитизации, к центральной – интенсивно окварцованной (в т. ч. пористые кварциты) и брекчированной зоне. После обнаружения золотоносных метасоматитов [4] последовали поисковые работы на участке, направленные на изучение метасоматически измененных вулканитов и жильной эпитермальной золото-серебряной минерализации с высокими концентрациями золота и серебра [8]. В пределах развития зональных метасоматитов была выявлена площадь (3 км^2) контрастной комплексной геохимической аномалии Bi-Au-As-Ag-Cu-Sb-Mo. По материалам штуфного опробования вторичных кварцитов содержания золота составили не более 1,5 г/т. Отсутствие на то время разработанных поисковых критериев на данный тип месторождений послужило причиной отрицательного прогноза; тем самым зональные метасоматиты Туромчи на многие годы приобрели статус неперспективных на золотое оруденение. Исторически значимым событием, повлиявшим на прогнозирование золото-серебряных алунит-кварцевых месторождений, стали работы Джеффри Хеденквиста [10], в которых данные рудные объекты были выделены в отдельный геолого-генетический тип и разработаны поисковые критерии их обнаружения.

Компанией АО «Полиметалл УК» в 2019–2020 гг. были проведены поисковые работы на участке Туромча. По результатам металлогенического анализа (составители А. Н. Глухов и А. Г. Колесников) получен положительный прогноз на перспективность золото-серебряного рудообразования. Итоги изучения Туромчинской площади содержатся в производственном отчете [6].

Рудопроявление Туромча принадлежит одноименной рудной зоне. Расположено оно в районе междуречья Чирол – Ерукал и пространственно приурочено к выходам кислых вулканитов (игнимбриты риолитов), согласно неопубликованным авторским данным изотопного датирования по циркону – позднемеловой хайчанской толщи, ранее относимым к нижне-верхнемеловой вархаламской толще [8]. В коренных обнажениях по бортам р. Ерукал установлены выходы штокобразной интрузии гранодиоритовых порфиров, прорывающих вулканиты кислого состава. Позднемеловой возраст интрузивных образований определен главным образом геологическими данными (прорывают нижне- и нижне-верхнемеловые вулканиты ОЧВП) и единичными данными K-Ar датирования интрузивных тел смежных участков. Согласно ЛГС-200 [2], гранитоидный магматизм сопоставим с ахавеемским комплексом монцонитов-лейкогранитов.

В пределах рудного поля кислые вулканиты метасоматически интенсивно измененные; в них отчетливо прослеживается зональность, выраженная нарастанием интенсивности окварцевания от периферии рудного поля к его центру. Максимально измененные породы приурочены к центральной части рудного поля; здесь вдоль разлома северо-западного простирания развиваются предрудные вторичные кварциты (монокварциты, пористые кварциты и их брекчии). В брекчированных и пористых разновидностях кварцитов отмечаются наиболее высокие концентрации золота. От безрудных пиррофилитовых пород периферической зоны их отделяет мощная (до 1,5 км) зона алунитизации с проявлениями самородной серы, сменяющаяся диккит-каолинитовыми метасоматитами.

По наименее измененным гранодиорит-порфирам левобережья р. Ерукал была отобрана проба на U-Pb (LA-ICP-MS) датирование. Выделение циркона проведено по стандартной методике с использованием тяжелых жидкостей в лаборатории петрологии, изотопной геохронологии и рудообразования СВКНИИ ДВО РАН. Анализ изотопного состава цирконов выполнялся в ГИ СО РАН (г. Улан-Удэ) методом LA-SF-ICP-MS по методике [5]. Полученные данные формируют дискордию с нижним пересечением конкордии 79 ± 2 млн лет, СКВО = 1,5, N = 34), что сопоставляется со средневзвешенной оценкой ^{206}Pb / ^{238}U субконкордантных анализов с дискордантностью < 10 % (79 ± 1 млн лет, СКВО = 1,6, N = 14), кампан. Возрастная оценка соответствует времени формирования ахавеемского комплекса и отвечает позднему этапу магматической активности ОЧВП. Близкие значения возраста получены для гранитоидных интру-

зий Невенрекан-Перекатненского рудного поля – 77 ± 1 млн лет, U-Pb (LA-ICP-MS) метод по циркону [9]. Предполагается, что золото-серебряную минерализацию алунит-кварцевого типа следует рассматривать как продукт единой порфировой рудно-магматической системы [10, 11], сформировавшейся около 80 млн лет назад.

Авторы выражают благодарность В. В. Акинину, Н. А. Горячеву, В. Б. Хубанову, Т. А. Кормушину за содействие в проведенных исследованиях.

Изучение геологического строения Туромчинского рудного поля и определение U-Pb возраста кристаллизации циркона гранодиоритов ахавемского комплекса выполнены при поддержке государственных тем института СВКНИИ ДВО РАН: НИР «Рудообразующие процессы и системы в истории формирования главных тектонических структур Арктической и Тихоокеанской континентальных окраин Северо-Востока Азии» – 121031700301-5, «Разработка критериев рудоносности магматических комплексов» – № 124051600003-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухов А. Н. Алунит-кварцевые эпитермальные месторождения золота России и стран СНГ: открытия последних лет и перспективы открытия в Северо-Восточной Азии // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения РАН. – 2011. – № 3. – С. 7–17.
2. Жуланова И. Л., Гундобин В. М., Русакова Т. Б. [и др.] Легенда Гижигинской серии листов Государственной геологической карты Российской федерации масштаба 1 : 200 000. Второе издание. – Магадан, 1999. – 161 с.
3. Картавичус А. В., Болдырев М. В. Изучение гидротермально-измененных пород Туромчинского района в связи с золото-серебряным оруденением. Окончательный отчет по теме № 801). – Магадан, 1970. – 85 с.
4. Костырко Н. А. Некоторые критерии поиска золото-серебряных месторождений на примере Туромчинской рудной зоны // Материалы по геологии и минеральным ресурсам Северо-Востока СССР. Книга 1. – Магадан, 1977. – Вып. 23. – С. 156–162.
5. Мишин Л. Ф. Вторичные кварциты и их связь с золоторудной минерализацией месторождения Светлое (Ульинский прогиб, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс) // Тихоокеанская геология. – 2011. – Т. 30, № 4. – С. 32–48.
6. Прийменко В. В., Поздеева Е. С. Отчет об итогах геологического изучения Туромчинской площади. Кн. 1 – Магадан : ООО «ОЗРК», 2022. – 116 с.
7. Прийменко В. В., Ползуненков Г. О., Бердников Н. В., Акинин В. В. Два импульса гранитоидного магматизма Туромчинской вулкано-тектонической впадины: первые данные о U-Pb и Ar-Ar возрастах // Материалы IX Межрегиональной конференции молодых ученых «Научная молодежь – Северо-Востоку России». – Магадан : ИП Занорин И. В., 2023. – Вып. 9. – С. 29–31.
8. Солдатов В. А., Мальцева Н. А., Грищенко Ш. Г. [и др.] Отчет о поисках новых рудных тел и геологическом доизучении центральной части Туромчинской рудной зоны (1977–79 гг.). – Эвенск, 1980. – 220 с.
9. Хубанов В. Б., Буянтуев М. Д., Цыганков А. А. U-Pb изотопное датирование цирконов из магматических комплексов ПЗЗ–МЗ Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным отбором проб: методика определения и сравнение с данными SHRIMP // Геология и геофизика. – 2016. – № 1. – С. 241–258.
10. Hedenquist J. W. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin: in M.K. Horn, ed. Transactions of the Fourth Circum Pacific Conference on Energy and Mineral Resources. – Singapore, American Association of Petroleum Geologists. – 1987. – P. 517–524.
11. Sillitoe R. H., Hedenquist J. W. Linkages between volcanotectonic setting, ore-fluid composition an epitermal precious-metals deposits // SEG Special Publication. – 2003. – № 10. – P. 315–343.

**Проскурнин В. Ф.[1] (Vasily_Proskurnin@vsegei.ru), Савичев А. А.[2] (SavichevAA1@polyus.com),
Курапов М. Ю.[1, 3] (Mihail_Kurapov@karpinskyinstitute.ru),
Проскурнина М. А.[1] (Maria_Proskurnina@karpinskyinstitute.ru),
Леонтьев В. И.[1] (Vasiliy_Leontiev@vsegei.ru)**

*[1] Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург; [2] ООО «УК» Полюс, г. Москва;
[3] СПбГУ, г. Санкт-Петербург*

ЖЕЛЕЗООКСИДНЫЕ С МЕДЬЮ И ЗОЛОТОМ (IOCG) ПОЯСА СЕВЕРНОЙ ЗЕМЛИ И ТАЙМЫРА

При создании и обобщении материалов Госгеолкарт-1000/3 (2004–2025) выделен ряд рудных систем с перспективами на крупнообъемное золотое или золотосодержащее оруденение. Помимо золотоносных медно-молибден-порфировых и орогенных систем, золотосульфидных объектов Карлинского типа и Cu-Ni-PGE-Au потенциальных месторождений в трапповых основных интрузиях, впервые в связи с рифтогенно-плюмовыми процессами в ордовике на архипелаге Северная Земля и среднем-позднем триасе в горах Быранга на п-ве Таймыр выделяются железооксидные пояса (IOCG) с проявлениями меди, золота, редких земель, урана, серебра, полиметаллов, барита, флюорита. В составе Североземельского пояса железооксидные проявления (Ровненское, Свердловское, Смутнинское, Книжнинское и др.) сопоставимы с месторождениями типа Кируна и Клонкэри; в составе Южно-Быррангского пояса проявления в сиенитах Дикарабигайско-Нижнекыйдинского потенциального рудного района (ПРР) – с месторождениями типа Олимпик Дэм в Австралии, в карбонатитах Кыйдинско-Фадьюкудинского, Озеротаймырского, Подкаменно-Кульдимского ПРР с месторождениями типа Баян Обо в Китае.

Ключевые слова: Северная Земля, Быранги, магматизм шошонит-латитового ряда, карбонатиты, железооксидная минерализация, медь, золото, редкие земли, барит, флюорит, уран, полиметаллы.

Настоящий доклад посвящен обоснованию геолого-генетической типизации железооксидных золотосодержащих образований Центрального сектора Арктики России. Не останавливаясь на дискуссиях по выделению различных формационных типов из класса железооксидных руд типа IOCG [10], мы относим к нему магнетит-гематитовые и гематит-сидеритовые рудопроявления, существенно обогащенные медью, золотом, а также серебром, полиметаллами, ураном, редкими землями, апатитом, флюоритом [1, 7].

Среди эндогенных собственно золоторудных и золотосодержащих формаций Таймыро-Североземельской минерагенической провинции выделяются ведущие и второстепенные формационные типы [5]. Они подчинены полукольцевой тектоно-минерагенической зональности, созданной коллизионными и постколлизионными процессами позднего палеозоя–раннего мезозоя. Собственно золоторудные объекты объединены в класс орогенных рудопроявлений [6], выделен золотосодержащий медно-молибден-порфировый пояс [5]. Они приурочены к Карскому орогену [11] и охватывают Центрально-Таймырскую и Хутудинско-Большевистскую минерагенические мегазоны (МГЗ). Золотосодержащие образования с железооксидными редкоземельно-медно-полиметаллическими проявлениями приурочены к вулкано-плутоническим комплексам раннего-среднего ордовика в Североземельской МГЗ на о. Октябрьской Революции (Североземельский пояс) и среднего-позднего триаса в Озеротаймырско-Южнобыррагской МГЗ в горах Быранга (Южно-Быррангский пояс).

Железооксидное оруденение Североземельского пояса связано с проявлением продуктов магматизма основного, среднего и кислого состава умереннощелочного ряда свердловско-смутнинской вулкано-плутонической ассоциации, приуроченной к рифтогенной зоне вдоль Главного Североземельского разлома [4]. При проведении геологосъемочных (Марковский и др., 1980), поисковых и тематических работ в 1988–1991 гг. [2] выявлены многочисленные проявления золотосодержащих апатит-магнетитовых, мышьяковисто-медноколчеданных и железоокисных руд с редкими землями, которые по своим особенностям формирования могут быть сопоставимы с железоокисными образованиями типа Кируны и Клонкэрри. Выявленные рудопроявления группируются в потенциальные рудные узлы трех типов: шток-стратифицированные Матусе-

вичский (420 км^2) с рудопроявлением р. Ровной и Смутнинский (250 км^2) с рудопроявлением оз. Смутного; корневой – Свердловский (300 км^2) с Нижне- и Верхнекурчавинским проявлениями и стратифицированный – Ледниковско-Книжнинский (500 км^2) с Книжнинским рудопроявлением. По данным спектрального и золотоспектрохимического анализа, максимальные содержания составляют: Cu – 6 %, Au – 0,2 г/т, Ag – 10 г/т, As – 3 %, Ni – 0,2 %, Co – 0,1 %, Y – 0,2 %, Yb – 0,08 %, Ba – 3 %, Sr – 2 %, Sn – 0,04 %, Zr – 0,1 %, а также Pt – 0,17–0,47 г/т, Pd – 0,2–0,59 г/т.

Железооксидное оруденение Южно-Быррангского пояса связано с посттрапповым средне-позднетриасовым магматизмом, выраженным в формировании вулканических построек трахиандезит-трахит-трахириолитового (аятаринская свита) и становлении интрузий монцогаббро-сиенит-граносиенитового (дикарабигайский, восточнотаймырский комплексы), бостонитового (южнинский комплекс) составов шошонит-латитового ряда (237–244 млн лет), а также бастнезитовых карбонатитов-кульдимитов (238–246 млн лет). По результатам обобщения материалов Госгеолкарт-1000/3, железооксидное оруденение с медью, серебром, полиметаллами, баритом, флюоритом и редкими землями, реже с ураном и золотом выявлены по всей южной части гор Бырранга, образуя пояс, который объединяет Кыйдинско-Фадьюкудинский урановo-редкоземельный, Таймыроозерский, Муруптуматаринский, Подкаменно-Кульдимский, Рыбнинский золотосодержащие серебро-полиметаллические потенциальные рудные районы (ПРР). Выявленные многочисленные проявления в составе ПРР по своим особенностям формирования могут быть сопоставлены с железооксидными образованиями типа Олимпик Дэм (Уландрык) и карбонатитов Баян Обо (Карасуг), в т. ч. с серебро-полиметаллической разновидностью в карбонатитах и гематит-сидеритовых жильно-брекчиевых телах. *Первые* установлены в габбро-монцонит-сиенитовых массивах (до 25 км^2) Аятаринско-Дикарабигайской шошонит-латитовой вулкано-плутонической ассоциации. Рудоносность массивов определяется радиоактивно-редкоземельным оруденением, которое локализовано в существенно пирит-магнетитовых и гетит-колчеданных телах в сиенитах, альбититах, реже карбонатитах [8]. Суммарное содержание РЗЭ достигает 3–6 мас.%. *Железооксидные проявления типа Баян Обо (Карасуг)* связаны с Таймырским поясом раннемезозойских карбонатитов-кульдимитов, который протягивается более чем на 600 км [5]. В бассейне рек Кыйда, Фадьюкуда и Скалистая они представлены секущими телами карбонатитов и апосиенитовых метасоматитов с апатит-магнетитовой, гематит-борнит-халькопиритовой, пирит-скаполит-алланитовой и урановo-ториевой минерализацией, а также REE-флюорит-барит-карбонатной. Среди редких земель преобладают La, Ce и Nd. В рудах описаны более 50 минералов [3, 8]. В них установлено медистое золото как важный минералогический индикатор IOCG-систем. На Восточном Таймыре показана связь редкоземельно-флюорит-баритового и золотосодержащего сульфидного, серебро-полиметаллического оруденения с карбонатитами-кульдимитами вулкано-плутонического и флюидно-эксплозивного происхождения [5, 9]. В результате детализационных работ локализованы рудопроявления (с оцененными прогнозными ресурсами по кат. P_2): 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 млн 200 тыс. т при среднем содержании $BaSO_4$ – 56,8 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Н. И., Николаева Л. С., Гусев А. И. Верхнепалеозойские и мезозойские железооксидные медно-золоторудные системы юго-запада Алтае-Саянского региона Сибири // Региональная геология и металлогения. – 2006. – № 29. – С. 88–99.
2. Кузьмин В. Г., Проскурнин В. Ф., Фокин В. И. Стратифицированное оруденение Северной Земли // Геология, литодинамика и россыпеобразование в прибрежных зонах Арктики. – Л. : ПГО «Севморгеология», 1990. – С. 19–25.
3. Погребицкий Ю. Е. Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. – Л. : Наука ЛО, 1971. – 248 с.
4. Проскурнин В. Ф. Новая вулкано-плутоническая ассоциация Северной Земли и особенности ее металлоносности // Недра Таймыра : Сб. научн. тр. – Вып. 1. – Норильск, 1995. – С. 93–100.
5. Проскурнин В. Ф. Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала // Автореф. дис. …докт. геол.-мин. наук. – СПб., 2013. – 40 с.

6. 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. 69–74.
7. Соловьев С. Г. Железооксидно-золото-медные и родственные месторождения: геолого-генетические модели и перспективы арктических регионов России // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 4 (36). – С. 118–130.
8. Шануренко Н. К. Флюоритовое оруденение Быррангской структурно-металлогенической зоны // Геология и рудоносность Таймыро-Североземельской складчатой области. – Л. : НИИГА, 1979. – С. 66–73.
9. Prokopyev I. R., Doroshkevich A. G., Starikova A. E., Yang Y., Goryunova V. O., Tomoshevich N. A., Proskurnin V. F., Saltanov V. A., Kukharenko E. A. Geochronological and petrogenetical constraints on F-Ba-REE carbonatites of the Central Taimyr Region, Russia (Arctica): connections with the Sibe-rian Large Igneous Province (LIP) // Lithos. – 2023. – V. 440–441.
10. Skirrow R. G. Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits – A review (part 1): Settings, mineralogy, ore geochemistry and classification // Elsever. Ore Geology Reviews. – 2022. – 140. – P. 1–35.
11. 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. – 10(6). – P. 571.

Раков Л. Т.[1] (rakolt@mail.ru), Прокофьев В. Ю.[1] (vpr2004@rambler.ru),
Коваленкер В. А.[1] (vladkov2007@yandex.ru), Зорина Л. Д.[2] (irazor@rambler.ru)
[1] ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] ФГБУН ИГХ СО РАН, г. Иркутск

СВЯЗЬ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В КВАРЦЕ С УСЛОВИЯМИ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

На примере месторождений золота Дарасунского рудного поля показана возможность использования распределения точечных дефектов в кварце, регистрируемых методом ЭПР, для качественного выявления изменений PT-условий минералообразования.

Ключевые слова: кварц, E-центры, неравновесная кристаллизация, месторождения золота.

Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) исследовались образцы поликристаллического кварца из золоторудных месторождений Дарасунского рудного поля: Дарасун, Теремкинское и Талатуй. Результаты изучения показали присутствие в них двух основных групп парамагнитных дефектов. Одну из них составляют центры, локализованные в областях упорядоченной кристаллической структуры кварца, а другую группу − парамагнитные центры в зонах неупорядоченной структуры. К первой группе относятся хорошо известные центры, обусловленные изоморфными примесями Ge, Ti и Al в кристаллической решетке минерала [6], а среди парамагнитных дефектов второй группы обнаружены слабоизученные и необычные центры.

К слабоизученным дефектам следует отнести Al-X-центры, образованные, вероятно, в результате ассоциации изоморфных ионов Al^{3+} с кислородными вакансиями [3]. Сигнал Al-X-центров частично накладывается на интенсивные линии ЭПР Al-O^{-}-центров, связанных с изоморфной примесью Al в областях упорядоченной кристаллической структуры. Вследствие этого количественная оценка концентраций Al-X-центров ($C_{Al\text{-}X}$) в кварце затруднена. Однако качественная оценка их содержания может проводиться по соотношению амплитуды одной из видимых линий спектра ЭПР Al-X-центров к амплитуде линии ЭПР Al-O^{-}-центров ($C_{Al\text{-}X}/C_{Al}$) [4].

Кроме парамагнитных дефектов Al-X в зонах неупорядоченной структуры исследуемого кварца установлено присутствие нескольких типов *E′*-центров. Их природа обусловлена одиночными кислородными вакансиями в кристаллической решетке SiO_2 [6].

Состав обнаруженных *E′*-центров оказался неоднородным. Некоторые из них были характерны только для кварца, другие − только для кварцевого стекла. Наибольший интерес вызы-

вает тип *E′*-центров, образующийся в кварце после отжига в муфельной печи при температуре T = 900 °C и последующего радиационного облучения дозой 10^4 Гр. Спектроскопические характеристики выявленного сигнала позволяют отнести этот тип парамагнитных дефектов к E_δ-центрам, возникающим в кварцевых стеклах [5]. Для оценки их концентрации использовалась одиночная линия с фактором спектроскопического расщепления g ≈ 2,002 (рисунок).

Асимметричный вид линии с $g \approx 2{,}002$ свидетельствует о присутствии в образцах золоторудного кварца других типов *E′*-центров, прежде всего E_γ. Они также возникают в кварцевом стекле и потому имеют близкий к E_δ генетический смысл [5]. Линии ЭПР этих центров накладываются друг на друга, и различить их между собой весьма сложно. Поэтому, говоря о концентрации *E′*-центров (C_{Es}) в зонах неупорядоченной структуры кварца, целесообразно подразумевать их сложный состав (символ «s» от «silica»). Соответственно, указанный тип точечных дефектов мы обозначили как E_s.

Появление в природном кварце точечных дефектов, свойственных кварцевому стеклу, является необычным и требует объяснения. Проведенные нами исследования позволили выяснить причину образования подобных дефектов и разработать методологию их использования при изучении термодинамических условий формирования месторождений благородных и цветных металлов.

В ходе исследований было обнаружено, что для образцов кварца, формировавшихся в стабильных термодинамических условиях, существует линейная корреляционная связь между концентрациями точечных дефектов Al-X и E_S. Отклонения от линейной зависимости $C_{Es}(C_{Al\text{-}X}/C_{Al})$ наблюдаются только для неравновесной (ускоренной) кристаллизации кварца, когда раскристаллизация кремнезема протекает не до конца. В этом случае в кварце сохраняются большие количества рассеянных примесей, локализующихся в зонах неупорядоченной структуры.

Ранее методом просвечивающей электронной микроскопии было показано, что кварц в зонах с высоким содержанием рассеянных примесей может переходить в вязкотекучее состояние уже при T ≥ 400 ºC [2]. При T = 900 ºC такие зоны преобразовываются в кластеры плавленого кварца, а локализованные в них кислородные вакансии регистрируются методом ЭПР как парамагнитные центры E_δ, E_γ и др.

Отсюда следует, что причиной появления в кварце повышенных содержаний точечных дефектов, свойственных кварцевому стеклу, служит неполная раскристаллизация кремнезема. Она наблюдается при неравновесной кристаллизации кварца, когда диффузионные процессы реализуются не в полной мере и кремнезем не успевает освобождаться от избыточных примесей. Подобные прецеденты возникают во время скачкообразных изменений *PT*-условий минералообразования. В частности, это может иметь место при прохождении рудоносного флюида через термодинамический геохимический барьер. Резкое изменение значений *PT*-параметров способствует не только отложению рудного вещества, но и ускоренной кристаллизации кварца, сопровождающейся неполной раскристаллизацией кремнезема. Поэтому повышенные содержания C_{Es} в кварце могут служить индикатором таких обстановок.

Данный критерий был использован для выявления случаев неравновесной кристаллизации кварца месторождений Дарасунского рудного поля.

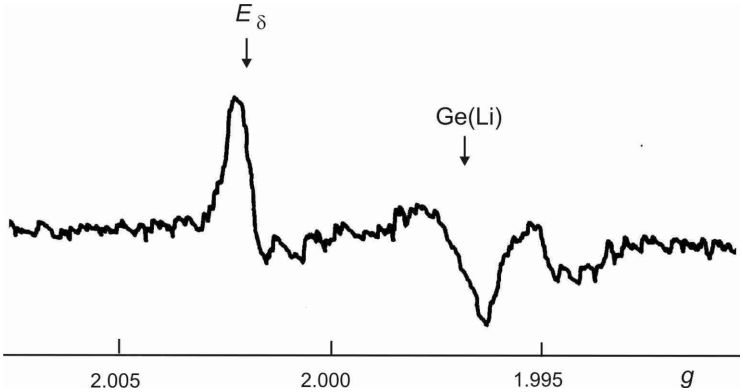


Рисунок. Спектр ЭПР E_δ-центров в кварце месторождений золота Восточного Забайкалья: расположенная рядом со спектром линия обусловлена сигналом ЭПР Ge(Li)-центров

На месторождении Дарасун ускоренная кристаллизация обнаружена для образцов кварца, сформированных на позднем этапе минералообразования. Этот этап проявился главным образом на верхних уровнях рудообразующей системы месторождения. Быстрое остывание флюида могло приводить к пересыщению раствора и ускорению кристаллизации кварца.

На кристаллизацию кварца нижних горизонтов месторождения перечисленные факторы не повлияли. Поэтому в кварце этих горизонтов отсутствуют повышенные содержания C_{Es}.

Ускоренное охлаждение минералообразующего раствора является причиной неравновесной кристаллизации кварца и на месторождении Теремкинское. Повышенные содержания C_{Es} здесь вызваны остыванием раствора в начале раннего и позднего этапов минералообразования. Очевидно, что ускоренная кристаллизация кварца в это время определялась градиентом температур горячего раствора и холодной вмещающей породы.

Неравновесная кристаллизация кварца из руд месторождения Талатуй имеет место при наиболее низких температурах. Можно допустить, что она отвечает явлению переотложения кварца в условиях поздних наложенных гидротермально-метасоматических процессов, широко развитых на месторождении [1].

Следует отметить высокую надежность разработанного критерия. Формирование точечных дефектов E_S определяется присутствием рассеянных примесей в зонах неупорядоченной структуры. Как было установлено, рассеянные примеси способны сохраняться в этих зонах при температурах, когда другие точечные дефекты в кварце распадаются. При лабораторном отжиге кварца при T = 900 °С такие зоны переходят в состояние кварцевого стекла, что порождает образование дефектов E_S.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев В. Ю., Зорина Л. Д., Коваленкер В. А., Акинфиев Н. Н., Бакшеев И. А., Краснов А. Н., Юргенсон Г. А., Трубкин Н. В. Состав, условия формирования руд и генезис месторождения золота Талатуй (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, № 1. – С. 37–76.
2. Раков Л. Т., Дубинчук В. Т.. Скамницкая Л. С,. Щипцов В. В. Подвижные примеси в кварце Карело-Кольского региона // Труды КарНЦ, Сер. Геология докембрия. – 2016. – № 10. – С. 100–118. DOI: 10.17076/geo377.
3. Раков Л. Т. Научные основы применения структурных дефектов в кварце в качестве индикатора минералообразования : дис. д-ра геол.-минер. наук. – М. : ВИМС, 2007. – 329 с.
4. Раков Л. Т., Прокофьев В. Ю., Зорина Л. Д. Ионы-компенсаторы H^+ и Li^+ в структурных каналах кварца месторождений золота Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье, Россия): данные электронного парамагнитного резонанса // Геология рудных месторождений. – 2019. – Т. 61, № 1. – С. 75−96. DOI: 10.31857/S0016-777061175-96.
5. Griscom D. L. Trapped-electron centers in pure and doped glassy silica: A review and synthesis // J. Non-Cryst. Solids. – 2011. – V. 357, № 8. – P. 1945–1962. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2010.11.011.
6. 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.

Расулов Ш. М. (Shohruhrasulov2019@gmail.com), Сайитов С. С. (sardorsayitov@gmail.com)
ГУ «Институт минеральных ресурсов» г. Ташкент

ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЛОЛАЗОР

Для изучения химического и минерального состава руд и рудовмещающих пород был проведен силикатный, рентген-дифрактометрический анализ, описаны прозрачные шлифы и полированные аншлифы под микроскопом. В результате исследований определены типы рудовмещающих

пород, химический состав руд и рудовмещающих пород. Результаты силикатного анализа пересчитаны на минеральные составляющие руд и рудовмещающих пород рудопроявления Лолазор.

Ключевые слова: рудопроявление Лолазор, рудовмещающие породы, силикаты, кварц, серицит, хлорит.

Рудопроявление Лолазор расположено в горах Ауминзатау (Центральные Кызылкумы), в административном отношении относится к Кенимехскому району Навоийской области. По данным геолого-съемочных работ Центральной Узбекистанской ГСПЭ выделены 12 лентообразных параллельно вытянутых минерализованных зон и по всем минерализованным зонам подсчитаны прогнозные ресурсы до глубины 150 м по кат. P_2 со ср. сод. 2,5 г/т. Морфология рудных тел встречается в двух разновидностях – штокообразные, а также секущие и субсогласные тела.

В результате просмотра прозрачных шлифов установлено, что рудовмещающие породы на рудопроявлении представлены метатерригенными образованиями, в том числе алевролитами, псаммоалевролитами, алевропесчаниками, песчаниками, алевросланцами, сланцами, известняками и различными метасоматитами, которые развиты по ним. Также установлены кварцевые жильно-прожилковые образования.

Руда и рудовмещающие породы рудопроявления Лолазор силикатного, алюмосиликатного состава. Содержание кремнезема (SiO_2) составляет 58,83–84,67 %. Глинозем (Al_2O_3) составляет 2,65–18,61 %. Содержание $Fe_2O_{3\ общ.}$ достигает 7,54 %. Сера общая ($S_{общ.}$) составляет до 0,37 %. В зоне окисления сера представлена сульфатной формой (SO_3) до 0,93 %. Оксид кальция (CaO) составляет 0,28–2,47 %, MgO – 0,40–2,41 (табл. 1).

По данным ИСП-масспектрометрического анализа 12 проб руд и минерализованных пород участка Лолазор, среднее содержание золота составляет 4,78 г/т, серебра – 1,5 г/т.

Содержания остальных элементов не очень высокие или отмечаются повышенные содержания элементов в единичных пробах. Установлены повышенные содержания цинка (8500 г/т), теллура (до 2,1 г/т), селена (до 42 г/т), кадмия (до 170 г/т). По данным ИСП-масспектрометрического анализа 12 проб, селен в среднем составляет 14,6 г/т, теллур – 0,4 г/т.

Результаты силикатного анализа пересчитаны на минеральные составляющие руд и рудовмещающих пород рудопроявления Лолазор (табл. 2). В составе изученных проб преобладает кварц, в подчиненном количестве установлены серицит, полевые шпаты, в некоторых пробах глинистые минералы. Также в незначительном количестве установлены хлорит и кальцит.

Содержания кварца составляют 41,0–75,2 %. Серицит колеблется от 3,5 до 29,6 %. Содержание плагиоклаза составляет 1,6–17,5 %.

Содержание глинистых минералов колеблется от единичных следов до 9,8 %. Карбонатные минералы составляют 1,3–4,9 %. Хлорит установлен во всех пробах в количестве 1,6–7,7 %. Установлены гипс и ангидрит – 0,2–4,0 %. В единичных пробах установлен калиевый полевой шпат до 8,7 % (табл. 2).

Из акцессорных минералов установлены рутил в количестве 0,2–2,4 %, апатит – 0,1–0,9 %. Рудные минералы представлены пиритом (до 1,2 %), гидроксидами железа (0,2–8,0 %).

По данным рентген-дифрактометрического анализа, содержание кварца составляет 54,9–88,6 %. Содержание слюды колеблется от 6,8 до 21,8 %. По кристаллическим свойствам слюдистые минералы соответствуют серициту и гидрослюде мусковитового типа. Альбит в составе руд составляет 1,9–16,3 %, КПШ – 0,5–3,0 %. Кальцит установлен до 1,6 %, хлорит – 3,5 %. Также в составе руд установлены гипс в количестве 0,4–0,8 %, клиноптиллолит (цеолит) – 1,9 %.

Из рудных минералов установлены пирит – до 0,9 %, леллингит – 0,6–0,7 %, ярозит – до 1,3 %, гетит – 0,8 %, рутил в единичных зернах – 0,4 %.

Также в составе изученных проб установлены слабые единичные пики нижеследующих минералов: колусит, кубанит, астрахонит, лазулит, пренит, смектит.

Рудная минерализация в изученных образцах определена при описании полированных аншлифов под микроскопом, минералогического анализа концентратов гравитационного обогащения – под бинокуляром.

Табл. 1. Химический состав руд и рудовмещающих пород участка Лолазор, в %

№	№ проб	SiO_2	Fe_2O_3 (общ.)	Fe_2O_3 (расч.)	FeO	TiO_2	MnO	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O
1	Лол-3	67,82	7,54	7,30	0,22	2,43	0,09	7,36	2,47	2,38	0,68
2	Лол-19	84,67	0,15	0,15	<0,25	1,17	0,03	5,47	1,13	0,40	1,80
3	Лол-20	58,83	5,71	4,11	1,44	2,12	0,47	18,61	0,28	2,20	1,46
4	Лол-33	84,93	6,14	5,10	0,94	0,24	0,08	2,65	1,09	1,22	1,07
5	Лол-42	71,61	6,16	2,80	3,02	0,94	0,02	11,02	1,33	1,95	1,37
6	Лол-50	66,37	5,84	4,90	0,85	0,30	0,04	12,39	2,09	2,41	2,49
7	Лол-61	74,13	5,06	4,46	0,54	0,31	0,06	8,62	1,41	1,94	2,01
8	Лол-64	70,35	4,69	4,43	0,23	0,27	0,07	9,61	1,38	1,49	1,97
№	№ проб	K_2O	P_2O_5	$S_{общ.}$,	SO_3	Sc-д, (расч.)	ППП	Σ	CO_2	H_2O	
1	Лол-3	1,97	0,04	0,70	0,17	0,635	5,36	98,27	2,20	0,66	
2	Лол-19	0,75	0,37	0,21	0,51	0,009	2,14	98,22	0,74	0,52	
3	Лол-20	3,49	0,05	0,12	0,22	0,032	4,87	98,24	0,55	0,46	
4	Лол-33	0,43	0,11	0,30	0,19	0,22	1,12	99,51	1,10	0,30	
5	Лол-42	1,51	0,08	0,37	0,28	0,25	2,66	99,20	0,66	0,32	
6	Лол-50	1,52	0,05	0,37	0,67	0,10	4,34	98,60	<2,0	0,68	
7	Лол-61	1,46	0,26	0,38	0,93	0,01	3,66	99,86	0,12	0,46	
8	Лол-64	2,45	0,32	0,37	0,87	0,02	5,22	98,71	0,57	1,08	

Примечание. Лол-3, 19, 42, 50 – алевросланец; Лол-20, 33 – сланец; Лол-61, 64 – метаалевролит.

Табл. 2. Минеральный состав руд и рудовмещающих пород, в %

№	№ проб	Содержание, %											
		Кварц	Плагиоклаз	КПШ	Серицит	Хлорит	Глинистые минералы	Карбонат	Рутил	Апатит	Гипс, ангидрит	Сульфиды	Гидроксиды железа
1	Лол-3	53,0	5,7		16,7	7,7	сл.	5,0	2,4	0,1	0,2	1,2	8,0
2	Лол-19	72,0	15,2		6,4	1,6	сл.	1,8	1,1	0,9	0,8		0,2
3	Лол-20	75,2	12,4		29,6	6,8	9,8	1,3	2,0	0,1	0,4		4,4
4	Лол-33	74,8	9,0		3,5	3,7	сл.	2,5	0,2	0,1	0,4	0,4	5,5
5	Лол-42	56,0	1,6		12,8	5,9	7,5	1,5	0,8	0,1	0,5	0,4	3,0
6	Лол-50	41,0	21	ед.зн.	13	7,3	6,0	4,9	0,3	0,1	1,4		5,0
7	Лол-61	54,0	17,5	ед.зн.	12,3	6,5	сл.	2,0	0,3	0,4	2,0		5,0
8	Лол-64	45,0	16,8	8,7	8,5	5,0	6,3	2,0	0,2	0,6	4,5		4,4

По минеральному составу руд рудопроявление Лолазор представлено окисленными, смешанными и первичными рудами, то есть в составе окисленных руд преобладают гидроксиды железа, в первичных рудах пирит, в подчиненном количестве арсенопирит, в составе смешанных руд сульфиды и гидроксиды выявлены почти в равном количестве. Также в составе руд установлены следующие минералы: ***самородное золото***, самородное серебро, сульфасоли серебра, самородная медь, акантит, халькопирит, пирротин, марказит, галенит, сфалерит, блеклая руда, висмутин, антимонит, халькозин, ковеллин, куприт, сурик, псиломелан, магнетит, титаномагнетит, гематит, ильменит, рутил, графит. Эти минералы имеют локальное распространение, представлены в небольших количествах.

Источники финансирования: исследования были выполнены в рамках договора 1644-22 между АО «Узбекгеологоразведка» и ГУ «Институт минеральных ресурсов» в 2022–2024 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Цой В. Д., Королева И. В., Сайитов С. С., Булин С. Е. Стадийность гипогенного минералообразования рудных месторождений Узбекистана и ее значение при оценке перспективности разведуемых объектов // Геология и минеральные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 15–18.
2. Сайитов С. С., Цой В. Д., Жаниев Х. Э., Расулов Ш. М. Минералого-геохимические особенности рудопроявления Лолазор (Ауминзатау) // Материалы Республиканской научно-практической конференции, посвященной 85-летию создания Института Геологии и геофизики и 110-летию со дня рождения академика Х. М. Абдуллаева «Актуальные проблемы геологии, геофизики, петрологии и рудообразования». – Ташкент, 2022. – Т. 1. – С. 273–277.
3. Сайитов С. С., Цой В. Д., Халиков О. А., Печерский Р. Д., Булин С. Е., Раслов Ш. М. Вещественный состав руд и рудовмещающих пород рудопроявления Лолазор (Ауминзатау) // Геология и минеральные ресурсы. – 2022. – № 6. – С. 53–58.

Раткин В. В.[1] (ratkin@yandex.ru), Чугаев А. В.[2] (vassachav@mail.ru),
Александров И. А.[1] (alexandrov@fegi.ru), Лебедев А. Ю.[1] (lcah@mail.ru)
[1] ФГБУН ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток; [2] ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва

ОРОГЕННЫЙ W-Cu-Sn РУДНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ РЕЗЕРВУАР БАДЖАЛЬСКОГО ТЕРРЕЙНА (СЕВЕРНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ), ПО ДАННЫМ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА СВИНЦА

В качестве рудно-геохимического резервуара Баджал-Комсомольской W-Cu-Sn металлогенической зоны следует рассматривать новообразованный гранитно-метаморфический слой мезозойской континентальной коры, сформированный в границах Баджальского террейна в процессе позднего альб-раннесеноманского орогенеза Сихотэ-Алиня.

Ключевые слова: Баджальский террейн, Фестивальное, Правоурмийское, месторождения, изотопы свинца, ороген, Сихотэ-Алинь.

Работа выполнена в развитие ранее постулированных представлений [3, 11] об определяющей роли геохимически специализированных террейнов (металлотектов) как реальных источников рудного вещества W-Cu-Sn-Pb-Zn месторождений Сихотэ-Алинского орогенного пояса.

Баджальский террейн – фрагмент юрской аккреционной призмы. В составе складчатого комплекса призмы доминируют толщи юрских песчано-алевролитовых флишоидных пород, сформированных на континентальном склоне в процессе рециклинга разрушающихся древних рудоносных континентальных блоков. Как результат, юрские флишоиды аномально обогащены, по данным [4], оловом (до 8 г/т), свинцом (до 60 г/т) и бором (до 100 г/т).

Процессы орогенной складчатости и магматизма Сихотэ-Алиня проявились в обстановке трансформной континентальной окраины [9]. На Баджальском участке орогенные процессы реализовались в зоне клиновидного сопряжения северо-восточных разломов левосдвиговой системы Тан Лу и субмеридиональных левых сдвигов Сихотэ-Алинской системы [8]. В результате были образованы синорогенные вулкано-плутонические ареалы альб-сеноманских магматитов с аномально высокой оловоносностью [4, 5].

Баджал-Комсомольская металлогеническая зона объединяет в границах Баджальского террейна одноименные рудные районы. Крупнейший Баджальский оловорудный район соответствует Баджальскому вулкано-плутоническому ареалу. В западной части этого района расположен наиболее значимый Верхнеурмийский рудный узел, энергетическим центром которого является Верхнеурмийский массив биотитовых гранитов, датированный U-Pb методом в значениях 100 ± 1 млн лет [1]. По данным [2], установлен прямой переход от магматической стадии кристаллизации гранитоидов к гидротермальному процессу формирования грейзеново-жильных образований Правоурмийского месторождения. Комсомольский рудный район сопряжен с Мяо-Чанским вулкано-плутоническим ареалом. Здесь жильные оловорудные месторождения, включая изученное Фестивальное, связаны с левосдвиговыми трещинными зонами. Простран-

ственно месторождения совмещены с участками кинкбанда [6], где рудовмещающие флишоиды наиболее интенсивно интрудированы позднеальбскими (по данным [7] – 98,8 ± 1,0 млн лет) гранитоидами силинского комплекса.

Pb-изотопный анализ выполнен в ИГЕМ РАН с помощью высокоточного MC-ICP-MS-метода [10]. Проанализированы руды Правоурмийского и Фестивального месторождений (микропробы сульфидов), а также монофракции полевых шпатов гранитоидов и валовые пробы осадочных пород юрского матрикса Баджальской аккреционной призмы.

Показано, что, располагаясь рядом с кривой «ороген» на диаграмме $^{207}Pb/^{204}Pb$–$^{206}Pb/^{204}Pb$ двухстадийной модели Стейси-Крамерса [12], концентры модельных точек месторождений практически совмещены (рисунок).

Не проявлены хоть сколько-нибудь заметные вариации, связанные с этапностью формирования и условиями локализации месторождений. Это свидетельствует о наличии единого (униформного) регионального источника (геохимического резервуара) свинца.

Интервалы рассчитанных значений эволюционных параметров ($\mu_2 = {}^{238}U/^{204}Pb$ = 9,51–9,58; $\omega_2 = {}^{232}Th/^{204}Pb$ = 36,5–36,9; $^{232}Th/^{238}U$ = 3,81–3,91) источника рудного свинца изученных месторождений, при близком к среднекоровому значению μ^2, в совокупности геохимической характеристики рудного свинца соответствуют U-Th-Pb изотопной системе глобального геохимического резервуара корового типа.

В модельном линейном тренде изменчивости свинцово-изотопного состава флишоидов поле рудного свинца и свинца рудоносных гранитоидов занимает центральное положение (см. рисунок). То есть рудно-магматические образования имеют усредненный свинцово-изотопный состав флишоидов. Представляется, что усреднение происходит как результат вовлечения пород аккреционной призмы в масштабный региональный процесс формирования гранитно-метаморфического слоя новообразованной континентальной литосферы Сихотэ-Алиня. Локальное продвижение магматических колонн в верхние горизонты новообразованной коры проявляется в форме рудно-магматических центров с унаследованной от переработанных флишоидов рудной и изотопно-геохимической специализацией.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-17-00198, https://rscf.ru/project/22-17-00198/.

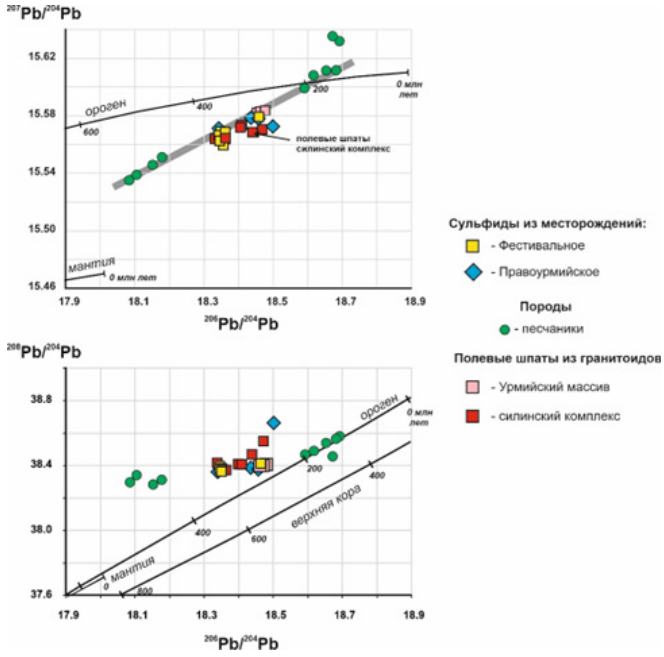


Рисунок. Pb-Pb изотопная диаграмма сопоставления модельных точек состава свинца рудных минералов Правоурмийского и Фестивального месторождения, свинца юрских флишоидных пород Баджальского террейна (в пересчете на 100 млн лет) и свинца полевых шпатов рудоносных гранитоидов баджальского и силинского комплексов. Эволюционные кривые «ороген» и «верхняя кора» из [12]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Александров И. А., Лебедев А. Ю., Ивин В. В. и др. Возраст и геодинамический режим формирования меловых магматических пород западной границы Баджальского террейна (Сихотэ-Алинский орогенный пояс) // Геодинамика и тектонофизика. – 2025. – V. 16, № 1. – 0816.
2. Бортников Н. С., Аранович Л. Я., Кряжев С.Г. и др. Баджальская оловоносная магматогенно-флюидная система (Дальний Восток, Россия): переход от кристаллизации гранитов к гидротермальному отложению руд // Геология рудных месторождений. – 2019. – Т. 61, № 3. – С. 3–30.
3. Геология и полезные ископаемые Приморского края / Голозубов В. В., Гонохова Р. Г., Раткин В. В., Рязанцева М. Д., Ханчук А. И. – Владивосток : Дальнаука, 1995. – 68 с.
4. Гоневчук В. Г. Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудообразование. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 297 с.
5. Забродин В. Ю. Структура и эволюция Баджальского вулкано-плутонического ареала // Региональная геология. – 2018. – № 75. – С. 49–59.
6. Касаткин С. А. Геодинамика формирования рудоконтролирующих структур Фестивального месторождения (Комсомольский рудный район) // Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. – Владивосток : ДВГИ ДВО АН СССР, 2011. – 28 с.
7. Лебедев А. Ю., Александров И. А., Ивин В. В. Новые данные U/Pb датирования меловых магматических пород Комсомольского рудного района (Среднее Приамурье) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2024. – Т. 515, № 306. – С. 188–195.
8. Уткин В. П. Сдвиговый структурный парагенезис и его роль в континентальном рифтогенезе восточной окраины Азии // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32, № 3. – С. 21–43.
9. Ханчук А. И., Гребенников А. В., Иванов В. В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 3. – С. 4–37.
10. Чернышев И. В., Чугаев А. В., Шатагин К. Н. Высокоточный изотопный анализ Pb методом многоколлекторной ICP-масс-спектрометрии с нормированием по 205Tl/203Tl: оптимизация и калибровка метода для изучения вариаций изотопного состава Pb // Геохимия. – 2007. – № 11. – С. 1155–1168.
11. Chugaev A. V., Chernyshev I. V., Ratkin V. V. et. al. Contribution of crustal and mantle sources to genesis of Sn, B and Pb-Zn deposits in South Sikhote-Alin subprovince (Russian Far East): Evidence from high–precision MC-ICP-MS lead isotope study // Ore Geology Reviews. – 2020. – 125. – 103683.
12. Stacey J. S., Kramers I. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth Planet. Sci. Lett. – 1975. – V. 26, № 2. – P. 207–221.

Ратьков С. С.[1] (RatkovSS@alrosa.ru), Забелин А. В.[2] (ZabelinAV@alrosa.ru)
[1] АК «АЛРОСА» ПАО, г. Новосибирск, [2] ООО «АЛРОСА ИТ», г. Мирный

ОПЫТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИС «ЕДИНОЕ ГЕОЛОГО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО» ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМ МАССИВОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

АК АЛРОСА в определенный момент времени столкнулась с необходимостью переосмысления геологической информации, накопленной за десятилетия проведения геологоразведочных работ. Это невозможно без комплексного вовлечения всей наработанной ранее информации. Так, в АЛРОСА была внедрена ИС ЕГИП, которая позволила объединить разнородные базы данных и обеспечить к ним доступ в режиме единого окна. По результатам промышленной эксплуатации были сделаны первые выводы о функционировании ИС ЕГИП и о тех сложностях, с которыми пришлось столкнуться при ее использовании для управления данными.

Ключевые слова: поиск данных, неструктурированные данные, проверка данных, структура данных, геологические данные, большие данные, управление данными, геологоразведка, АЛРОСА, ИС ЕГИП.

Для эффективного решения задач комплексной интерпретации геолого-геофизической информации, помимо организации баз данных и оцифровке исторической информации, требуется решить еще несколько вопросов, а именно [1]:

- Обеспечить массовую загрузку, проверку качества, полноценное управление и описание файловых данных.
- Объединить весь массив накопленных данных и обеспечить оперативный доступ к геологической информации.
- Унифицировать подходы к описанию и структурированию данных, использованию справочников.

Для этого в АК АЛРОСА был реализован проект по внедрению информационной системы Единое геолого-информационное пространство (далее по тексту ИС ЕГИП). Были определены основные требования – возможность быстрого доступа ко всем накопленным данным и их вовлечение в обработку, полноценный тестовый и географический поиск, унификация атрибутивной и справочной информации, возможность управления файловыми данными [2].

На этапе реализации проекта были интегрированы все основные геологические базы геологоразведочного комплекса АК АЛРОСА, перенесены ранее описанные файловые данные под управление ИС ЕГИП, произведена базовая настройка параметров отображения в интерфейсе системы метаданных, описывающих геологическую информацию. Помимо этого, обеспечена геопривязка файловой информации за счет автоматической идентификации и наследования координат района работ, настроены базовые проверки качества данных, размещенных в ИС ЕГИП [3].

С 2023 г. ИС ЕГИП находится в промышленной эксплуатации, и за время ее функционирования был выявлен ряд особенностей в управлении как структурированными, так и не структурированными данным, с различной степенью описания. Когда они находятся в границах единой интеграционной платформы, многие нюансы становятся более очевидными, чем когда данные управляются отдельно друг от друга. На текущий момент ИС ЕГИП управляет более, чем 3 ТБ файловой геологической информации, подключены 4 специализированные СУБД, индексируются 3 файловых ресурса.

Исходя из приобретенного опыта, можно выделить 2 направления, на которые стоит обратить внимание при внедрении интеграционной платформы для геологической информации, – нормализация данных и функциональность интеграционной платформы.

Нормализация данных. Основная сложность, которую потребовалось решать в ходе эксплуатации ИС ЕГИП, – различие в атрибутике и описании данных. Зачастую сущности, обозначающие одно и тоже, называются каждая по-разному в своих целевых СУБД. Степень детализации описания данных не всегда достаточна для того, чтобы произвести однозначную их идентификацию. Таким образом, несмотря на все плюсы единой интеграционной платформы, мы не сможем полноценно ориентироваться в массиве информации, так как будем упускать пласт информации, который не будет однозначно соответствовать поисковому критерию, либо будет неполноценно описан. В этом случае может помочь географический поиск по заданным координатам, но дальнейшее совместное использование таких данных в специализированном ПО будет затруднительным.

Подход к загрузке файловых данных должен быть более взвешенный. Не следует разово загружать все накопившиеся данные под управление единой интеграционной платформы, даже если эти данные достаточно описаны, структурированы по каталогам в зависимости от типа данных или вида геологоразведочных работ. Требуется предварительная проработка новой целевой структуры хранения, в том числе с учетом того, чтобы доступ к этим данным мог быть предоставлен с использованием программного кода для выгрузки в интеллектуальные системы обработки геологической информации, без участия человека. То есть эта структура должна однозначно интерпретироваться и разбираться на составляющие. После чего необходимо множеством итераций загружать файловые данные, контролируя не только структуру, но и полноту их описания, чтобы эти данные могли быть использованы в дальнейшей работе и несли ценность для конечного пользователя.

Также огромным преимуществом будет наличие системы управления справочной информацией, так как не потребуется сверять, исправлять и настраивать кросс-функциональное взаимодействие баз данных в части применения единых атрибутивных данных. На текущий момент это является перспективной задачей для ИС ЕГИП.

Функциональность интеграционной платформы. Помимо базовых и обязательных функций, предъявляемых к интеграционной платформе для геологической информации, еще на этапе опытной и промышленной эксплуатации ИС ЕГИП были зафиксированы порядка 80 запросов на изменение. Если остановиться на основных из них, то в первую очередь хочется отметить следующие:

1. Необходим удобный и функциональный инструмент по массовой загрузке файловой информации. Как было сказано выше, одним из условий полноценного использования данных является их правильная исходная структуризация и полнота заполнения метаданных. Так как файловых данных за время функционирования любого предприятия накапливается большое количество, нужен инструмент, который позволит с наименьшими временными затратами загружать и описывать данные, анализируя файловую структуру места размещения файла и переводя эту структуру в атрибуты метаданных. Помимо этого, на этапе загрузки данных желательно осуществлять автоматический контроль на соответствие основным требованием – корректность структуры данных, наличие определённых типов файлов, проверки справочников на наличие ошибок. Для этих целей силами АЛРОСА и АЛРОСА ИТ было разработано дополнение к ИС ЕГИП, которое поддерживает описанные выше функции.

2. Требуется разработка плагинов для возможности обращения к данным из специализированного ПО. Речь идет о том ПО, в котором производится основная комплексная интерпретация геолого-геофизических данных. Это избавит от необходимости собирать данные в один проект из разных источников, упростит поиск необходимой информации среди всех имеющихся данных. При работе таких плагинов как раз весьма актуальна функция пространственного поиска по экстенту проекта, но стоить обратить внимание на то, чтобы данные в различных системах координат корректно обрабатывались в ПО.

Так, по заказу АК АЛРОСА были разработаны специализированные плагины для ArcGis ArcMap и Oasis montaj [4, 5]. В целом работа по вовлечению данных в обработку с использованием плагинов из ИС ЕГИП значительно упростилась. Но в связи с мероприятиями по импортозамещению возникла потребность в реализации подобного функционала в программах аналогах, которые поэтапно внедряются в АЛРОСА.

3. Должна быть обеспечена фиксация действий пользователей, особенно когда корректируется информация в классах ИС ЕГИП и предполагается массовая загрузка информации. ИС ЕГИП на текущий момент не позволяет вести журнал действий пользователей, что в переделенных ситуациях может доставить неудобства, поэтому одно из намеченных изменений – обеспечение внутри системы данного функционала.

4. Должно быть обеспечено быстрое скачивание наборов файлов из ИС ЕГИП, которая на текущий момент сильно снижает скорость скачивания двух и более файлов из-за потокового архивирования.

Можно констатировать, что опыт эксплуатации ИС ЕГИП позволил повысить качество геологических данных в целом, по-другому взглянуть на то, как они увязываются между собой, насколько хорошо описаны, чтобы среди тысяч файлов, выданных поисковым запросом, можно было точно идентифицировать требуемые для дальнейшей обработки данные. Географический поиск оказался бесценен в тех случаях, когда зона интереса исследовалась предшественниками несколько десятилетий назад и требуется аккумулировать всю изученность для обоснования дальнейших работ.

Выявленные в процессе эксплуатации недостатки в качестве данных, намеченные задачи по улучшению функционала ИС ЕГИП позволят довести геологические данные до того уровня, при котором станет возможной их автоматизированная обработка, будет обеспечен новый стандарт в обработке и культуре подготовки цифровых геологических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Борисов В. В., Ратьков С. С., Юсуфов Б. С. Интеграция геолого-геофизических данных, в единое геоинформационное пространство // Научно-практическая конференция «Актуальные проблемы поисковой геологии» ФГБУ «ВИМС (22.11.2022-24.11.2022)
2. 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 месторождении алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 56–57.
3. Борисов В. В., Ратьков С. С., Юсуфов Б. С. Возможности по обеспечению контроля качества исторических цифровых геолого-геофизических данных // Материалы XI международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождении алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2023. – С. 54–56.
4. Ратьков С. С., Гончаров Е. М., Гончарова В. В., Забелин А. В., Юсуфов Б. С., Тюпанов С. Н. "МОДУЛЬ ИНТЕГРАЦИИ ESRI ARCMAP - ИС «ЕГИП». – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023682331, 24.10.2023.
5. Ратьков С. С., Коваленко Н. И., Гончаров Е. М., Зайцевский Ф. К., Забелин А. В., Юсуфов Б. С., Мадьяров Э. И. Модуль интеграции GEOSOFT OASIS MONTAJ – ИС «ЕГИП». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023682658, 27.10.2023.

Рахимов Н. И. (bekleon7777@gmail.com), Юсупов У. Х. (ggt14217@gmail.com), Бекчанов Ж. И. (bekchanovj@gmail.com)
ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ПРОДУКТОВ МАНТИЙНОГО МАГМАТИЗМА КУЛЬДЖУКТАУ

Работа посвящена детальному изучению продуктов мантийного магматизма на примере массивов Бельтауский и Шайдараз. Описание их геологической структуры и минералогического состава позволяет лучше понять процессы, происходящие при мантийном магматизме, и открывает новые перспективы для разработки медно-никелевых месторождений.

Ключевые слова: Кульджуктау, Бельтау, доломит, магматизм, контакт, песчано-сланцевые, сульфидно-никелевые, Тасказган.

В последние годы в мире возродился интерес к разработке промышленных сульфидных медно-никелевых руд, которые связаны с базит-гипербазитовыми интрузивами, являющимися продуктами мантийного магматизма. Очевидно, что успешная реализация этого интереса в геолого-поисковых и геологоразведочных работах невозможна без должного уровня геологической изученности рудоносных базит-гипербазитовых интрузий.

Благодаря существованию комплексного сульфидно-никелевого и графитового месторождения Тасказган, которое генетически связано с гипербазитами и базитами Бельтау, значительное количество геологических исследований габбро-перидотитовых и габброидных интрузий в районе Кульджуктау было проведено в 1960–1980-х годах (работы И. М. Евфименко, М. Ш. Шарафиева, Л. Б. Когана, Я. С. Висьневского, И. Х. Хамрабаева, В. В. Баранова, К. М. Кромской и других).

Продукты мантийного магматизма хребта Кульджуктау. Продукты мантийного магматизма Кульджуктау представлены двумя массивами: Бельтауским и Шайдаразским. Бельтауский габбро-перидотитовый массив расположен в юго-западной части Центрально-Кызылкумского рудно-магматического комплекса, на западной оконечности хребта Кульджуктау [1] (см. рисунок).

Массив находится среди доломитизированных и мраморизованных известняков, доломитов и кремнисто-карбонатных пород верхнего силура и среднего девона. Массив имеет двухфазное

строение: первая фаза – перидотитовая, вторая – габброидная. Перидотитовая фаза включает серпентинизированные плагиоклазсодержащие лерцолиты, а габброидная – троктолиты, габбронориты, титанавгитовые и рогообманковые габбро, лейкогаббро и анортозиты [4].

Внутреннее строение массива осложнено многочисленными, часто крупными ксенолитами вмещающих карбонатных пород. Эти ксенолиты, известные как скиалиты, занимают значительную площадь на современных разрезах и прослеживаются на глубину по данным структурного глубокого бурения.

Шайдаразский габброидный массив расположен в центральной части хребта Кульджуктау, между колодцами Шайдараз и Актасты. Вмещающие породы представлены песчаниками и сланцами с прослоями известняков, которые относятся к таушанской свите среднего карбона. Массив имеет сложную структуру, которая включает габбро, габбро-нориты, роговообманковые габбро и диориты [2, 3].

Контакты массива с вмещающими породами характеризуются значительными преобразованиями в карбонатных породах, что приводит к образованию кварцевых роговиков, ороговикованных сланцев и мраморов. Внутренние части массива также изобилуют ксенолитами, преимущественно песчано-сланцевыми.

Заключение. Геологические исследования, проводимые на массиве Кульджуктау, играют важную роль в изучении продуктов мантийного магматизма и разработке перспективных медно-никелевых месторождений. Это исследование помогает глубже понять процессы, происходящие при мантийном магматизме, и расширяет возможности для геологоразведочных работ.

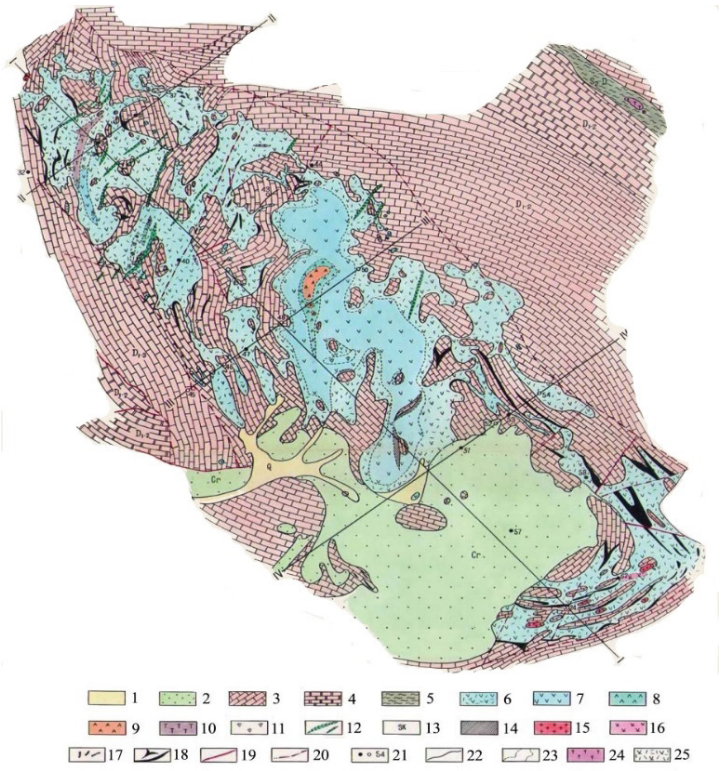


Рисунок. Схематическая геологическая карта Бельтауского габброидного массива. Составлена В. В. Барановым с дополнениями Г. Г. Лихойдова (1964 г.):

1 – современные отложения, Q; 2 – терригенно-осадочные отложения, K; 3 – известняки $D_{1–2}$; 4 – доломиты и доломитизированные известняки, $D_{1–2}$; 5 – метаморфизованные песчано-сланцевые отложения S_2–D; 6 – роговообманковое габбро; 7 – габбро с титан-авгитом; 8 – лейкократовое габбро; 9 – анортозит и полосчатое габбро; 10 – лерцолит и плагиолерцолит; 11 – пегматоидное габбро; 12 – микрогаббро и кварцевое микрогаббро; 13 – карбонатитовый альнеит; 14 – пироксен-гранат-волластонитовый скарн; 15 – гранитоиды; 16 – габбро-сиенит; 17 – кварцевые жилы; 18 – тела графита; 19–20 – тектонические нарушения: 19 – прослеженные, 20 – предполагаемые; 21 – устья скважин; 22 – интрузивные контакты; 23 – постепенные взаимопереходы габброидов; 24 – диорит и кварцевый диорит; 25 – габбро-норит и амфиболизированный габбро-норит

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Айсанов Я. Б. Стратиграфия палеозойских отложений восточной части Кульджуктау // Узбекский геологический журнал. – 1965. – № 5. – С. 17–22.
2. Баранов В. В., Кромская К. М., Висьневский Я. С. Габброидные комплексы западной части Южного Тянь-Шаня и их минерагения. – Ташкент : Фан, 1978. – 168 с.
3. Буртман В. С. Тянь-Шань и Высокая Азия: тектоника и геодинамика в палеозое. – М. : Геос, 2006. – 216 с.
4. Далимов Т. Н., Ганиев И. Н. Эволюция и типы магматизма Западного Тянь-Шаня. – Ташкент : Университет, 2010. – 226 с.

Рахматуллаев Ф. Ф.[1] (farruxraxmatullayev6868@gmail.com),
Касимова Ш. Р.[2] (shaxzodaxon.kasimova75yandex.com),
Мовланов Ж. Ж.[3] (jahongir79@mail.ru), Марипова С. Т.[1] (maripova.s@inbox.ru)
[1] ГУ «ИМР», г. Ташкент; [2] Министерство горнодобывающей промышленности и геологии Узбекистана; [3] Центр геоинновационных технологий ГФУ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОЛОВЯННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ИЗВЕСТНЯКАХ ЗИРАБУЛАК-ЗИАЭТДИНСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА

Проведен анализ закономерностей размещения месторождений олова в известняках Зирабулак-Зиаэтдинского горнорудного района Узбекистана. Оруденение представлено тремя формациями: скарново-оловянно-полиметаллической, карбонатно-касситеритовой, кварцево-карбонатно-касситеритовой. Рассмотрены основные черты формирования, вещественный состав, морфология рудных тел, околорудные изменения вмещающих пород, отношение к интрузивным образованиям и другие особенности вышеуказанных формаций на примере отдельных месторождений. Ведущими факторами локализации и размещения оловянного определения в карбонатных породах в Зирабулакском районе являются магматический, литолого-стратиграфический, геолого-структурный. Учитывая возрастающий спрос на олово на мировом рынке, изучение оловоносных формаций в известняках представляет научный и практический интерес.

Ключевые слова: олово, месторождение, формация, закономерности размещения, БД олова, Кызкурган, Кочкарлы, Лапас, Юго-Западный Тянь-Шань, Зирабулак-Зиаэтдинский горнорудный район, Узбекистан.

Месторождения оловянных руд, образовавшиеся в карбонатных породах и пространственно ассоциирующиеся с интрузиями субщелочного состава, являются полиформационными и включают также оловоносные скарны. Они расположены в Южном Китае, в районе Кинта в Малайе, в Мексике (Сан-Антонио), на Аляске в США (Сьюард), Маунт-Бишоф в Тасмании, Арандиз в Южной Африке, Мушистон в Таджикистане, Сарыджазском районе Кыргызстана, в Приморье и других районах России. Обобщение материалов ведущих месторождений олова в мире показало, что «месторождения олова в районах развития карбонатных пород, несмотря на относительно малую распространенность последних, заключают в себе почти половину всех мировых запасов» [4]. Это месторождения со сложным минеральным составом, а также наличием сопутствующих компонентов F, W, Cu, Be, Sb, Pb, Zn и др. В Узбекистане коренные месторождения олова в известняках обнаружены в Зирабулак-Зиаэтдинском горнорудном районе (центральная часть Юго-Западного Тянь-Шаня). Многие исследователи включают эту территорию в оловорудную провинцию Центральной Азии [3].

На металлогеническую специализацию Зирабулак-Зиаэтдинских гор повлияло сонахождение в его пределах двух террейнов с различными чертами геодинамического развития: Кульджук-Чакылкалянского (континентальный шельф) с редкометалльно-редкоземельным оруденением и Зеравшанского (океаническая стадия развития) с золоторудным оруденением [5]. Оловоносность района связана с Кульджук-Чакылкалянским террейном, где наряду с верхнепалеозойскими редкометалльными пегматитами и шеелитоносными скарнами широко представлены одновозрастные гидротермальные оловорудные образования (рисунок).

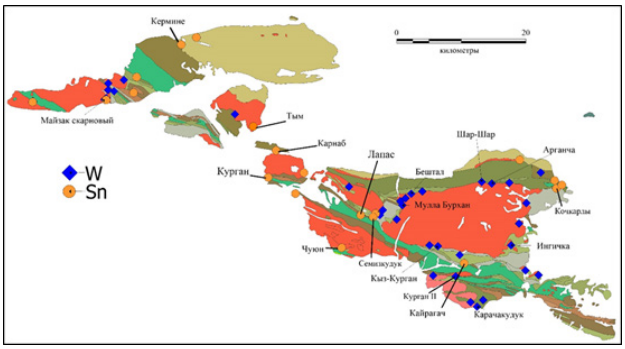


Рисунок. Размещение оловорудных и вольфрамовых объектов Зирабулак-Зиаэтдинских гор (Ф. Ф. Рахматуллаев, 2024 г., по материалам С. Т. Мариповой и др.)

В настоящее время на территории Зирабулак-Зиаэтдинских гор обнаружено более 132 объектов коренного олова различного ранга, но крупных промышленных объектов пока не обнаружено. Проведенный анализ БД позволил выявить, что месторождения олова в известняках относятся к скарново-полиметаллической, кварцево-карбонатно-касситеритовой и карбонатно-касситеритовой формациям.

Объекты скарново-оловянно-полиметаллической формации – Кызкурган, Кальтасай, Девонсай и другие – расположены на крыльях Зирабулакской антиклинальной складки и приурочены к зоне экзоконтакта гранодиоритовых массивов. Все они тяготеют к доломитовым известнякам.

В геологическом строении скарново-оловянно-полиметаллического месторождения Кызкурган принимают участие исключительно толщи карбонатных пород, прорванные с севера гранитоидами Зирабулакского интрузива. Карбонатные породы представлены доломитовыми известняками, осложненными складкой субширотного простирания с общим падением на юг. Разрывные нарушения северо-восточного простирания развиты во вмещающих доломитовых известняках и имеют крутое (80–85°) падение на северо-запад. Вдоль этих трещин в доломитовых известняках развиты скарны и оловянно-полиметаллическое оруденение. Трещины северо-западного простирания менее развиты, с ними связана оловянно-полиметаллическая минерализация. Морфология рудных тел: жилы, штокообразные и контактовые тела. Для месторождения характерны разнообразие гипогенных минералов, также редкие минералы олово, станнин, франкеит, тиллит и многостадийность минералообразования [2].

Месторождения карбонат-касситеритовой формации Кочкарлы, Кальта развиты в известняках.

Карбонатно-касситеритовое месторождение Кочкарлы расположено в северо-восточной части гор. В его геологическом строении участвуют известняки силура, смятые в синклинальную складку широтного направления; месторождение пересекается дайками лампрофиров близширотного и меридионального простирания. В 2,5–3 км к юго-западу от месторождения известняки прорваны гранитоидами Зирабулакского интрузива. Кочкарлинский разлом имеет юго-восточное (130–145°) направление и сбросо-сдвиговый характер. По нему установлено широкое развитие процессов мраморизации, местами доломитизации и анкеритизации. Лампрофировые дайки подвергнуты интенсивной гидротермальной переработке (серицитизации, сульфидизации) и местами несут оловянную минерализацию. Основные минералы месторождения – кальцит, доломит, анкерит, серицит, хлорит, вторичный кварц, касситерит, пирит, марказит, галенит. Морфология рудных тел: штоки, жилы, гнезда. Формирование месторождения происходило многостадийно, термозвуковые исследования касситерита [6] подтверждают соответствие группе среднетемпературных месторождений удаленной зоны по М. Х. Абдуллаеву [1].

Месторождения кварцево-карбонатно-касситеритовой формации Лапас, Сукойты, Кызил-Гура и другие объекты размещены среди известняков и сланцев силурийского возраста. Локализуются они в крыльях или замковых частях антиклинальных структур, осложненных мелкой складчатостью, приурочиваются к разрывным участкам.

Кварцево-карбонатно-касситеритовое месторождение Лапас расположено в юго-западной части Зирабулакских гор и сложено комплексом верхнесилурийских осадочно-метаморфиче-

ских пород, смятых в антиклинальную складку, погружающуюся в юго-восточном направлении. В составе осадочных пород преобладают ороговикованные песчанистые и филлитовые сланцы; светло-серые и темные известняки; песчанистые и слюдяные сланцы. Лейкократовые граниты (C_3-P_1) и дайки лампрофиров секут эти породы. Выделяются две системы разрывных нарушений: северо-восточная (15–25°) и северо-западная (290–310°). В северо-западных структурах размещаются дайки лампрофиров и развита гидротермальная минерализация с оловянным оруденением. Основные минералы: серицит, кварц, пирит и карбонаты в дайках лампрофиров; кварц, доломит, кальцит и касситерит в доломитизированных известняках. Характерна штокообразная, линзообразная, гнездообразная и жильная форма рудных тел. Формирование месторождения многостадийно и относится к среднетемпературной группе месторождений удаленной зоны.

Таким образом, оловянное оруденение в известняках Зирабулак-Зиаэтдинского горнорудного района представлено тремя формациями: скарново-оловянно-полиметаллической, карбонатно-касситеритовой, кварцево-карбонатно-касситеритовой. Факторами размещения оловянного оруденения в карбонатных породах являются магматический, литолого-стратиграфический; метасоматический; геолого-структурный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаев Х. М. Магматизм и оруденение Средней Азии. – Ташкент : Изд-во АН УзССР, 1960.
2. Баймухамедов Х. Н., Ефименко И. М. Олово // В кн.: Минерально-сырьевые ресурсы Узбекистана. Ч. 1. – Ташкент : Изд-во АН УзССР, 1975.
3. Геология оловорудных месторождений СССР. В 2 т. Т. 2. Оловорудные месторождения СССР. Кн. 2 / гл. ред. С. Ф. Лугов. – М. : Недра, 1986. – 200 с.
4. Иванов Ю. Г. Металлогения олова Приморья. – М. : Недра, 1971. – 272 с.
5. Миркамалов Р. Х., Диваев Ф. К. и др. Террейновое строение Зирабулак-Зиаэтдинских гор // Геология и минеральные ресурсы. – 2021. – № 6. – С. 3–15.
6. Усманов И. А. Об определении температуры кристаллизации касситерита методом декрепитации // Сборник «Тезисы докладов совещания по вопросам изучения эндогенных месторождений Средней Азии». – Ташкент : САИГИМС, 1975. – С. 24–27.

Рогизный В. Ф., Кузин И. Н.

ФГБУ «ЦНИГРИ»

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ВОСТОЧНО-ХИЛАКСКОЙ ПЛОЩАДИ НА ПОИСКОВОЙ СТАДИИ СКВАЖИНАМИ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

По результатам проведения апробации прогнозных ресурсов кат. P_2 установлена повышенная сложность проведения последующих этапов изучения объекта из-за нерешенности вопросов установки буровых станков на крутых площадках поверхности. В настоящей оценке рассматривается вариант поэтапного доизучения участка площади Даргшуадон из подземных буровых камер, которые строятся по трассе разведочных бремсбергов.

Ключевые слова: прогнозные ресурсы категории P_1, поэтапная проходка бремсбергов, скважинная доразведка из подземных выработок.

На Восточно-Хилакской площади, которая занимает высокогорную область на юге Республики Северная Осетия – Алания, в 2022–2024 годах выполнены ГРР с поверхности за счет средств ФБ при использовании канав и расчисток, а также редких скважин колонкового бурения. По результатам проведенных работ выделены два перспективных участка: 1) Дзагалыком с Южной минерализованной зоной; 2) Даргшуадон с группой «Северных» зон: Северная-I, Северная-II, Центральная и Промежуточная.

При анализе разрезов рудоносных метасоматитов, вскрытых редкими скважинами, отмечается увеличение с глубиной содержаний золота отдельных рудных тел, что позволяет прогнозировать увеличение интенсивности оруденения с глубиной.

В целом для крутопадающих минерализованных зон в горных условиях принятая система изучения объекта с поверхности имеет ряд недостатков:

— существенно осложнен выбор площадок для установки буровых станков;

— канавы и расчистки характеризуют лишь приповерхностную часть объекта;

— пересечения рудных зон из-за острых углов встречи скважины мало достоверны;

— затруднен отбор крупных технологических проб.

Следует также обратить внимание на особенности объектов апробации:

по участку Даргшуадон – зоны Центральная, Промежуточная, Северная-I, Северная-II сближенные, расположены компактно; их вскрытие может быть обеспечено общим комплексом подземных выработок; среднее содержание золота составляет ≈ 1,99 г/т; протяженность зон с запада на восток 1000–1700 м; при подтверждении ресурсов проветривание поля такой протяженности реально обеспечивается;

по участку Дзагалыком – Южная минерализованная зона отличается пониженным содержанием золота (1,38 г/т); её протяженность существенно больше (≈ 4000 м); восточная часть Южной зоны удалена от группы «Северных» зон, что предполагает доизучение ресурсов отдельным комплексом выработок.

Учитывая нерешенность вопроса установки станков колонкового бурения на поверхности, в настоящей оценке рассматривается вариант изучения участка Даргшуадон из подземных буровых камер разведочно-эксплуатационной шахты (РЭШ).

Целью работы является достижение рекомендованной плотности сети опробования для перевода ресурсов P_2 в кат. P_1 путем создания благоприятных условий для колонкового бурения скважин из подземных камер, примыкающих к трассе **сдвоенных** разведочных бремсбергов $\alpha = +110 \div 130$ (проходка двух параллельных выработок объясняется необходимостью обеспечения запасного выхода и проветривания забоев в процессе буровзрывных работ).

Трасса *разведочных бремсбергов* проектируется в срединной части участка Даргшуадон вдоль выявленных рудных зон. Доступ к разведочным бремсбергам обеспечивается спаренными *подходными бремсбергами* с площадки серпантина на отметке 2350 м. Так как общая протяженность трассы сдвоенных выработок внушительна, намечается поэтапная их проходка с промежуточным заверением результатов поверхностной разведки керном подземных скважин.

Применительно к участку Даргшуадон, где намечается перевод прогнозных ресурсов кат. P_2 в кат. P_1, ЦНИГРИ рекомендована *плотность сети по простиранию зон 160–240 м*, исходя из двухкратного ее разряжения, рекомендованной запасам категории C_1 [2] для каждой последующей более низкой категории запасов и прогнозных ресурсов. *Сеть по падению* предлагается 100–120 м с учетом неравномерного распределения золота, которое установлено в результате поисковых работ.

Созданная по итогам завершенных в 2024 г. ГРР поисковая сеть на участке представлена шестью разрезами, при этом расстояния между ними по простиранию неравномерны:

1В – 150 м – **IA** – 290 м – **II** – 410 м – **III** –310 м – **IV** – 310 м – **V**

На участках трассы бремсбергов, где рекомендованная плотность разведочной сети по простиранию недостаточна для категории P_1, предусмотрены дополнительные профили с индексом Б, которые показаны курсивом на продольной проекции по трассе разведочных бремсбергов **(IБ; IIБ; IIIБ; IVБ; VБ)**.

Выработки проходятся с подъемом, следуя общему контуру исследуемой рудоносной площади. Буровые камеры, площадки для станков колонкового бурения скважин будут располагаться в присечках бремсбергов на профилях существующих и дополнительных разрезов.

Намечается три этапа работ:

1-й этап: проходка подходного бремсберга $S \approx 7{,}7$ м^2 до разреза 1В 250 м *одним забоем*, при этом используется комплекс оборудования с бурильной установкой (БУ) Muki FF и погрузоч-

но-доставочная машина (ПДМ) Paus 10; порода выдается на поверхность в ковше ПДМ. Если при проходке пересекается Центральная зона, может быть отобрана технологическая проба.

На этапе решаются следующие задачи: строительство буровой камеры для станка Diamec U4 и бурение веера скважин с получением керна по профилю 1В (включая керн ниже уровня стояния станка); заверка результатов поверхностной разведки по профилю 1В. При подтверждении результатов поверхностной разведки (повышение качества проб с глубиной) можно ориентироваться на *увеличение темпов двухзабойной проходки* бремсбергов за счет пополнения комплекта оборудования шахтным автосамосвалом (ШАС) DT-704 для выдачи породы на поверхность.

2-й этап: двухзабойная проходка выработок с выдачей породы на поверхность ШАС до разреза III (расчетные темпы проходки в двухзабойном режиме 180–200 пог. м/мес. [1]). На этапе решаются задачи строительства камер по профилям 1А, 1Б, II, IIБ и III, бурения скважин с получением керна, выполняется заверка результатов разведки с поверхности по существующим профилям IA; II; III, а также сгущение сети бурением по профилям IБ и IIБ.

К моменту выхода на профиль III (отм. 2600 м) возрастают трудности с проветриванием выработок и буровых камер вентиляторами местного проветривания. Чтобы решить задачи проветривания и обеспечения запасного выхода из шахты, намечается выполнить следующие работы:

1) ввод в эксплуатацию главной вентиляторной установки шахты (ГВУ) в дополнительной камере промплощадки на отметке 2350 м; в состав ГВУ включены три вентилятора ВМЭ-12 (рабочий + реверсивный + запасной); такой состав ГВУ позволяет реверсировать воздушную струю в экстренных ситуациях;

2) рельеф поверхности на северном склоне участка Даргшуадон понижен до отметки 2700 м, что дает возможность обеспечить запасной выход на поверхность за счет проходки уклона на север, при этом на завершающем этапе проходки бремсбергов порода на поверхность будет выдаваться ШАС по короткому пути.

3-й этап: завершение двухзабойной проходки бремсбергов до разрезов IV и V со строительством камер и бурением вееров скважин по профилям IIIБ, IV, IVБ, V.

По результатам перевода ресурсов P_2 в кат. P_1 в зависимости от масштабов производства возможны два варианта использования прямолинейного транспортного бремсберга: 1) при ограниченной мощности шахты выдача руды ведется ШАС грузоподъемностью 6,3 т; 2) если же самосвалы г/п 6,3 т не обеспечивают намеченные объемы выдачи руды на поверхность, то прямолинейную часть транспортного бремсберга можно оснастить ленточным конвейером, который разгружается в рудоспуск на отметке 2432 с последующей отгрузкой руды через транспортный бремсберг на промплощадку отм. 2230 м.

Выводы

1) Доизучение рудопроявления на Восточно-Хилакской площади с поверхности в сложившихся условиях имеет ограниченные технические возможности. Авторы рекомендуют ориентироваться на преимущества подземных горных работ, которые на участке Даргшуадон позволяют при переводе прогнозных ресурсов в более высокие категории поэтапно наращивать скважинную разведку из подземных буровых камер.

2) При положительных результатах опробования керна скважин на золото выполненные объемы намеченных подземных горных выработок, по сути, обеспечивают вскрытие шахтного поля, существенно снижая объемы ГКР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Д. А., Рогизный В. Ф., Черемисин А. А., Карпухина М. В. Сопоставление вариантов оценочных работ с использованием поверхностных и подземных скважин колонкового бурения на примере рудопроявления серебра Хачакчан, Респ. Саха (Якутия) // Руды и металлы. – 2019. – № 2. – С. 47–54.
2. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное. – М. : ГКЗ, 2007. – 49 с.

Рыбин И. В. (iliaribin@mail.ru)
ФГБУН «ФИЦ ЮНЦ РАН» (ЮНЦ РАН), г. Ростов-на-Дону

МЕТАМОРФИЗМ ХОТОРЧАНСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Приводится географическое расположение Хоторчанского рудного поля с особенностями регионального и локального гидротермального метасоматоза. Дается детальное описание фаций метаморфизма с выделением наиболее перспективных по золотой минерализации с количественной информацией по минеральному составу.

Ключевые слова: золото, метаморфизм, метасоматоз, минерализация, оруденение, Хоторчан.

Рассматриваемая территория по административному делению входит в состав Охотского района Хабаровского края РФ. Хоторчанское рудное поле расположено на приводораздельной части истоков рек Хоторчан, Гырбыкан и Американ в 180 км к юго-западу от Хаканджинского месторождения и в 200 км на северо-запад от п. Охотск. Относится к районам Крайнего Севера (рисунок). Участок поисково-оценочных работ в структурном отношении приурочен к кальдеровидной просадке, образованной в узле пересечения активных разломов северо-восточного и субмеридионального направления. Разломы являются элементами Хоторчан-Селемджинской северо-восточной и Кетандинской субмеридиональной дизъюнктивных систем. Просадка является переходной областью между Гырбыканским валообразным (на юге) и Верхне-Хоторчанским (в верховьях р. Хоторчан) куполовидными локальными поднятиями, осложняющими основную структуру района, Хоторчанскую впадину.

На территории установлено широкое проявление регионального и локального гидротермального метасоматоза, размещение которого по площади зависит от определенных структурно-геологических факторов. В зависимости от сложности сочетающихся структурных комплексов определяются типы и степень метаморфических преобразований пород, влияющих на локализацию рудной минерализации, в частности, золота. Региональному метаморфизму в пределах исследованной территории, проявленному в пропилитизации и аргиллизации, подвергнуты практически все вулканогенные породы мелового комплекса. Количество новообразований в породах обычно составляет 3–9 % (до 12 %), увеличиваясь в вулкано-структурах и тектонически ослабленных зонах до 30–40 %, нередко до 60 %. Выделяется низкотемпературная карбонат-хлоритовая субфация пропилитизации, проявленная в основном в породах среднего и основного состава хетанинской свиты.

Региональной аргиллизации (кварц-аргиллизитовому и кварц-гидрослюдистому метасоматозу) подвергнуты кислые и умеренно кислые породы амкинской и уракской свит. В разной мере аргиллизацией охвачены и кислые субвулканические и интрузивные образования позднемелового интрузивного комплекса.

Локальный гидротермально-метасоматический метаморфизм наиболее интенсивный и многообразный по формам и типам проявлений. Развитие его связывается с тектонической и интрузивной деятельностью, проявленной в пределах локальных вулканоструктур, линейных региональных зон разломов и тектонически ослабленных участков. Наибольшим распространением пользуются пропилитизация, аргиллизация, пиритизация, прожилковая кварц-карбонатная минерализация и кварц-карбонатные жильные образования [1].



Рисунок. Месторасположение Хоторчанского рудного поля

Низкотемпературная пропилитизация карбонат-хлоритовой и карбонат-серицит хлоритовой субфаций с вторичными новообразованиями кальцита, серицита, хлорита, лейкоксена, сфена и пирита проявлена в основном в породах среднего и основного состава и в меньшей мере в переходных разностях пород от основного к умеренно кислому составу. Области ее развития ограничиваются образованиями хетанинской и уракской свит. Обычное количество новообразований при площадной пропилитизации составляет 10–12 %, и измененные породы приближаются в этом случае к породам регионального зеленокаменного метаморфизма. Наибольшее количество новообразований характерно для околорудных зон, где они достигают содержаний 50–60 %, а иногда нацело замещают исходную породу. В околорудно-измененных породах отмечается наиболее интенсивная пиритизация, выраженная повышенной густотой вкрапленности мелкокристаллического пирита и тонких его прожилков и просечек. Характерными процессами низкотемпературной пропилитизации являются замещение альбитом плагиоклазов и развитие хлорита и карбоната по темноцветам и основной массе. В околорудных зонах пропилитов заметное значение приобретают хлорит, серицит и метасоматический кварц, которые развиваются по плагиоклазам в основной массе. Тип метаморфизма отвечает карбонат-серицит-хлоритовой субфации пропилитов. С данным типом метаморфизма связана наиболее интенсивная золотая минерализация, причем иногда содержания золота в экзоконтактовых пропилитах значительно превышают его содержания во вмещаемых ими жильных образованиях [2].

Аргиллизация обычно сопутствует процессам пропилитизации, пространственно тесно ассоциируясь с последней, развиваясь по породам умеренно кислого и кислого состава. Типоморфными минералами являются микро- и мелкозернистый кварц (до 40 %), серицит-мусковит (до 15 %), альбит (до 10 %), гидрослюды (до 5 %), монтмориллонит, каолинит. В околорудных зонах заметно присутствие адуляра и хлорита. Повсеместно в аргиллизитах отмечается рассеянная вкрапленность мелкокристаллического пирита.

В зависимости от состава первичной породы и интенсивности проявленных процессов наблюдаются все переходные разности от существенно кварцевых и кварц-аргиллизитовых метасоматитов (кварцитов, аргиллизитов) с количеством новообразований 50–60 %, иногда 100 %, до слабоизмененных пород (не более 15 % новообразований).

Окварцевание и сульфидизация, как процессы гидротермально-метасоматических изменений пород, являются непременной принадлежностью всех перечисленных явлений метаморфизма. Сопутствующим процессом является повышенная рассеянная пиритизация. Появление других сульфидных минералов (галенита, сфалерита, халькопирита и др.) отмечается в участках наиболее интенсивно измененных пород – в околорудных зонах и зонах дробления.

Автометаморфическими процессами охвачены практически все эффузивы допалеогенового времени. Проявляются они в развитии вторичных минералов по фенокристаллам и обломкам кристаллов. Для этих процессов характерно развитие серицита и пелита по плагиоклазам, альбита по калишпатам, криптозернистого кварца и хлорита по пироксенам, мусковит-серицита по биотиту, актинолита по роговой обманке. К автометаморфическим изменениям следует отнести и девитрификацию вулканического стекла [1].

Цеолитизация является в районе особым видом метаморфических преобразований. Она развита в породах хетанинской свиты и наиболее широко распространена в пределах Хоторчанского участка. Цеолитизация выражается в замещении плагиоклазов основной массы и новообразованных минералов фации пропилитизации. Зачастую цеолиты образуют агрегатные пятнистые скопления с густотой распространения, позволяющей считать новообразованный продукт метаморфизма цеолитовой породой. Такие участки наиболее распространены вблизи жильно-прожилковых зон кварц-карбонатного состава, где цеолиты также образуют прожилки и маломощные жилы в ассоциации с карбонатом и кварцем. Являясь продуктами поздних стадий гидротермального процесса, цеолиты часто участвуют и в сложении прожилковых зон в породах вышележащей уракской свиты. В пределах изученного района цеолиты представлены несколькими морфологическими разновидностями: игольчато-волокнистыми, пластинчатыми и тетраэдрическими. Зачастую они окрашены в розоватые и оранжевые цвета [2].

Гидротермальные жильные образования представлены большей частью кварц-карбонатными, адуляр-кварц-карбонатными, сульфидно-кварцевыми и цеолит-кварц-карбонатными жилами и прожилками.

Наиболее богатое золотое оруденение связано с адуляр-кварц-карбонатными жилами, в пределах которых поисковыми работами в пределах Хоторчанского рудного поля установлено несколько рудных тел с промышленными содержаниями золота (участки Хоторчан и Гырбыкан). Большая часть рассматриваемых образований образует жильно-прожилковые и прожилковые зоны северо-восточного, северо-западного, реже субширотного простирания, тяготеющие к разломным зонам этих же направлений. Продуктивные зоны содержат наиболее мощные (до 9 м) и протяженные (до 1 км) жилы, как правило, имеющие сложный полиминеральный состав. В зонах прожилкования, большинство которых тесно связаны с жилами, в зависимости от количества жильного материала, мощности и ориентировки прожилков наблюдаются прожилковые, прожилково-сетчатые и псевдо-брекчиевые, а также типично брекчиевые текстуры. Последние зачастую несут промышленное золотое оруденение. Жильные и прожилковые образования являлись непосредственными объектами поисков золоторудной минерализации.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, No гр. проекта 125011700416-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология СССР // Т. XIX «Хабаровский край и Амурская область», Ч.1 «Геологическое описание». – М. : Недра, 1966. – 736 с.
2. Чекваидзе В. Б., Исакович И. З., Кудрявцева Г. Н. О рудно-метасоматических ассоциациях эпитермального золото-серебряных месторождений // Известия вузов. Геология и разведка. – 1995. – № 3. – С. 68–75.

Рыбин И. В. (iliaribin@mail.ru)
ФГБУН «ФИЦ ЮНЦ РАН» (ЮНЦ РАН), г. Ростов-на-Дону

СТРАТИГРАФИЯ И ВУЛКАНИЗМ ХОТОРЧАНСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Приводится географическое расположение Хоторчанского рудного поля в совокупности с тектонической характеристикой района. Освещается стратиграфия территории, которая сложена вулканогенными породами позднемелового и палеогенового возраста и комагматичными интрузивными, субвулканическими и дайковыми образованиями.

Ключевые слова: вулканогенный комплекс, разлом, рудное поле, Хоторчан.

Рассматриваемая территория по административному делению входит в состав Охотского района Хабаровского края РФ. Хоторчанское рудное поле расположено на приводораздельной части истоков рек Хоторчан, Гырбыкан и Американ в 180 км к юго-западу от Хаканджинского месторождения и в 200 км на северо-запад от п. Охотск. Относится к районам Крайнего Севера (рис.унок). Участок поисково-оценочных работ в структурном отношении приурочен к кальдеровидной просадке, образованной в узле пересечения активных разломов северо-восточного и субмеридионального направления. Разломы являются элементами Хоторчан-Селемджинской северо-восточной и Кетандинской субмеридиональной дизъюнктивных систем. Просадка является переходной областью между Гырбыканским валообразным (на юге) и Верхне-Хоторчанским (в верховьях р. Хоторчан) куполовидными локальными поднятиями, осложняющими основную структуру района, Хоторчанскую впадину.



Рисунок. Месторасположение Хоторчанского рудного поля

Вулканогенные образования являются наиболее распространенными, слагают обширные поля значительной мощности, которые перекрывают кристаллический фундамент и квазиплатформенный чехол Охотского срединного массива. Территория Хоторчанского рудного поля сложена вулканогенными породами позднемелового и палеогенового возраста и комагматичными интрузивными, субвулканическими и дайковыми образованиями.

К меловой системе относится нижнемеловой вулканогенный комплекс, в частности Ульбериканский подкомплекс. В составе подкомплекса выделяются покровные эффузивы среднего состава – ульбериканская свита ($К_1ul$), породы которой с угловым несогласием перекрывают образования фундамента. В разрезе свиты преимущественно развиты андезиты, андезито-дациты, туфы андезитов. Андезиты ульбериканской свиты порфировые, нередко миндалекаменные с пилотакситовой структурой основной массы. Вкрапленники до 40 % состоят из плагиоклаза, авгита, роговой обманки и иногда биотита. Мощность ульбериканской свиты 200–250 м. Образования верхнемелового ряда вулканогенных комплексов являются основными геологическими компонентами, слагающими площадь района. В ряду верхнемеловых образований выделяются два комплекса – амкинский и уракский [1].

Амкинский вулканогенный комплекс объединяет два подкомплекса: амкинский и хетанинский, различающиеся по составу слагающих компонентов. Породы амкинской свиты ($К_2am$) распространены в районе наиболее широко. Породы представлены образованиями эксплозивной и экструзивной фаций. В составе пород эксплозивной фации выделяются литокристаллокластические игнимбриты дацитового состава, туфы липаритов и дацитов, туфы смешанного состава и пепловые туфы. Туфы дацитов, липарито-дацитов характеризуются серым, зеленовато-серым, сиреневым цветом, массивной атакситовой, участками псевдофлюидальной текстурой. Обломки в отдельных разностях составляют 70–60 % объема породы и представлены дацитами, андезитами, липарито-дацитами, туффитами. Цемент пепловый, а по нему развиваются хлорит, цеолиты, гидрослюда, лимонит. Игнимбриты дацитового состава серого с различными оттенками цвета псевдофлюидальной текстуры. Структура порфиро- и кристаллокластическая, изменения породы незначительны [1].

Породы эффузивной фации представлены липаритами, дацитами, лавобрекчиями, иногда с прослоями андезитов и андезито-дацитов. В низах свиты, в пределах вулкано-тектонических депрессий (бассейн р. Гырбыкан) нередко наблюдаются туфогенно-осадочные образования, представленные туфоконгломератами, туфопесчаниками, туфоалевролитами и туффитами.

Следует отметить, что характер амкинской свиты в разных частях района неодинаков. Для запад-юго-западной части территории характерно широкое развитие туфогенных пород. Свита в целом существенно состоит из липаритов; в восточной, юго-восточной части территории преобладают грубообломочные образования, отдельные горизонты не выдержаны по простиранию, состав свиты – дацитовый. Экструзивные и субвулканические породы представлены редкими проявлениями даек липаритов, прорывающие породы ульбериканской и амкинской свит, основная роль принадлежит туфам дацитового состава, дацитам. Общая мощность свиты 750–800 м.

Хетанинский подкомплекс объединяет покровные эффузивы среднего состава и их пирокластические разности, составляющие хетанинскую свиту, а также дайки, субвулканические и жерловые образования. Хетанинская свита ($К_2ht$), представленная в основном лавами андезитов и андезито-базальтов с линзами и прослоями туфов и туфобрекчий основного состава, наиболее полно наблюдается в водоразделах рек Гырбыкан – Хоторчан и Хоторчан – Хоторандя. Субвулканические и жерловые образования представлены андезитами и андезитовыми порфиритами. Наибольшая мощность свиты определяется до 400 м.

Уракский вулканогенный комплекс объединяет уракскую свиту кислых эффузивов и их субвулканических разностей, развит также на севере территории по южному обрамлению Уракской впадины. Отдельные фрагменты пород комплекса устанавливаются на интенсивно эродированной поверхности нижележащих толщ в бассейнах рек Гырбыкан и Американ. Уракская свита ($К_2ur$) сложена лавами, витрофирами, игнимбритами липаритового и дацитового состава, их туфами и туфобрекчиями, залегающими в виде пологих слоев размытой поверхности нижележащих свит. Нижние части разреза свиты сложены обычно лавами и туфами, а верхние горизонты – игнимбритами.

В составе экструзивных фаций субвулканических интрузий выделены игнимбриты липаритового и дацитового состава, липариты, вулканические стекла кислого состава, дациты, липарито-дациты. Наиболее интересные экструзивные тела площадью до 1,1 км^2 картируются в бассейне р. Гырбыкан и на правобережье руч. Скалистый (правый приток р. Американ). Более крупные из них имеют сложное строение: экструзия сложена липаритами, в которой наблюдаются изометричные выделения вулканического стекла кислого состава.

Несколько иное строение имеет экструзия на руч. Скалистый. Центр ее сложен игнимбритами дацитов, затем прослеживаются вулканические стекла кислого состава, а по периферии опять игнимбриты дацитов. Разрезы уракской свиты не выражены на различных площадях, характерна изменчивость мощности образований, которая колеблется в пределах от 50 до 550 м.

Палеогеновая система представлена в виде Хакаринского вулканогенного комплекса. В составе комплекса объединены покровные базальтоиды хакаринской свиты и их субвулканические аналоги.

Хакаринская свита (P*hr*) распространена на севере района в бассейне р. Хоторчан. Она сложена неизмененными пироксен-оливиновыми базальтами и андезито-базальтами, залегающими в виде мощных и выдержанных по площади покровов. Хакаринская свита с несогласием перекрывает хетанинскую и уракскую свиты. В верховьях р. Хоторчан покров оливиновых базальтов хакаринской свиты залегает на различных слоях туфов и игнимбритов уракской свиты, где туфы липаритов ожелезнены и каолинизированы. Мощность глинизированных пород достигает 10 м, можно предположить, что эти образования являются древней корой выветривания. Вероятно, формированию хакаринской свиты предшествовал достаточно длительный перерыв в вулканической деятельности.

Субвулканические образования представлены мелкими штоками андезитов, базальтов и андезито-базальтов. Вулканические брекчии андезитов и базальтов слагают мелкие экструзии на правобережье р. Американ. Множество экструзивных тел расположено в междуречье Хоторчан – Гырбыкан, а жерло – на водоразделе рек Хоторчан – Хоторандя. Экструзии и жерла образуют положительные формы рельефа (сопки, купола), которые отчетливо дешифрируются на фотоснимках, подчеркиваются концентрическими трещинами, уступами. Наибольшая мощность свиты (500 м) установлена на междуречье Хальмикора – Хоторчан.

Четвертичная система (Q) представлена аллювиальными, элювиальными и делювиальными отложениями. Современные аллювиальные отложения слагают поймы и надпойменные аккумулятивные и цокольные террасы нескольких уровней. Мощность их достигает 10–15 м. Отложения представлены галечниками, валунниками и гравийно-песчаными образованиями с супесью, илами с линзами глин. Элювиальные отложения распространены на вершинах сглаженных водоразделов, в седловинах на выположенных склонах. Элювий крупноглыбовый, мелкощебневый, тонкообломочный с глиной выветрелых пород, представлен различными породами. Мощность отложений 0,75–2,0 м. Делювиальные отложения развиты широко. Ими практически полностью покрыты водоразделы с развитием многочисленных осыпей на незадернованных и крутых склонах. Это крупноглыбовый и мелкообломочный слабосвязанный материал. Мощность образований 1–2 м на водоразделе и 2–7 м на склоне.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, No гр. проекта 125011700416-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология СССР // Т. XIX «Хабаровский край и Амурская область», Ч.1 «Геологическое описание». – М. : Недра, 1966. – 736 с.

Саблуков С. М. (sablukoff@rambler.ru)
ООО ИНПК «РУСГЕО», г. Москва

ДЕТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ УТОЧНЕНИЯ МЕТОДИКИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА АЛМАЗЫ

Особенности строения и состава детально разбуренных кимберлитовых трубок можно использовать для уточнения: 1) тектонических предпосылок выделения перспективных участков, 2) направления перемещения кимберлитового материала на палеоповерхности, 3) «образа» отражения трубок в геофизических полях.

Ключевые слова: кимберлиты, морфология трубок, тектоника, магнитные аномалии, Зимний Берег, Накынское поле.

Всестороннее изучение геологического строения и вещественного состава детально разбуренных в процессе разведки трубок района позволяет использовать некоторые их особенности как дополнительные предпосылки при выборе наиболее перспективных поисковых участков, уточнении направления перемещения кимберлитового материала на палеоповерхности и уточнении «образа» вероятного отражения искомого магматического объекта в наблюдаемых геофизических полях. Такое обоснованное уточнение, дополнение методики проведения поисковых работ может привести к повышению их эффективности.

1. Тонкие морфологические особенности тела трубки им. В. Гриба до горизонта -900 м (по данным ЗАО «Архангельскгеолразведка») проявлены в виде серии разнонаправленных линейных элементов, которые отражают отчётливое влияние тектонических процессов на зарождение и формирование вулканического канала (рис. 1). Образование вулканического жерла произошло в зоне пересечения двух основных разломов: главного северо-восточного рудоконтролирующего разлома и северо-западного разлома (связанного с зоной разломов северного борта Падунского грабена), вдоль которого произошёл левый сдвиг главного разлома с амплитудой примерно 50 м. Именно эта локальная ослабленная зона пересечения двух разломов со сдвигом могла дать начало возникновению вулканического канала и затем длительному процессу извержений кимберлитового материала. Аналогичная структурная приуроченность к области левого сдвига рудоконтролирующего разлома отмечается и для кимберлитовой трубки Нюрбинская Накынского поля Якутской провинции [1]. Зоны сдвига рудоконтролирующего разлома могут являться благоприятным тектоническим фактором при выборе наиболее перспективных участков для детальных поисков в районе.

2. Детальное изучение некоторых многокорневых кимберлитовых трубок показывает, что они представляют собой разновозрастные геологические объекты, имеющие к тому же и разную тектоническую приуроченность. Так, трубка Нюрбинская Накынского поля (Якутия) состоит из Северного тела (основного, однокорневого) и Южного тела (сопутствующего, трехкорневого), которые совмещаются в верхней части трубки. По косвенным признакам, Южное тело внедрилось позже Северного: в нём присутствуют многометровые блоки кимберлитовых пород кратерной фации с отчётливо проявленной градационной слоистостью (от туфогравелитов до карбонатных песчаников). Основное тело трубки – Северное – внедрилось вдоль главного рудоконтролирующего разлома (СВ 15°), а трехкорневое Южное – вдоль оперяющего разлома (СВ 32°).

В Зимнебережном кимберлитовом районе аналогичное тектоническое положение-сочетание занимают трубки Карпинского-1 (однокорневое тело, главный контролирующий разлом) и Карпинского-2 (двухкорневое тело, оперяющий разлом), которая также является более молодой, поскольку содержит многочисленные ксенолиты и блоки пизолитовых туфов кратерной фации. Возможно, похожий характер сочетания имеет и пара резко различающихся по строению соседних трубок на Ан-746б, одна из которых содержит многочисленные ксенолиты туфопесчаников.

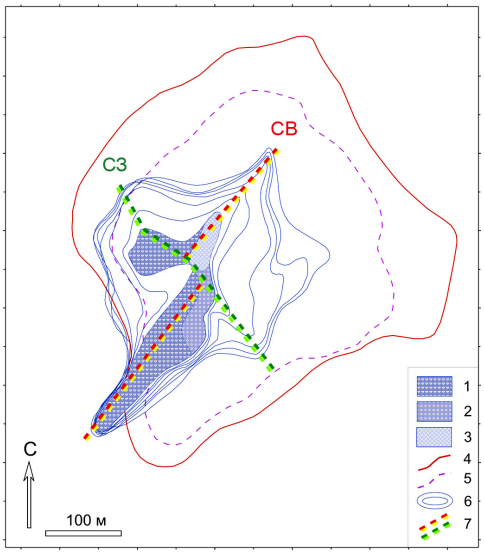


Рис. 1. Тектоническая позиция «зарождения» вулканического канала трубки им. В. Гриба на горизонте -900 м:
кимберлиты: 1 – столб эруптивных пород, 2 – туффизиты, 3 – лавы; 4, 5 – контуры поверхности кратерной (4) и жерловой (5) части трубки; 6 – контуры жерловой части трубки на горизонтах от -300 до -900 м; 7 – зоны предполагаемых рудоконтролирующих разломов

Соответственно, такие трубки приурочены: основная, однокорневая, более древняя – к основному рудоконтролирующему разлому, а более молодая, многокорневая (нередко) – к оперяющему разлому. Поэтому при проведении поисковых работ внимание нужно уделять не только зоне основного рудоконтролирующего разлома, но и зонам разломов оперяющих, по которым тоже могут внедряться кимберлитовые тела на, возможно, значительном расстоянии от основного разлома.

3. Выявленное закономерное изменение морфологических характеристик полости трубки им. В. Гриба позволяет определить направление выброса на палеоповерхность магматического материала из вулканического канала (жерла) трубки, особенности формирования прикратерного вала и заполнения кратерной части трубки (рис. 2). В самой глубокой части жерла трубки отчётливо выделяется зона ***субвертикального направления*** движения (выброса) магматического материала, которая выше сменяется ***зоной смещения направления выброса магматического материала на восток.*** Такое преимущественно восточное направление выброса магматического материала в верхней части жерла могло привести к ассиметричному строению прикратерного вала кимберлитовой тефры на палеоповерхности, что подтверждается асимметричным строением и составом пород кратерной части трубки с градиентом заполнения кратера того же направления – восток-запад. Пологие борта чашеобразного расширения кратера формировались уже в зоне гравитационного обрушения вмещающих пород (коллювия). Преимущественный выброс кимберлитового материала из жерла в восточном направлении мог привести к формированию в дальнейшем удалённых шлиховых ореолов минералов-спутников, напрямую не связанных с размывом трубки им. В. Гриба, что необходимо учитывать при планировании и проведении поисковых работ по промежуточным коллекторам в районе.

4. Кимберлиты наиболее богатых месторождений алмазов (туффизиты или «автолитовые брекчии») практически не отличаются по своим физическим характеристикам от вмещающих пород, поэтому могут не выделяться магнитной съемкой. При этом некоторые кимберлитовые трубки все же отражаются в магнитном поле из-за особенностей их внутреннего строения, выявленных при детальном изучении. Так, в немагнитные кимберлиты трубки Нюрбинская (Накынское поле, Якутия) до глубины 300 м внедрился шток базитов, в 20-метровой экзоконтактовой зоне которого кимберлиты подверглись сильному термическому воздействию с изохимическим новообразованием магнетита и повышением магнитной восприимчивости пород в 50–100 раз (до 6000 · 10^{-5} ед. СИ) [2, 3], что и обусловило существование на поверхности

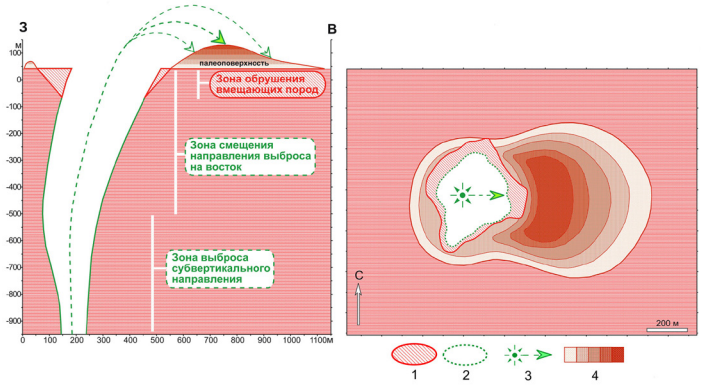


Рис. 2. Формирование резко ассиметричного строения прикратерного вала трубки им. В. Гриба: 1 – зона коллювиальных образований; 2 – контур жерловой части трубки на палеоповерхности; 3 – направления выброса магматического материала; 4 – предполагаемое изменение мощности отложений прикратерного вала трубки

слабой магнитной аномалии, при заверке которой бурением была открыта трубка. Возможно, похожая ситуация сложилась и в образовании слабой магнитной аномалии у трубки им. В. Гриба в Зимнебережном районе. Здесь на глубине более 300 м бурением вскрыт шток лав порфировых кимберлитов с резко, в 50–100 раз повышенной магнитной восприимчивостью (до 4300 · 10^{-5} ед. СИ; первым обратил на это внимание В. В. Третяченко, АК «АЛРОСА»). Породы этого штока образовались в изохимическом процессе термального метаморфизма с элементами скарнирования (новообразованные магнетит, гидрогранат, сьёгренит, а также мощные реакционные каймы и/или фигуры травления на зёрнах минералов-спутников алмаза). В отличие от трубки Нюрбинская, где реализовался подобного рода наложенный термальный ***аллометаморфический*** процесс, в трубке им. В. Гриба более вероятной причиной возникновения пород с аномальными магнитными свойствами является наложенный ***автометаморфический*** процесс, обусловленный воздействием поздних порций тепловой энергии (без привноса вещества), поскольку здесь пока не выявлены более поздние магматические тела, которые могли бы оказать активное термическое воздействие на тело лав кимберлитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладков А. С., Кошкарев Д. А., Черемных А. В., Жоао Ф., Карпенко М. А., Марчук М. В., Потехина И. А. Структурно-вещественная модель становления кимберлитовой трубки Нюрбинская (Средне-Мархинский район Якутской алмазоносной провинции) // Геодинамика и тектонофизика. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 435–458.
2. Зинчук Н. Н., Бондаренко А. Т., Гарат М. Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. – М. : Недра-Бизнесцентр, 2002. – 695 с.
3. Саблуков С. М., Саблукова Л. И. Взаимоотношения кимберлитового и базальтового магматизма в трубке Нюрбинская (Накынское поле, Якутия) // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № 4. – 7 с.

Савва Н. Е.[1] (nsavva7803@mail.ru), Волков А. В.[2] (tma2105@mail.ru),
Кузнецов В. М.[3] (v_kuznetsov12@mail.ru)
[1] СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан; [2] ИГЕМ РАН, г. Москва; [3] ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛОГЕНИИ РАННИХ ЭПОХ РАЗВИТИЯ ОМОЛОНСКОГО КРАТОННОГО ТЕРРЕЙНА НА МИНЕРАЛОГИЮ И ГЕОХИМИЮ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Показано влияние металлогении ранних эпох развития Омолонского кратонного террейна от архея и протерозоя до рифея и раннего палеозоя на минералогию и геохимию среднепалеозойских Au-Ag месторождений. Анализируется привнос Fe, Pb, Cu, Au из древних образований, находящихся в основании более молодых вулканических построек.

Ключевые слова: металлогения, Омолонский кратонный террейн, минералогия, геохимия.

При металлогенических исследованиях одной из главных задач следует считать выявление металлогенической специфики различных эпох развития земной коры в пределах единых территорий, то есть эволюции рудообразования во времени [5]. Этот вопрос положительно решается на вещественном уровне и связан с мобилизацией ведущих (специфических) металлов, типоморфных для ранних эпох, и накоплением их в минералах и рудах более молодых образований.

Омолонский кратонный террейн (ОКТ) длительного развития – прекрасный геологический объект для рассмотрения эволюции металлогении во времени. В его строении выделяется дорифейский метаморфический фундамент и нижний ярус чехла, сложенный рифейскими, кембрийскими и ордовикскими в основном карбонатно-терригенными толщами. Они перекрываются среднепалеозойскими вулканитами Кедонского вулканического пояса (КВП).

Докембрийские метаморфические образования – важнейший источник многих видов минерального сырья для горнодобывающей промышленности в мире. Они вмещают крупнейшие месторождения железа, золота, хрома, алмазов, платиноидов, никеля, меди, полиметаллов, титана, ванадия и урана и могут рассматриваться в качестве наиболее перспективных металлогенических провинций на открытие новых крупных месторождений. Однако независимо от широкого спектра минеральных богатств исторически именно золото остаётся главной целью для геологических исследований этих древнейших геологических образований.

Цель настоящего доклада – показать влияние металлогении ранних эпох развития ОКТ на минералогию и геохимию среднепалеозойских Au-Ag месторождений, то есть наследование элементного состава во времени. В связи с этим будет рассмотрен привнос ряда металлов из фундамента и чехла террейна как дополнительный источник вещества для среднепалеозойских Au-Ag вулканогенных месторождений. Отмечается, что от архея до позднего мезозоя в ОКТ возрастает степень концентрации элементов от древних к молодым комплексам [1]. Рассмотрим поведение металлов поэлементно.

Железо. Формирование залежей железистых кварцитов происходило в среднем рифее (PR_2), на что указывает Rb-Sr изотопия (1150 ± 78 млн лет) [2]. Максимально железное оруденение развито в Южно-Омолонском рудном районе. Для месторождений более молодых эпох Fe-специализация отражается в широком развитии гематитизации метасоматитов и присутствии гематита в рудах эпитермальных Au-Ag месторождений, локализованных в вулканитах (D_{2-3}) КВП. Значительные примеси Fe (до 8,5 мас.%) отмечаются в сульфиде серебра – акантите на месторождениях Кубака и Ольча, а также в появлении группы серебряных колчеданов ряда Ag-Fe-S и железистого темно-красного адуляра (Fe – 11,2 мас.%) на месторождении Ольча. Привнос Fe отчетливо проявлен на Au-Ag месторождении Прогнозное, где в условиях древнего мелководья в переработку вовлечены железистые кварциты (PR_2) и золотоносные метабазиты (PRst). Окатанная галька гематит-магнетитового состава составляет до 50 % в туфогравеллитах (D_{2-3}) КВП, вмещающих это месторождение.

Свинец. Привнос Pb доказателен, поскольку имеется возможность по соотношению изотопов Pb получить его модельный возраст. Для ряда относительно молодых рудных объектов (D_{2-3}–K_2) Омолонского кратона (Седой, Жаркое, Хивач, Бургачан, Правая Визуальная и другие)

изучены изотопы рудного Pb в галените (PbS), показавшие, что он содержит примитивный, обедненный свинец (^{206}Pb) с модельным возрастом 700–1557 млн лет [8]. Все это указывает на то, что Pb древнего происхождения, который был заимствован из древнейших пород фундамента ОКТ, в ходе палеозойского и мезозойского магматизма и рудообразования был регенерирован, обогащен ураногенным свинцом и вошел в состав галенита более молодых месторождений.

Медь. Повышенные концентрации Cu характерны для протерозойских умеренно щелочных габбродолеритов стрелкинского комплекса (PR_{st}), преобразованных региональным метаморфизмом до метабазитов, а также для раннепалеозойских гранитоидов Абкитского плутона (PZ_1) и силурийского Анмандыканского плутона щелочных сиенитов, где отмечается Cu-Mo минерализация. Металлоносность силурийских плутонов связана, вероятно, и с тем, что они структурно и генетически связаны с дорифейскими гранито-гнейсовыми куполами [7]. Медистый акантит (Cu более 1 мас.%) установлен в среднепалеозойских Au-Ag месторождениях КВП Ольча, Юное; также в рудах этих месторождений отмечается развитие минералов ряда Ag-Cu-S.

Золото. Для ОКТ характерно усложнение рудноформационного состава золотого оруденения во времени от золотокварцевого дорифейского, золото-редкометалльного раннепалеозойского до серебряно-золотого и золото-серебряного среднепалеозойского, а на конечном этапе (поздний мезозой) – до золото-серебряного и серебро-полиметаллического с золотом [4]. При этом начало золотого оруденения происходило от относительно простой «древней» золотокварцевой формации [3]. Древнее медистое золото в метабазитах (PR_{st}) установлено в районе Абкитского выступа фундамента ОКТ, а также в россыпях в ассоциации с аурикупридом на этой же территории [6].

Завершая доклад, можно констатировать, что проявления магматизма на протяжении длительного геологического времени мобилизовали Fe, Pb, Cu, Au из докембрийских метаморфических образований ОКТ и тем самым придали специфические особенности минерагении, привнося минералого-геохимические «метки» в месторождения более молодых эпох.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абисалов Э. Г., Кузнецов В. М. Особенности структуры геохимического поля Колымо-Омолонского региона // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Т. 2. Металлогения. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – С. 223–224.
2. Гагиева А. М. Эндогенные события в позднедокембрийской и палеозойской истории Омолонского массива: сопоставление геологических и геохронометрических данных. Автореферат дисс. канд. геол.-минер. наук. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2013. – 28 с.
3. Дылевский Е. Ф., Кузнецов В. М., Палымский Б. Ф. и др. Золотая минерализация в истории развития Восточного Приколымья / Тез. докл. VI съезда РМО. – Л. : Наука, 1981. – С. 75–76.
4. Кузнецов В. М., Палымская З. А., Шашурина И. Т. Металлогеническое районирование и рудоносность Колымо-Омолонского региона // Мат-лы регион. конф. по геологии Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. – Томск : КПР по Томской области, 2000. – Т. 2. – С. 45–46.
5. Рундквист Д. В. Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение // ГРМ, 1993. – Т. 35, № 6. – С. 467–480.
6. Фомина М. И. Золотокварцевая формация Омолонского массива (на примере рудных полей Джугаджак и Нодди) // Автореф. канд. диссертации. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2013. – 22 с.
7. Шевченко В. М. Архей и протерозой Омолонского массива // Петрология и изотопный возраст. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2006. – 176 с.
8. Шпикерман В. И., Чернышев И. В., Агапова А. А., Троицкий В. А. Геология изотопов рудного свинца центральных районов Северо-Востока России. Препринт. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1993. – 36 с.

Савельев А. Д. (Aleksandr_Saveliev@karpinskyinstitute.ru)
ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ НА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКОНЕЧНОСТИ АНАБАРСКОГО ЩИТА

По результатам проведения работ ГДП-200 в 2022–2024 гг. на трёх площадях в пределах юго-восточной оконечности Анабарского щита получены новые данные, имеющие важное значение для дальнейших исследований.

Ключевые слова: Анабарский щит, стратиграфия, магматизм.

Введение. С 2022 года сотрудниками сектора Якутии отдела РГ и ПИ Севера Сибири ФГБУ «Институт Карпинского» проводятся работы ГДП-200 на трёх площадях юго-восточной оконечности Анабарского щита (см. рисунок): Сергеевской (R-49-XXI, XXII), Куонамской (R-49-XXIII, XXIV) и Мюнюсяхской (R-49-XXIX, XXX). Помимо составления комплекта карт современной геологической основы масштаба 1 : 200 000, большое внимание уделяется уточнению особенностей геологического строения территории: возраста, состава, стратиграфического положения, тектонической позиции, границ и площадей развития картографируемых подразделений, а также выявлению закономерностей размещения полезных ископаемых, факторов и критериев их прогнозирования. В этом обзоре будут представлены наиболее важные и интересные результаты проведенной исследовательской работы.

Стратиграфия. Впервые на геологических картах выделена протерозойская хардахская толща (PR_1hr) метабазитов, породы которой ранее относились к архейской амбардахской толще (AR_{1-2}am), а позднее рассматривались как составная часть хапчанской серии (PR_1hp). Внутри хапчанской серии установлено, что метакарбонатные породы характерны для нижней части разреза (хаптасыннахская толща), в то время как верхняя часть (билээх-тамахская толща) практически полностью сложена гранатовыми гнейсами. Для пород хаптасыннахской толщи установлены термобарометрические параметры их формирования.

Получен возраст детритового циркона из терригенных пород лабазтахской свиты (RF_1lb) мукунской серии, лежащих в основании рифейского разреза осадочного чехла. Полученное значение соответствует имеющимся геологическим данным и результатам предшественников, но в то же время позволяет сделать предположение о разных источниках сноса для восточно- и западно-анабарского осадочного бассейна примерно 1680 млн лет назад. Подготовлено дополнение в Анабарскую серийную легенду, согласно которому, необходимо возвратить единую нижнерифейскую юсмахстахскую свиту (RF_1js) вместо среднерифейской некюлээхской (RF_2nk) и верхнерифейской чурбукской (RF_3čb) свит.

Магматизм. Выявлены критерии для расчленения гранитоидов анабарского, билляхского и маганского комплексов, аналогичная работа проведена и для рифейских базитовых дайковых комплексов. В ходе комплексных исследований было установлено, что верифицированными можно считать только три базитовых комплекса, которые можно соотнести с уже известными крупными изверженными провинциями (КИП) или роями даек: кендейский (Тимптонская КИП), кенгединский (Куонамская КИП) и токурский (чиэресский рой). Это говорит о необходимости пересмотра Анабарской серийной легенды, а также изменения подхода к выделению самостоятельных комплексов. Также в ЦИИ Института Карпинского были получены U-Pb (SHRIMP) датировки по перовскиту двух кимберлитовых трубок Куонамского комплекса, показавшие нижнеюрское время их формирования.

Полезные ископаемые. Подтверждена алмазоносность бассейна р. Дюкен (Куонамская площадь): по ряду находок кристаллов алмаза апробированы прогнозные ресурсы россыпных алмазов (P_3 в количестве 0,18 млн карат). Исходя из наличия большого количества неокатанных МСА на р. Атыр-Хатыспыта, имеется потенциал для выделения прогнозных ресурсов по коренным алмазам. Несмотря на убогую алмазоносность кимберлитовых трубок, бассейн р.

Дюкен перспективен для дальнейших поисковых работ, поскольку многочисленные водотоки дренируют конгломераты и гравелиты в основаниях лабазтахской, юсмастахской и старореченской свит – потенциальные промежуточные коллекторы [4]. В юго-восточной части Анабарского щита в Билляхской зоне смятия на границе между Далдынским террейном и Хапчанским поясом выделена Куранахская потенциальная золоторудная зона (на границе между Куонамской и Сергеевской площадями). Аномальные содержания золота до 2,1 г/т локализованы в пирит-кварц-плагиоклазовых и хлорит-кварцевых метасоматитах. Образования развиты в зонах дробления и катаклаза северо-западного простирания в метаморфических породах раннепротерозойского возраста. Минерализованные зоны имеют небольшую мощность до 2 м и субвертикальное залегание. Прогнозные ресурсы категории P_3 по участку Куранах, оцененные по первичным ореолам, составляют: Au – 16 тонн; Ag – 46 тонн [1]. В ходе полевых работ на Сергеевской площади выявлена целая серия обогащенных магнетитом линз метаморфических пород, слагающих протяженные многокилометровые зоны. Произведена предварительная оценка количества железной руды прямым методом по шести сближенным существенно магнетитовым линзам в долине р. Сербеян. Полученный результат соответствует 640 млн т железной руды при среднем содержании железа 40 %, плотности руды 3,5 г/см^3, глубине прогнозирования 100 метров и коэффициенте рудоносности 0,7 [2].

Обсуждение и выводы. В научных работах периферия Анабарского щита описывается как перспективная для прогнозно-поисковых работ на различные виды полезных ископаемых [3]. Однако, несмотря на положительные результаты работ ГДП-200, к данным выводам нужно отнестись скептически. По-прежнему достоверно не установлены коренные источники алмазов и золота. В силу своих типоморфных особенностей россыпное золото в бассейне р. Большая Куонамка перспективно для добычи только как попутное сырье с алмазами. Результаты лабораторно-аналитических работ показали крайне низкие и невыдержанные содержания золота в пробах с Мюнюсяхской площади, ранее считавшейся перспективной. Сделан вывод об отсутствии важного поискового признака урановорудных объектов типа несогласия на Мюнюсяхской площади – аномалий строго уранового тренда. Вместе с тем присутствуют аномалии смешанной уран-ториевой, торий-калиевой специализации. Последние по большей части связаны с проявлением внутриплитного кимберлит-карбонатитового магматизма, широко проявленного в пределах восточной окраины Анабарского щита.

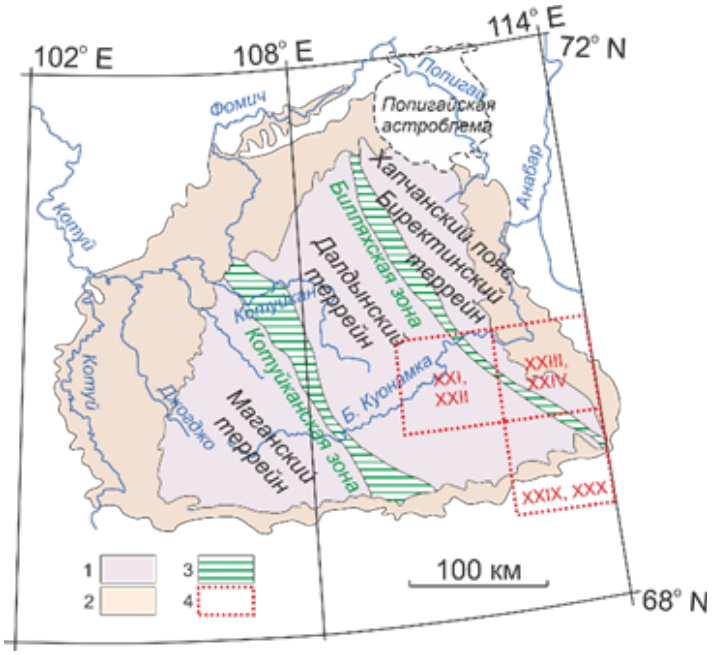


Рисунок. Геологическая схема Анабарского щита:
1 – AR-PR породы кристаллического фундамента; 2 – PR породы осадочного чехла; 3 – шовные зоны; 4 – границы исследуемых площадей

Труднодоступность Анабарского щита, удаленность от крупных логистических узлов, отсутствие инфраструктуры и тяжелые климатические условия не позволяют в ближайшей перспективе рассчитывать на разработку каких-либо месторождений полезных ископаемых, кроме уже известных профильных – золота и алмазов. Тем не менее проведение дальнейших поисковых работ вполне оправдано. Для наиболее качественных и достоверных результатов желательно использование комплексного подхода, соблюдение стадийности и ведение работ по кластерам – целым группам номенклатурных листов. Это позволит уменьшить издержки при проведении полевых исследований, систематизировать и привести к единому знаменателю все полученные результаты, а также охватить территории, которые ранее не рассматривались как перспективные.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Федерального агентства по недропользованию №049-00003-24-00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васюкевич К. Е., Савельев А. Д. Золоторудная минерализация Билляхской шовной зоны Анабарского щита // Рудная школа 2025. Сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2025. – С. 7–9.
2. Калинин М. А., Яркова Д. Д., Зубов Д. Е. Архейские железистые кварциты Анабарского щита // Новое в познании процессов рудообразования: Тринадцатая Российская молодежная научно-практическая Школа. Сборник материалов. – М. : ИГЕМ РАН, 2024. – С. 95–97.
3. Кара Т. В., Шац А. Л., Янюшин А. М. Перспективы обнаружения крупных и уникальных месторождений благородных металлов на периферии Анабарского щита // Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 161–164.
4. Савельев А. Д., Васюкевич К. Е., Александрова Е. Д. Алмазоносность и возраст кимберлитового магматизма бассейна р. Дюкен, юго-восточное обрамление Анабарского щита // Рудная школа 2025. Сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2025. – С. 90–93.

Савичев А. А. (SavichevAA1@polyus.com), Мишулович П. М. (MishulovichPM@polyus.com), Вольных Д. В. (LenskikhDV@polyus.com), Аристов В. В. (AristovVV@polyus.com), Антащук К. М. (AntaschukKM@polyus.com)
ООО «УК ПОЛЮС», БНГП, г. Москва

НОВЫЙ ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНЫЙ ОБЪЕКТ HS-ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ТИПА НА ЧУКОТКЕ

На Чукотке, в зоне сочленения Южно-Анюйской сутурной зоны (K_1) и Охотско-Чукотского вулканического пояса (K_{1-2}), нами спрогнозирован (2021 г.), подвергнут полевой ревизии (2022 г.), покрыт площадными съемками (2023–2024 гг.) и подтвержден бурением и траншеями (2024 г.) новый Au-Ag-объект с параметрами потенциально крупного месторождения HS-эпитермального типа. Он расположен в пределах палеокальдеры с широко проявленными гидротермальными изменениями типа «argillic» до «advanced argillic» по кислым и основным вулканитам. Периферия кальдеры сложена пиритизированными основными вулканитами и их туфами, а расположенный в ее центре резургентный купол контролирует крупное грибообразное тело апориодацитовых кварцитов с промышленными содержаниями золота. Рудные тела контрастно отображаются во вторичных / первичных ореолах рассеяния (золото до 22 / 8, серебро до 44 / > 100 г/т). Богатые Au-Ag руды наиболее удалены от центра кальдеры (> 2 км), наименее сульфидны и представлены пористыми кварцитами с гематитом, баритом, рутилом, цирконом. Тонкое и мелкое самородное золото часто локализовано в порах кварцитов и легко выщелачивается цианидами (90–97 % извлечения по бутылочным тестам), что оптимально для кучного выщелачивания руд.

Ключевые слова: золото, серебро, Чукотка, ОЧВП, HS-эпитермальные руды, порфировая система, вторичные кварциты, Au-Ag-минерализация, литогеохимические аномалии, геохимическая зональность, геофизические поля, потенциальное месторождение.

В 2020 г. в структуре Полюса создано новое подразделение – Блок «Новые горные проекты», с целью воспроизводства МСБ Компании путем выявления новых высококачественных месторождений золота и сопутствующих металлов. Одним из направлений Блока является поиск объектов, нетипичных и/или недооцененных в РФ геолого-генетических типов. К таковым принадлежат Au ± Ag ± Cu эпитермальные месторождения высокосульфидированного (HS) типа [4, 7], иначе относимые к кислотно-сульфатному или алунит-кварцевому типам [5, 3, 1]. Эти месторождения часто локализованы в пористых вторичных кварцитах (vuggy silica) и отличаются высокой долей окисленной (S^{6-}) серы, сконцентрированной в сульфатных минералах (алунит, ярозит, барит и др.). При этом количество восстановленной серы (S^{2+}) и, соответственно, сульфидов, прежде всего – пирита, может сильно варьировать – от долей до > 50 % в колчедановидных эпитермальных рудах.

В Мире известны около ста промышленных HS-эпитермальных месторождений [2], из которых примерно шестая часть – с запасами в сотни и даже первые тысячи тонн золота: Янакоча (Перу), Пуэбло Вьехо (Доминиканская республика), Ладолам (Папуа-Новая Гвинея). В РФ к этому типу надежно отнесены не более шести объектов, причем только на одном из них есть признаки крупного месторождения – добыты > 1 млн тр унций золота (Светлое в Хабаровском Крае). Таким образом, в нашей стране есть перспективы для обнаружения новых объектов HS-типа в вулканоплутонических поясах с гранитоидным магматизмом окисленного типа [6]. Более того, HS-эпитермальные объекты в ряде случаев сопровождаются медно-порфировыми (± Au ± Mo) рудами в пределах единой рудно-магматической системы, как на глубоких горизонтах, так и на периферии, и могут выступать их поисковыми признаками [7].

В 2021 г. нами на Чукотке выделен ряд площадей, перспективных на эпитермально-порфировое оруденение. Предпосылками являлись ранее известные поля развития вторичных кварцитов, пункты минерализации и геохимические аномалии Au, Ag, Cu, Mo, Pb (по ГГК-200), геофизические признаки, а также цветовые аномалии на космоснимках. Одна из самых крупных и контрастных аномалий была проявлена именно на рассматриваемом объекте.

Полевая ревизия 2022 г. подтвердила наличие крупной рудно-магматической системы с прямыми признаками HS-эпитермальных руд. В пределах крупной вулканической палеокальдеры с резургентным поднятием подтверждено зональное строение обширных (~ 6 км^2) гидротермально-метасоматических ореолов: линзовидные тела пористых монокварцитов (vuggy silica) и брекчированные монокварциты с гетитом, гематитом выявлены вблизи экструзива риодацитов в центральной части кальдеры, среднетемпературные пропилиты с эпидотом и пиритом – на востоке и юге, высокотемпературные аргиллизиты (advanced argillic) с алунитом и самородной серой в северной, а низкотемпературные каолинитовые аргиллизиты – на периферии ореола высокотемпературных аргиллизитов и монокварцитов. Опробование по разновидностям гидротермалитов подтвердило повышенные содержания Au и Ag в монокварцитах. На периферии участка выявлены малые тела гранодиоритов и тоналитов, которые были датированы U-Pb изотопным методом по цирконам (LA-ICP-MS) и подвергнуты «фертилометрии» по цирконам по методике [6]. Все 5 проб более ранних (101,2–95,7 Ma) гранитоидов за пределами кальдеры дали слабые «метки» наличия продуктивных эпитермально-порфировых систем, в то время как 3 пробы более поздних гранитоидов (89,2–87,0 Ma) внутри палеокальдеры с возрастом показали высокие перспективы, что хорошо согласуется с возрастными этапами формирования золотого оруденения в пределах ОЧВП, например, LS-эпитермального месторождения Купол (92–85 Ma) [8].

В 2023 г. на объекте проведены геологическое картирование и литогеохимическая (ЛГХ) съемка по вторичным ореолам рассеяния (ВОР) масштаба 1 : 25 000–1 : 10 000, показавшая наличие высокопродуктивного комплексного ореола рассеяния золота и его спутников – Ag, Sb, Te, Bi, Pb, Sn, Mo, As, Ba (указаны в порядке уменьшения коэффициента корреляции с Au). Центр вулканоструктуры выражен максимальными значениями индекса химического выветри-

вания CIA (> 80) и практически не золотоносен (жерловая фация). От него радиально расходятся поля рудоносных кварцитов, в которых резко повышены содержания как SiO_2, так и Zr, Hf, Ta, Nb, Ti, что говорит не только о крайне высокой степени кислотного выщелачивания пород субстрата (риодацитов), но и об исходно щелочном их составе. В контур кварцитов «вписана» рудная аномалия протяженностью более двух километров с содержаниями золота до 22 г/т, серебра – 44 г/т. Площадь вторичного ореола золота по изолинии > 0,1 г/т – более 2 км^2, по > 1,0 г/т – около 0,5 км^2; в его пределах привлек особое внимание участок 300 × 300 метров, где ЛГХ-пробы не показывали содержания золота < 5 г/т. С помощью многомерной математической статистики выделены и геометризированы элементные ассоциации «эпитермальных» (Au-Ag-Sb-Pb-As), «порфировых» (W-Mo-Cu) и «переходных» (Bi-Te-Sn-In-Se-S) типов. С учетом данных ЛГХ-съемки по первичным ореолам рассеяния 2024 г. геохимическая зональность от центра кальдеры на юг выглядит следующей: (Mo-Re-W-Cu) → (Au-Ag-Bi-Sn-Te-Cu) → (Au-Ag-Te-Se-As-Pb-Ba) → (Au-Ag-Ti-Zr). Фронтальная часть рудной системы наиболее богата золотом и серебром и явилась главным буровым таргетом 2024 г., а центральная может рассматриваться как перспективная для поиска медно-молибден-порфирового оруденения на глубине – буровой таргет 2025 г.

В 2024 г. проведены геофизические съемки (аэромагниторазведка, аэрогаммаспектрометрия, наземные магнитометрия и электротомография-ВП). В геофизических полях рудное поле контрастно проявлено в данных магниторазведки и гаммаспектрометрии. На фоне интенсивного и высокоградиентного магнитного поля от окружающих основных вулканитов наблюдается область со слабоотрицательными значениями (около -100 нТл), в пределах которой нарушаются линейные аномальные зоны. В данных гаммаспектрометрии эта область приурочена к контрастному минимуму калия и соответствует телу монокварцитов. Подобное поведение геофизических полей характерно для порфиро-эпитермальных систем и связано с развитием метасоматических процессов, что привело к разрушению магнитных минералов и выносу калия.

По результатам площадных съемок в 2024 г. поставлены горно-буровые работы, которые показали наличие промышленных рудных пересечений по золоту на всех поисковых линиях, ориентированных вкрест простирания комплексной аномалии, как на поверхности, так и на глубине. Рудная зона обнажается на поверхности и простирается на глубину 50–250 м, при ширине от 150 до 350 м и общей протяженности до 2 км. Предварительно выделены три рудных тела, их морфология определяется сочетанием латеральной протяженности и вертикальной изменчивости. В поперечном разрезе основное рудное тело имеет форму конуса, расширяющегося к поверхности, что типично для месторождений HS-типа. В плане оно представляет собой вытянутую полосу, простирающуюся в направлении юго-запад – северо-восток, что согласуется с региональной тектонической обстановкой и направлением главных структурных элементов рудоносной зоны.

Новый объект на Чукотке, спрогнозированный нами в 2021 г., активно развивается, и, по результатам планируемого бурения в 2025 г., имеет хорошие перспективы для выявления крупного Au-Ag месторождения HS-эпитермального типа, первого в этом регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортников Н. С., Толстых Н. Д. Эпитермальные месторождения Камчатки, Россия // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65, № 7. – С. 722–752.
2. Волков А. В. Экономическое значение эпитермальных Au-Ag месторождений // Золото и технологии. – 2013. – № 1(19).
3. Кигай И. Н. Условия формирования метасоматитов и оруденения эпитермальных золото-серебряных месторождений // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62, № 5. – С. 475–480.
4. Hedenquist J. W. Mineralization associated with volcanicrelated hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin. Trans. of the 4th Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference. Singapore. – 1987. – P. 513–524.
5. Heald P., Foley N. K., Hayba D. O. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits;

acid-sulfate and adularia-sericite types // Econ. Geol. – 1987. – V. 82, № 1. – P. 1–26.
6. Nevolko P. A., Svetlitskaya T. V., Savichev A. A. [et al.] Uranium-Pb zircon ages, whole-rock and zircon mineral geochemistry as indicators for magmatic fertility and porphyry Cu-Mo-Au mineralization at the Bystrinsky and Shakhtama deposits, Eastern Transbaikalia, Russia // Ore Geology Reviews. – 2021. – 104532.
7. Sillitoe R. H. Gold deposit types: An overview. Geology of the World's Major Gold Deposits and Provinces. – 2022. – P. 1–28.
8. Thomson B., Pratt W. T., Rhis D. A [et al.] The Kupol Epithermal Au-Ag Vein District, Chukotka, Far Eastern Russia // Economic Geology. – 2023. – V. 118, № 1. – P. 93–122.

Садиров Р. М.[1] (sadirov9966@mail.ru), Карабаев М. С.[2] (karbayev61@mail.ru), Амиров Э. М.[2] (amirov.7992@gmail.com)

[1] ИГТ, г. Ташкент, Республика Узбекистан, [2] УГН, г. Ташкент, Республика Узбекистан

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОР АУМИНЗА-БЕЛТАУ И ИХ ТИПОМОРФНЫЕ МИНЕРАЛЫ

В статье рассматриваются минеральные парагенезисы золотого оруденения гор Ауминза-Белтау (Центральные Кызылкумы, Узбекистан). Исследования показывают, что промышленные концентрации золота связаны с последовательным развитием различных минеральных ассоциаций. Выделены основные парагенные минеральные ассоциации: кварц-пирит-арсенопиритовая (основная рудопродуктивная), кварц-карбонат-полисульфидная, каолинит-карбонат-серебро-сульфидно-сульфосольная и карбонат-цеолитовая (безрудная). Проведен анализ состава и пространственного размещения рудных минералов, среди которых доминируют пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит и минералы серебра. Особое внимание уделено типоморфным минералам, их роли в оценке эрозионного среза оруденения и значению для поисково-геологических работ.

Ключевые слова: золотое оруденение, минеральные парагенезисы, Центральные Кызылкумы, Ауминза-Белтау, пирит, арсенопирит, кварц-карбонатные ассоциации, типоморфные минералы, эндогенные руды, минералогические критерии.

Исследования особенностей минерального состава руд месторождений в Центральных Кызылкумах показывают [1, 2], что промышленные концентрации золота на большинстве месторождений обусловлены развитием последовательно сменяющихся во времени и пространстве минеральных ассоциаций.

Процессы минералообразования на рассматриваемых объектах (Кумтош-2, Северный Карабугут, Джасаул) почти аналогичны, различия составляют интенсивность проявления тех или иных ассоциаций на отдельных площадях [3, 4]. Зоны эндогенной минерализации изученных золоторудных проявлений гор Ауминза-Белтау представлены вкрапленностью и гнездообразным, линзообразным скоплением сульфидов в зонах дробления и окварцевания и метасоматического преобразования пород. При этом сульфидная минерализация в них размещается в основном в виде гнезд, просечек и небольших скоплений, в метасоматитах – вкрапленности и гнезд во внутренней части зоны околорудного изменения пород.

Рудная минерализация представлена главным образом пиритом, реже халькопиритом, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом и в меньшем количестве сульфосолями, минералами серебра. Породообразующие минералы сложены кварцем, альбитом, серицитом, хлоритом, реже каолинитом и карбонатом. Их количественные соотношения зависят от состава первичных пород и степени их преобразования.

Гипогенные руды сложены совмещением в пространстве следующих парагенных минеральных ассоциаций, с различным их количественным соотношением:

1. Кварц-пирит-арсенопиритовая (основная рудопродуктивная);
2. Кварц-карбонат-полисульфидная;
3. Каолинит-карбонат-серебро-сульфидно-сульфосольная с самородным золотом.
4. Кварц-карбонатная, карбонат-цеолитовая (безрудная).

Кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация является главной продуктивной и определяет практическую значимость рудных зон. Большая часть сульфидной минерализации и связанного с ним дисперсного золота отлагается в составе этой ассоциации, в зонах окварцевания пород в виде мелких, частых вкраплений, прожилков и просечек. Пространственно совмещена с березитами и формируется близко-одновременно (стадия отложения), размещаясь в них узколокально, но иногда выходит за их пределы. Сульфиды чаще слагают промежуточные зоны между фрагментами измененной породы и кварцем, образуя весьма густую вкрапленность, где на общем мелкозернистом фоне пирита-2 располагаются относительно крупные порфировидные кристаллики арсенопирита.

Главные рудные минералы – пирит-1 и типоморфный минерал данной ассоциации арсенопирит-1. Количество арсенопирита сильно подчинено пириту (в среднем от 20 до 50–70 раз в различных объектах). Суммарное их содержание (в среднем) до 1,5–2,2 % из общего объема руд (т. е. руды мало- и убогосульфидные), но все же от содержаний этих минералов в прямую зависит золотоносность ассоциации, а также рудоносность зон в целом. Золото в данной ассоциации невидимое, тонкодисперсное, субмикроскопическое, сконцентрировано в пирите-1 и арсенопирите-1.

Кварц-карбонат-полисульфидная ассоциация образует маломощные прожилки кварц-карбонатного состава с пиритом-2, мощностью до 0,5–1 м, в пространственном сопряжении с кварц-альбитовыми (эйситы) метасоматитами. В них встречаются выделения марказита, халькопирита, халькозина, борнита, сфалерита, блеклых руд и реже галенита. В данной ассоциации обнаруживается сульфид серебра – акантит, блеклые руды и реже самородное золото и комплекс микроминералов.

Кварц-карбонат-полисульфидная ассоциация размещена по трещинам, развитым субпараллельно и взаимопересекающимся. По краям этих просечек развивается хлоритизация пород небольшой мощности.

Пирит-2 находится в совместной ассоциации с марказитом, образуя разнообразные по форме выделения в массе кварца и составляют основную массу пирита в аншлифе. Пирит-2-марказитовые выделения образуют массивные пятнистые агрегаты неправильной, удлиненной формы, мощностью шириной 1–5 мм. Эти пятнистые выделения сопровождаются прожилкообразными отростками и просечками, которые развиваются между зернами кварца и по трещинам в них. Мощность их от 0,00n до 1–2 мм, длина составляет несколько мм и обычно ограничена площадью аншлифа.

Халькопирит-2 ассоциирует с анкерит-сидеритом, пиритом, сфалеритом и галенитом. Размеры зерен мелкие (0,01–0,1 мм), чаще он образует неправильные формы. Основное количество халькопирита в исследуемых золото-сульфидных объектах встречается в данной ассоциации. Отмеченные в ассоциации, отдельные зерна борнита и ковеллина, представляют собой псевдоморфозы по халькопириту, иногда содержащие его реликтовые включения.

В кварц-карбонат-полисульфидной просечке обнаружены пластинчатые, удлиненные, неправильные зерна самородного золота. По взаимоотношению парагенных минералов можно констатировать, что золото позднее пирит-арсенопиритовой ассоциации. Блеклая руда в составе ассоциации отмечается в виде единичных вкраплений (размером не более 0,03–0,05 мм) в кварце, пирите, сфалерите. Очень редко встречается в виде мелких (0,02 мм) выделений в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом.

Каолинит-карбонат-серебро-сульфидно-сульфосольная ассоциация в исследуемых золоторудных объектах распространена исключительно в виде тонких прожилков и просечек. Основная масса ассоциации сложена карбонатом, каолинитом, гидрослюдами, халцедоновидным кварцем и реже хлоритом. Рудные минералы представлены пиритом, реже сфалеритом, антимонитом, самородным серебром и комплексом микроминералов. Большинство из них диагностируются под микроскопом, последние – только микрозондовыми исследованиями.

Пирит-3 образует вкрапленники кубической формы в карбонате и каолините. Сфалерит в рудных телах развит повсеместно, но не образует значительных концентраций. Содержания его в руде не более 0,01 %. Он образует микровключения в пирите, реже в карбонатно-кварцевых жилах с халькопиритом, блеклой рудой. Представлен неправильными выделениями размером от 0,02 до 0,05 мм.

В составе данной ассоциации присутствует комплекс микроминералов – сульфид серебра, селениды, теллуриды и сульфосоли. Эти микроминералы могут размещаться как в сульфидах, так и в кварце, карбонатах и других минералах, ассоциирующих с ними. Аргентит парагенно ассоциирует с пиритом, халькопиритом, местами образует мелкие зерна вокруг халькопирита и включения в нем. Размеры зерен аргентита до 0,5–2 мкм, морфология зерен неправильная. Также встречаются теллуриды серебра – гессит, штютцит и петцит, совместно с пиритом и клаусталитом. Наиболее часто встречаемыми из группы сульфосолей являются буланжерит, джемсонит, бурнонит и реже пираргирит, тетраэдрит.

Карбонатная, кварц-карбонатная и карбонат-цеолитовая ассоциации с редкими зернами пирита развиты на площади золото-сульфидных объектов гор Ауминза-Белтау. Эти образования во временном отношении формировались позже рудной минерализации, пространственно совмещены с ними, но локализуются в более широком ореоле, чем рудные ассоциации.

Выводы. Эндогенное оруденение гор Ауминза-Белтау сложено совмещением в пространстве кварц-пирит-арсенопиритовой (основная рудопродуктивная), кварц-карбонат-полисульфидной и каолинит-карбонат-серебро-сульфосольной ассоциациями, каждая из которых характеризуется комплексом типоморфных минералов. Околорудные изменения пород и формирование рудных ассоциаций являются продуктами стадий единого гидротермального процесса породо- и рудообразования. Особенности их состава и пространственного проявления могут быть использованы как минералогический критерий поисков и прогноза, а также определения эрозионного среза оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арифулов Ч. Х. О минералогии и генезисе зон прожилково-вкрапленного золото-сульфидного оруденения Кызылкумов // Узбекский геологический журнал. – 1976. – № 5. – С. 54–61.
2. Бертман Э. Б. Вертикальная зональность и ярусность оруденения на месторождениях золота Западного Узбекистана // Узбекский геологический журнал. – 1976. – № 6. – С. 7–12.
3. Карабаев М. С. Амиров Э. М., Жаниев Х. Э. Типоморфизм минералов разнотипного золотого оруденения Центральных Кызылкумов и их поисково-оценочное значение // Геология и минеральные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 37–43.
4. Карабаев М. С., Жаниев Х. Э., Садиров Р. М. Минеральные парагенезисы вольфрамового и золотого оруденения Западного Узбекистана // Инновационное развитие. – 2018. – № 7. – С. 21–22.

Самсонов Н. Ю. (samsonovnyu@alrosa.ru), Моралев Г. В. (moralevGV@alrosa.ru),
АК «АЛРОСА» (ПАО), Вилюйская ГРЭ, г. Мирный

ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОГНОЗНЫХ ЦЕН НА ЗОЛОТО ПРИ ОЦЕНКЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Цена на золото как на конечный продукт добывающего предприятия является параметром, наиболее сильно влияющим на оценку потенциала разработки запасов месторождения. Чем меньше расхождение между прогнозируемой стоимостью золота, заданной на этапе инвестиционной оценки месторождения и реальными ценами на золото в течение горизонта жизненного цикла его освоения, тем более точно можно сейчас определить степень экономической целесообразности его отработки. У компании-инвестора появляется больше возможностей принимать взвешенные инвестиционные решения и при необходимости запланировать спосо-

бы и инструменты управления производственными процессами. Раскрываются основные подходы к прогнозированию цен на золото, которые используют добывающие компании в своей инвестиционной деятельности.

Ключевые слова: цены на золото, золотодобыча, инвестиционный проект.

Компанией «АЛРОСА» в 2019–2024 гг. рассмотрено несколько инвестиционных проектов по вхождению в золоторудные активы в Хабаровском крае, Республике Саха (Якутия) и в Магаданской области. По результатам технико-экономической оценки отработка большей части рассмотренных активов была признана неэффективной или имела неприемлемый уровень рентабельности. Это в определенной степени стало следствием консервативно заложенных в финансовое моделирование[1] значений прогнозной стоимости золота (таблица, столбец 3). В таблице также показаны данные для месторождения в Магаданской области, которое при проведении технико-экономического анализа в 2023–2024 гг. было оценено положительно, в том числе из-за применения относительно благоприятных прогнозных цен на золото аналитической компанией Consensus Economics, а затем приобретено Группой АЛРОСА.

В правой части таблицы видно, насколько реально сложившаяся стоимость золота (столбцы 4 и 6) отличалась от принятой для трех оцениваемых проектов (столбец 3). Разница между ними означает принятие ожиданий того, что рынок золота будет консервативный, и рост цены золота будет крайне умеренный (на уровень инфляции в США). Это сформировало смещение в оценках потенциалов проектов и привело к отрицательным решениям об участии в них. Вместе с тем отметим, что финальные решения об участии «АЛРОСА» в этих проектах принимались с соблюдением принципов «осторожности и консервативности» инвестиционного менеджмента (в том числе по отношению к цене на товарный продукт), практикующихся во всех крупных горнодобывающих компаниях.

Постановка проблемы. Инвестиционная оценка месторождений золота должна демонстрировать инвестору, что предлагаемый проект рентабелен, предпочтительнее других альтернативных проектов (имеет более высокие NPV, IRR и DDBP) и обеспечивает требуемый уровень доходности. Крупнейшие горные компании не совершают важных действий без детального предварительного изучения проектов и факторов, которые могут повлиять на реализацию и результаты новых добывающих проектов. Кроме того, для компаний, добывающих золото, понимание долгосрочного поведения цены требуется для производственной деятельности – планирования геологических и горных работ, обогатительного цикла, управления и анализа затрат и рисков [1].

Таблица. Анализ цен на золото, применяемых для некоторых инвестиционных проектов, оцениваемых «АЛРОСА» в 2019–2024 гг.

Объекты оценки	Период оценки	Цена за 1 унц. золота, долл.					
		Принятая, цена на золото (в 1-й год ФЭМ) в варианте «Реалистичный»	Фактическая (спот) на дату оценки	Средневзвешенная цена за предыдущие годы с даты оценки			Средневзвешенная цена с даты оценки и до 31.12.24
				10 лет	5 лет	3 года	
1	2	3	4	5			6
АЛРОСА							
Понийский (поисково-оценочный объект)	2020	1400	1492	1338	1388	1478	1940
Болотистое (месторождение)	2021	1400	1807	1395	1498	1654	1983
Кючус (месторождение)	2022	1400	1802	1440	1605	1790	2044
Месторождение в Магаданской области*	2024	1900*	1986,4	1540,0	1940	2044	2422

Примечание. Источник: данные компаний. *По данным Consensus Economic.

[1] Под финансовым моделированием здесь и далее предполагается оценка уровня прединвестиционной стадии уровня «исследования возможностей» или «предварительного ТЭО».

Как правило, для каждого инвестиционного проекта в горной промышленности проводится анализ чувствительности после расчета показателей его эффективности, который позволяет увидеть степень воздействия ключевых факторов («предиктор») на экономическую эффективность проекта и понять его «запас прочности». Предиктор «цена на золото» является одним из важнейших, влияющих на образование доходной части и на прибыльность – и имеет, как правило, наибольший по модулю коэффициент b в линейном уравнении, определяющий угол наклона прямой NPV при построении графика анализа чувствительности.

Проблемная ситуация заключается в том, что в отрасли не существует общепринятого подхода к определению ожидаемых цен на золото для включения их в оценку новых инвестиционных проектов. Это связано с тем, что компании в условиях ухудшения качества собственных минерально-сырьевых баз по-разному реагируют на волатильность цен на золото, имеют разные требования к возврату капитала, инвестиционные ресурсы и возможности, и часто разные системы принятия внутрикорпоративных инвестиционных решений и регулирования рисков.

Анализ подходов. В публикациях, особенно зарубежных, прогнозирование цен на золото реализуется сквозь призму различных статистических подходов и математического инструментария. Сложное поведение цен на золото привлекло интерес к разработкам моделей, которые на основе сложившихся цен на золото в прошлом стремятся определять возможную динамику цен. Различные методы (такие как гауссовская стохастическая, временные ряды, эконометрические, динамические модели, модели машинного обучения, интегрированная авторегрессионная модель и другие) были предложены за последние несколько лет для прогнозирования динамики цен на золото.

Как правило, такие финансовые подходы и инструментарии предназначены для технического анализа цена, они крайне сложные и трудно верифицируемые. Все это предопределяет сложную адаптируемость их практического использования при обеспечении прогнозными данными в процессе оценке инвестиционных проектов добывающими компаниями.

Вместе с тем определены подходы прогнозов цен на золото, применяющиеся на практике в инвестиционной деятельности в отрасли.

1. «Экспертный» метод прогнозирования стоимости золота, применяемый, в частности, исследовательской группой Consensus Economics, выпускающей бюллетени с прогнозными ценами на благородные и технологичные металлы и другие ресурсы и продукты. Эксперты инвестиционных известных компаний, фондов и банков дают свои прогнозы по средней цене золота на предстоящий год, значения ранжируются, исключаются экстремумы и вычисляется среднее значение [3].

2. Оригинальную методологию вариантной оценки доходности золота (эквивалент роста цены золота) разработали во Всемирном совете по золоту (World Gold Council) – программный комплекс Qaurum. Система позволяет пользователю определить сценарий развития глобальной экономики, задать ряд экзогенных параметров и сформировать прогноз цен на золото на средне- и долгосрочный период.

3. Вместе с тем на практике часто применяются сценарные варианты прогнозирования цен на золото, которые принято именовать «оптимистичный», «реалистичный» и «пессимистичный» (или в аналогичной терминологии).

В «оптимистичном» сценарии цена на золото может приниматься как спотовая цена на дату оценки, в случае если она действительно заметно выше средней цены на золото, фиксируемой за последние несколько лет, например, на 30.12.24 г. это около 2650 долл. за унцию. Для формирования «реалистичного» сценария часто рассчитывается «средневзвешенная цена» за определенный временной период. Так, Методические рекомендации ГКЗ при подсчете запасов и при оценке прогнозных ресурсов разведанных или доразведуемых месторождений золота предлагают применять относительно короткий период, 2–3 года [2]. Но в инвестиционной деятельности компаний целесообразно применять и более консервативные оценки и рассчитывать среднюю цену в динамике исторических цен на более продолжительных периодах: например, в декабре 2024 г. можно принимать началом отсчета декабрь 2014 г.

Часто золотодобывающие компании ориентируются на прогнозные данные специализированных международных консалтинговых компаний и аналитических агентств. Подход к «пес-

симистичному» сценарию, как правило, коррелирует с ценами на золото, прогноз которых рассчитывают международные финансово-экономические организации (Всемирный банк и пр.).

Показано, что для принятия решений в инвестиционной и производственной деятельности золотодобывающим компаниям предпочтительно гибко адаптироваться к изменению ценовой ситуации драгоценных металлов для формирования эффективного портфеля своих инвестиционных добычных проектов. С одной стороны, для них не следует применять крайне консервативные параметры прогнозной стоимости золота, с другой, не быть излишне оптимистичными, когда наблюдается продолжительный устойчивый рост стоимости золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжов С. В. Обоснование рационального соотношения изменяющихся мощностей горнодобывающих и перерабатывающих производств золотодобывающего предприятия на различных этапах развития открытых горных работ : дис. на соискание ученой степени канд. технических наук. – М., 2021.
2. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для запасов твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). Утверждена распоряжением МПР России от 05.06.2007. № 37-р. – М. : ФГУ ГКЗ, 2007.
3. Energy, Metals & Agricultural consensus Forecasts. Consensus Economics. Survey date: January 20, 2025.

Сейров Ф. Е. (fes2@tpu.ru)
НИ ТПУ, г. Томск

СТРУКТУРНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕСЧАНКА ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК

Приведена характеристика месторождения Песчанка в данных дистанционного зондирования (ДДЗ), по материалам ASTER, Landsat-7 и Landsat-8. Приведена оценка рудоконтролирующих структур. По спектральным характеристикам выявлены и закартированы метасоматиты.

Ключевые слова: медно-порфировое оруденение, Олойский ВПП, Баимская зона, Песчанка, метасоматическая зональность, структурный контроль.

Описание объекта исследований. Баимский рудный район расположен в Билибинском районе Чукотского АО. Медно-порфировые месторождения (МПМ) и некоторые сопряженные с ними эпитермальные объекты в этом районе располагаются в пределах Олойского вулкано-плутонического пояса (ВПП), который представляет собой структуру энсиматической островной дуги, ранне-среднеюрского возраста [3].

Месторождение Песчанка расположено в Баимском рудном районе, в который включены несколько медно-порфировых объектов, приуроченных к восточной части Егдыгкычского интрузивного комплекса. Егдыгкычский дунит-клинопироксенит-габбро-монцонит-сиенитовый вулкано-плутонический комплекс представляет собой двухфазный интрузивный комплекс, первая фаза которого представлена в основном пироксенитами, габбро, монцонитами, долеритами, монцодиоритами. Вторая фаза представлена в основном телами сиенит-порфиров и граносиенитов. Оруденение месторождения Песчанка локализуется преимущественно в протяженном в субмеридиональном направлении выходе на дневную поверхность монцонит-порфиров. Комплекс расположен в терригенных и вулканогенно-осадочных породах юрско-мелового возраста [1].

В структурном плане рудный штокверк месторождения приурочен к зоне разрывного нарушения северо-западного простирания, которое совпадает с простиранием Баимской зоны. Этот разлом контролирует положение рудоносных интрузивов рудных полей Песчанка, Находка и

других. В пределах рудной зоны распространены трещины меридионального простирания, а также разноориентированные трещины [4].

Рудный штокверк залегает среди метасоматически измененных пород, тыловую зону которых слагают кварц-биотит-калишпатовые метасоматиты. В их центральной части расположен практически безрудный кварцевый штокверк, имеющий ограниченный выход на дневную поверхность. Тыловые части кварцевого штокверка практически не несут рудной минерализации, которая локализуется преимущественно в пределах распространения биотит-калишпатовых метасоматитов. Кварц-серицитовая зона представлена многочисленными кварц-серицитовыми прожилками, рассекающими калиевые метасоматиты и выходящими за контур их распространения. Фронтальная часть метасоматического ореола представлена пропилитами эпидот-хлорит-актинолитового состава [2,4].

Методика исследований. Работа выполнялась по материалам космических съемок Landsat-7, Landsat-8, Aster, цифровой модели рельефа AsterGDEM и включала в себя следующие шаги:

1. подбор материалов космических съемок Landsat, Aster и AsterGDEM;

2. первичная обработка, улучшение, радиометрическая калибровка, классификация исходных растровых изображений и их структурное дешифрирование;

3. создание мультиспектральных изображений из моноканальных растров с удалением континуума (Continuum Removal) [5] и их структурное дешифрирование;

4. расчет спектральных индексов по материалам Aster [6] и их дешифрирование: филлитовый (Fillit = (Band5 + Band7) / Band6), индекс мусковита (Muscovite = (Band7 / Band6)) указывают на области распространения гидрослюдистых минералов; мафический индекс третьей степени (Mi^3 = (band12 × band14 × band14 × band14) / (band13 × band13 × band13 × band13)) [9], значения которого менее 0,87, указывает на участки распространения кислых пород и участков окварцевания; индексы каолинита (KLI = (Band4 · Band5) / (Band8 · Band6)) [8], глинистый (Clay = (Band5 * Band7) / (Band6 * Band6)), индекс алунит/каолинит/пирофиллитовый (RBD5 = (Band4 + Band6) / (Band5)) для выявления преимущественно глинистых минералов; индекс карбонат/хлорит/эпидот (RBD8 = (Band7 + Band9) / Band8) для выявления минералов пропилитов;

5. анализ SWIR диапазона ASTER методом главных компонент;

6. картирование метасоматитов с использованием метода спектрального угла;

7. геологическая интерпретация комплекса полученных материалов;

8. обоснование метасоматических и структурных факторов контроля медно-порфирового оруденения Песчанка.

Результаты и обсуждение. Выявление разрывных нарушений в материалах дистанционных съемок и цифровой модели рельефа AsterGDEM проводилось по линейному характеру крутых склонов, смене текстуры растрового изображения по обе стороны разрывного нарушения, смещению русел речной сети, линейному характеру речных долин. В материалах цифровых моделей рельефа, а также спектральных данных на рассматриваемой территории были выделены разрывные нарушения, которые были разделены на следующие группы:

1. протяженные разломы север-северо-западного простирания. К ним относится также разлом, контролирующий положение продуктивных интрузивных комплексов. Разломы этого типа встречаются западнее рудных полей Песчанка и Находка. Их направление совпадает с простиранием Баимской зоны. По отношению к Олойскому ВПП их направление может быть оценено как продольное;

2. более мелкие, также мало распространенные разломы северо-северо-восточного простирания, которые фиксируются непосредственно в рудных зонах месторождений Песчанка и Находка. По отношению к ВПП они имеют диагональное простирание;

3. разломы преимущественно северо-восточного и восток-северо-восточного простирания. Самые распространенные из фиксируемых в ДДЗ. Наибольшая их плотность фиксируется в непосредственной близости от рудных зон и их пределах. По отношению к Олойскому ВПП имеют поперечное положение;

4. редкие разломы субширотного простирания. Фиксируются преимущественно в южной части рассматриваемой площади в области между Песчанкой и Находкой вблизи от выходов продуктивных интрузивов.

Анализ данных ASTER позволил выявить три вида измененных пород:

1. преимущественно серицитовые метасоматиты, положение которых соответствует тыловой зоне кварц-биотит-калишпатовых метасоматитов. В мультиспектральном изображении из каналов ASTER 4,6,8 в палитре RGB они проявляются в розоватых тонах. В минеральных индексах метасоматиты представлены следующим набором характеристик: значимые величины филлитового индекса, индекса глинистых минералов, индексом мусковита. При анализе матрицы собственных векторов главных компонент пропилиты выявляются по низким значениям в 6 канале Aster и высоким в 5 и 7 каналах;

2. кварц-серицит-каолинитовые метасоматиты, соответствуют филлизитовой и аргиллизитовой зоне в модели МПМ [7]. В материалах ДДЗ наблюдается их развитие на некотором удалении от рудного штокверка (около 400 м). Проявлены в виде тел размерами до 1 км. Представлены преимущественно глинистыми минералами, выявляются по комплексу минеральных индексов (каолинитового, алунит/каолинит/пирофиллитового) и низким значениям мафического индекса третьей степени;

3. пропилиты слабо выявляются в виде зеленоватых областей в мультиспектральном композите 4,6,8 и данных индекса карбонат/хлорит/эпидот. Выявлены при анализе спектра по характерной полосе поглощения группы MgOH в 8 диапазоне и высокому отражению в 6 и 9. В целом их положение соответствует «эталонному» в модели МПМ [7]. На месторождении они распространены в виде отдельных проявлений размерами в среднем до 1,4 км в зоне до 5–7 км от рудного штокверка.

Таким образом, структурная позиция месторождения Песчанка – область сопряжения продольных, поперечных и диагональных по отношению к Олойскому ВПП разломов. По материалам обработки и дешифрирования ДДЗ на месторождении можно выделить три зоны метасоматических изменений, которые сменяют друг друга по мере продвижения от рудного штокверка в неизмененные породы: внутренняя зона – кварц-серицитовая, промежуточная – кварц-серицит-аргиллизитовая, внешняя зона – пропилитовая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-58 – Алискерово. Объясн. зап. / Авт. Е. П. Исаева; науч. ред. Б. А. Марковский. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 466 с.
2. Марущенко Л. И., Бакшеев И. А., Нагорная Е. В., Читалин А. Ф., Николаев Ю. Н., Кальо И. А., Прокофьев В. Ю. Кварц-серицитовые метасоматиты и аргиллизиты Au-Mo-Cu месторождения Песчанка (Чукотка) // Геология руд. месторождений. – 2015. – Т. 57, № 3. – С. 239–252.
3. Петров О. В. [и др.] Прогноз размещения месторождений золото-медно-порфирового типа в вулкано-плутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов Госгеолкарты-1000/3 // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 80. – С. 50–74.
4. Читалин А. Ф., Николаев Ю. Н, Бакшеев И. А. [и др.] Порфирово-эпитермальные системы Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Смирновский сборник – 2016. – М. : Макс-Пресс, 2016. – С. 82–115.
5. Clark R. N., Roush T. L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications // J. Geophys. Res. B: Solid Earth. –1984. – 89. – 6329–6340.
6. Kalinowski A., Oliver S. ASTER Mineral Index Processing Manual Compiled by Remote Sensing Applications Geoscience // Australia, Center of Geographic Sciences. – 2004.
7. Lowell J. D., Guilbert J. M. Lateral and vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits // Econ. Geol. – 1970. – 65. – 373–408.
8. Ninomiya Y. A stabilized vegetation index and several mineralogic indices defined for ASTER VNIR and SWIR data // Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03) v. 3, Toulouse, France, 21–25 July 2003. – P. 1552–1554.
9. Ninomiya Y., Fu B. Thermal infrared multispectral remote sensing of lithology and mineralogy based on spectral properties of materials // Ore Geol. Rev. – 2019. – 108. – 54–72.

Сейтмуратова Э. Ю. (seimuratova@mail.ru),
Аршамов Я.К. (y.arshamov@satbayev.university),
Даутбеков Д. О. (dautbekov_diyas@mail.ru), Даулетулы А. (dauletuly.ansagan@mail.ru),
Бакдаулеткызы С. (bagdauletkyzy.saltanat@mail.ru)
Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ЖОНГАРО-БАЛХАШСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ

Излагаются результаты последних исследований металлогении медно-порфирового и золото-серебряного оруденений позднепалеозойских каменноугольного окраинно-континентального Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельского и каменноугольно-пермского внутриконтинентального Балхаш-Илийского вулкано-плутонических поясов (ВПП) Жонгаро-Балхашской складчатой системы ЖБСС и дается оценка их перспектив на возможность обнаружения новых месторождений.

Ключевые слова: вулкано-плутонические пояса, медно-порфировые, эпитермальное золото-серебряное оруденение.

Обширная литература по металлогении вулкано-плутонических поясов (ВПП) современных глобальных подвижных поясов (Тихоокеанского, Средиземноморского и др.) характеризует их наиболее продуктивными структурами Земли в металлогеническом отношении [1–5]. В свете отмеченного пристальное внимание геологов СССР привлекал регион герцинской ЖБСС, характеризующейся широчайшим проявлением позднепалеозойского магматизма, продуктивным на многочисленные виды полезных ископаемых.

В последние десятилетия детальные тематические исследования особенностей строения вертикальных рядов позднепалеозойских формаций, объемных соотношений осадочных и вулканогенных пород в них, петрографических и петрохимических особенностей магматитов и их взаимоотношения с породами фундаментов позволили по аналогии активными континентальными окраинами выделить два ВПП: каменноугольный Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельский окраинно-континентальный (по А. А. Богданову, 1959) и собственно Балхаш-Илийский внутриконтинентальный каменноугольно-пермский (рис. 1) [6–7 и др].

Тематические исследования авторов («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 ЖБСО и их новые металлогенические аспекты», 2000–2002 гг.; «Стратиграфия и условия формирования продуктивных рудоносных формаций позднего палеозоя Казахстана с оценкой их перспектив на открытие конкурентоспособных месторождений», 2003–2005 гг. и др.) подтвердили, что приоритетным оруденением для ЖБСС все еще остается хорошо изученное здесь медно-порфировое оруденение и относительно новое и слабо изученное эпитермальное золото-серебряное [6, 7 и др.].

Проблема укрепления сырьевой базы меди остается для региона актуальной с открытия М. П. Русаковым в 1928 г. крупного типового медно-порфирового месторождения Коныpат, на базе которого появился г. Балхаш с основным его предприятием – Балхашским горно-металлургическим комбинатом. Поэтому авторы в последние годы провели сбор и обобщение всех данных по меденосности ЖБСС за последние 25–30 лет, а также новых характеристик и типовых моделей формирования крупных медно-порфировых месторождений ведущих меденосных провинций Мира [1–4]. Это обобщение проводилось с целью создания эталонного образа медно-порфирового месторождения для сравнительного анализа с ним слабоизученных медно-порфировых проявлений региона [7]. При этом также было установлено, что именно в окраинно-континентальном Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельском ВПП размещаются все крупные месторождения медно-порфирового типа – Коныpат, Актогай, Коксай, а более мелкие – Алтуайт, Алмалы и др. – во внутриконтинентальном Балхаш-Илийском ВПП (см. рис. 1) [7].

Проведенный анализ закономерностей размещения медно-порфировых проявлений ЖБСС выявляет и много других рудоконтролирующих факторов, устанавливаемых в известных медно-порфировых месторождениях ВПП Мира, что позволяет утверждать, как и ранее, о высоких возможностях для ЖБСС обнаружения новых крупных медно-порфировых месторождений и рекомендовать в качестве наиболее благоприятных для их выявления все те же общеизвестные рудные районы, потенциальные возможности которых все еще не исчерпаны – Балхашский, Актогайский и Усть-Илийский. При этом будущие поисково-разведочные работы рекомендуется проводить в двух направлениях: во-первых, необходимо вести доразведку известных объектов на глубину с учетом идеи о многоярусном проявлении оруденения в вулканогенных эпитермальных месторождениях, во-вторых, необходимо возобновить поиски медно-порфировых месторождений, скрытых под чехлом рыхлых отложений на территориях, для которых по данным глубинной геофизики выявляется геологическое строение, идентичное с эталонным Коныратским районом [7].

Относительно второго приоритетного эпитермального золото-серебряного оруденения ЖБСС следует отметить, что первые публикации о необходимости изучения золото-сереброносности ЖБСС появились уже в 1960-е гг. (А. Б. Диаров, 1966; Б. С. Зейлик, 1968), но детальные работы ни научного, ни производственного характера для развития этого направления до настоящего времени в ЖБСС не проводились. В то время как о несомненной высокой золотоносности ЖБСС свидетельствует «Карта золото-сереброносности ЖБСС» масштаба 1 : 500 000, охватывающая территорию 55 планшетов масштаба 1 : 200 000. На карте показаны более 2000 объектов различной формационной принадлежности, среди которых, несомненно, преобладают эпитермальные. Из отмеченных на карте проявлений 684 точки минерализации характеризуются содержанием Au 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 более 5,0 г/т. На базе этой карты с использованием коэффициентов экстенсивности и интенсивности проявления оруденения составлена «Карта перспективных площадей, зон и участков ЖБСС» масштаба 1 : 500 000, ранжированных на первоочередные и второочередные [7].

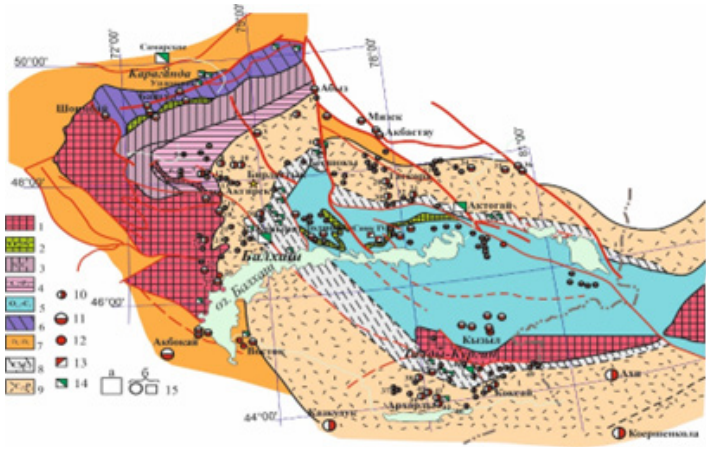


Рисунок. Схема расположения медных и эпитермальных золото-серебряных проявлений в девонском и позднепалеозойских вулкано-плутонических поясах Казахстана [6, 7]

1 – блоки докембрийского кристаллического фундамента Жонгаро-Балхашской складчатой области, 2 – Атасу-Нуринская структурно-формационная зона (северо-западная периферия Жонгаро-Балхашского окраинного палеобассейна), 3 – Успенская СФЗ (континентальный рифт фамен-каменноугольного возраста), 4 – Жонгаро-Балхашский окраинный палеобассейн длительного развития (O_{1-2}–C_2), 5 – Спасская рифтогенная зона, 6 – Центрально-Казахстанский окраинно-континентальный девонский вулкано-плутонический пояс (фронтальная зона), 7 – Центрально-Казахстанский окраинно-континентальный девонский ВПП (центральная и тыловая зоны), 8 – Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельский окраинно-континентальный (краевой) каменноугольный вулкано-плутонический пояс, 9 – Балхаш-Илийский внутриконтинентальный каменноугольно-пермский ВПП, 10–14 – рудные проявления: 10 – золоторудные, 11 – золото-серебряные, 12 – золото-полиметаллические, 13 – золото-меденосные, 14 – медно-порфировые с золотом, 15 – а – месторождения (крупные и средние), б – мелкие месторождения

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: Багио, Филлипины – Архарлы, Сарыозекская СФЗ; Калгурли, Западная Австралия – Таскора, Котанэмель-Калмакэмельская СФЗ и т.д. Благоприятным фактом также является то, что на продолжении внутриконтинентального Балхаш-Илийского ВПП на территории Китая выявлены крупные месторождения этого типа Ахи (73 т) и Коершенкола (170 т) (см. рис. 1) [7].

Весьма важным моментом при проведении поисковых работ на Au-Ag проявлениях является возможность их переоценки как крупнообъемных вкрапленных и прожилково-вкрапленных месторождений [5, 6], характеризующихся малыми содержаниями (около 1 г/т Au) и большими запасами. Как отмечают В. А. Нарсеев и В. М. Шашкин в своей статье «Стратегическое направление в добыче благородных металлов (проблема крупнообъемных месторождений)»: «Новое направление золотодобычи – крупнообъемные месторождения убогих концентраций – очень быстро набирает силу. По данным Горного бюро США, число месторождений с содержанием золота менее 1 г/т на 01.01.07 г. составляло 19 обьектов. По состоянию на 01.01.2012 г. число таких объектов удвоилось» [5].

Оцененные таким образом рекомендуемые золоторудные перспективные площади могут пополнить фонд Au-Ag месторождений реальными объектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звездов В. С., Минина О. В. Принципы прогноза и оценки перспектив комплексных рудных районов вулкано-плутонических поясов // Геология и охрана недр. – 2012. – № 2 (43). – С. 21–36.
2. Константинов М. М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов Мира. – М. : Недра, 1984. – 138 с.
3. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Попов В. С. Медно-порфировые месторождения Мира. – М. : 1986. – 236 с.
4. Митчелл А., Парсон М. Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений. – М. : Мир, 1984. – 496 с.
5. Нарсеев В. А., Шашкин В. М. Стратегическое направление развития добычи благородных металлов (проблема крупнообъемных месторождений) // Геология и охрана недр. – 2012. – Т. 42. – № 2 – С. 2–5.
6. Сейтмуратова Э. Ю., Рафаилович М. С., Диаров А. Б., Сайдашева Ф. Ф. К постановке поисков крупнообъемных вулканогенных золото-серебряных месторождений Казахстана // Геология и охрана недр. – 2007. – № 4. – С. 7–27.
7. Сейтмуратова Э. Ю., Аршамов Я. К., Сайдашева Ф. Ф. Новый взгляд на перспективы медно-порфирового и золото-серебряного оруденения Жонгаро-Балхашской складчатой системы. Материалы международной конференции // Проблемы и перспективы развития геологической науки и образования в Казахстане. – Алматы : 2011. – С. 379–390.

Сенкевич В. С. (sink777@mail.ru), Кетров А. А.

КФ АО «Полиметалл УК», г. Красноярск

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ПОЛИМЕТАЛЛОВ И ЗОЛОТА В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

Енисейский кряж – одна из ведущих минерально-сырьевых провинций России с большим разнообразием полезных ископаемых (Au, Ag, Pb, Zn, Fe, Mn, Sb и др.). С открытием в 1956 г. Горевского свинцово-цинкового месторождения и его последующим изучением и освоением Енисейский кряж начал рассматриваться как потенциально крупная полиметаллическая провинция.

Ключевые слова: Енисейский кряж, прогноз, поиски, полиметаллы, золото.

На сегодняшний день в пределах Енисейского кряжа выявлены и зарегистрированы 44 свинцово-цинковых объекта в статусе месторождений и рудопроявлений, а также более 200 пунктов полиметаллической минерализации (рисунок).

Медно-колчеданная в силикатных породах (цинк-медноколчеданная субформация) представлена Глотихинским, Хариузихинским, Солохинским, Исаковским, Николаевским Кийским, Киликейским и Тягловым проявлениями, которые тяготеют к вулканитам основного и кислого составов (Приенисейская зона и Исаковский террейн). Рудные тела линзовидные малой мощности (первые метры). Контакты рудных тел с вмещающими породами часто нерезкие из-за присутствия в последних вкрапленного и прожилково-вкрапленного оруденения. Руды преимущественно массивные, иногда густовкрапленные, сложены пиритом (до 30–80 %), халькопиритом (до 10 %), сфалеритом (0,1–6 %). В виде незначительной примеси отмечаются пирротин, галенит, магнетит, золото. Породные минералы – кварц, серицит, хлорит, альбит, биотит, кальцит, сидерит, барит. На площадях развития медно-колчеданного оруденения в вулканитах основного состава нередко устанавливается вкрапленная и прожилково-вкрапленная существенно медная минерализация. Содержание Cu и Zn в таких породах местами достигает 0,3–1,5 %. В некоторых случаях особенности оруденения по облику и геологической позиции близки к меднопорфировому, эпитермальному типам, что остается не ясным и требует изучения и подтверждения.

Известные месторождения рудных благородных и цветных металлов Енисейского кряжа преимущественно расположены на водоразделах, являющихся обычно наиболее обнаженными – обломки пород часто образуют высыпки, развалы, и визуально устанавливается проявление гидротермально-метасоматических процессов. Однако Приенисейская зона и Исаковский террейн характеризуется преобладанием «закрытых» ландшафтов – залесенных, задернованных и заболоченных «моховых» склонов. В связи с чем «легкими» методами получить геологическую информацию по значительной части территории не представляется возможным. Именно поэтому необходимо менять традиционную методику поисков.

Для оптимизации рационального получения положительного итога обязательное условие результативности – переосмысление ретроспективного анализа предшествующих металлогенических характеристик площадей и применение последних с глубинными геохимическими поисками в совокупности с современными геофизическими исследованиями.

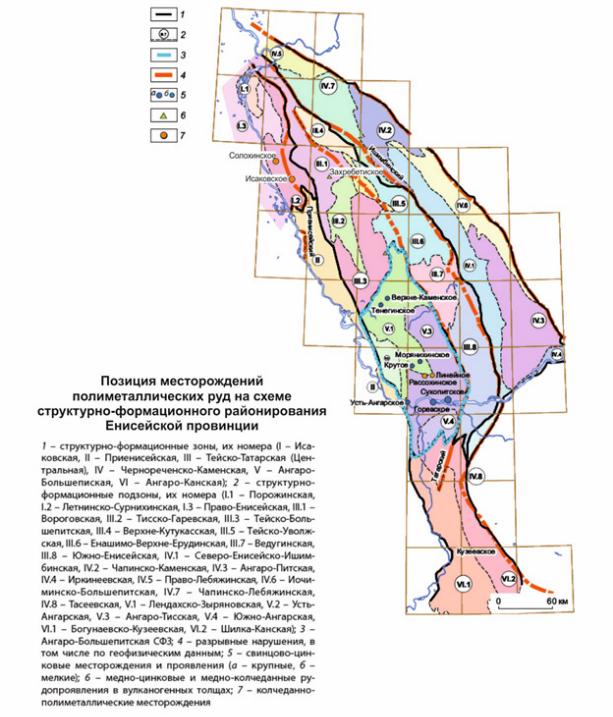


Рисунок. Позиция месторождений полиметаллических руд на схеме структурно-формационного районирования Енисейской провинции

Серавина Т. В. (seravina@tsnigri.ru), Кузнецов В. В. (okt@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИПА VMS БОЛЬШОГО АЛТАЯ

В пределах Большого Алтая в настоящее время выявлены 16 крупных колчеданно-полиметаллических месторождений типа VMS. Эти месторождения локализуются в вулканогенно-осадочных и вулканогенных породах рудовмещающих формаций девонского возраста, которые соответствуют двум циклам вулканической активности в регионе. Были выделены 11 рудных районов, проведен предварительный анализ запасов месторождений, продуктивности рудоносных формаций, а также выделены две рудные формации (свинцово-цинковая колчедансодержащая и медно-свинцово-цинковая колчеданная).

Ключевые слова: Большой Алтай, VMS, Рудноалтайская МЗ, Китайский и Монгольский Алтай.

Алтайские горы (Большой Алтай) являются важной частью Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) и простираются более чем на 2500 км через территорию Российской Федерации, Республики Казахстан, северо-запада КНР (Синьцзян) и западной Монголии. В пределах Большого Алтая находятся крупные месторождения цветных, благородных и редких металлов (Au, Cu-Mo, Fe, Pb-Zn, Ni-Cu (PGE), Li-Be-Nb-Ta и др.) [3, 6].

Наиболее крупными колчеданно-полиметаллическими месторождениями типа VMS (более 1 млн т меди, свинца и цинка) Большого Алтая являются: Риддер-Сокольное, Новолениногорское, Тишинское, Чекмарь, Орловское, Иртышское, Белоусовское, Николаевское, Малеевское, Зыряновское, Греховское (Республика Казахстан), Корбалихинское, Золотушинское (Российская Федерация), Кекетале, Ашеле (КНР) и Дулаан кхар уул (Монголия). Общие запасы полиметаллов Большого Алтая, выявленные на месторождениях данного типа, составляют 60 млн т (в том числе 12,7 млн т свинца, 34 млн т цинка, 13,3 млн т меди, 800 т золота и 25 тыс. т серебра).

Все вышеперечисленные месторождения выявлены в пределах Рудноалтайской металлогенической зоны (МЗ), Китайского (Chinese Altai) и Монгольского Алтая (Mongol Altai), локализуются в вулканогенно-осадочных и вулканогенных породах рудовмещающих формаций девонского возраста, которые соответствуют двум циклам вулканической активности в регионе. Китайский Алтай является продолжением Рудноалтайской МЗ на юго-востоке.

В пределах Рудноалтайской МЗ развиты нижняя (эмс-раннеживетская, ранний цикл) и верхняя (позднеживетская–раннефранская, поздний цикл) рудоносные геологические формации. Нижняя базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация (состав: алевролиты, песчаники, туфопесчаники, гравелиты, туфы кислого состава, туффиты; редко лавы и лавобрекчии риолитов, риодацитов, андезитов, андезибазальтов) является непрерывной, относится к калиево-натриевой серии с преобладанием калия над натрием, характеризуется преимущественным развитием пород кислого состава и незначительным основного. Верхняя базальт-риолитовая кремнисто-терригенная формация (состав: риолиты, дациты, риодациты, андезиты, андезибазальты, их лавобрекчии; туфы кислого и основного составов; редко алевролиты, песчаники, туфопесчаники, тефроиды, аргиллитов) является контрастной, относится к калиево-натриевой серии, характеризуется примерно равным соотношением пород кислого и основного составов. В породах кислого состава отмечается почти равное содержание калия и натрия, а в породах основного – натрий преобладает над калием. Для данной формации характерна смена во времени продуктов кислого и основного вулканизма (кислый–основной–кислый) [1, 2, 4, 5].

В пределах Китайского Алтая рудоносными являются следующие формации (ранний цикл вулканической активности): нижнедевонская Кангбутибао (Kangbutiebao), которая распространена наиболее широко, а также нижне-среднедевонская Ашеле (Ashele) [11]. Формация Кангбутибао в основном состоит из кислых вулканогенных пород (риолиты, риодациты, дациты, туфы), а также небольшого количества осадочных пород (метапесчаники, сланцы) [8]. В пределах формации Ашеле широко развиты бимодальные вулканогенные породы, представленные андезитами, базальтами, реже дацитами, риолитами, брекчиевыми и осадочными туфами, туфопесчаниками, известняками [7].

Рудовмещающие (рудоносные?) отложения Монгольского Алтая представлены породами раннедевонской формацией Отог (Otog) и нижне-среднедевонской формацией Бааст-Уул (Baast uul) (ранний цикл вулканической активности). Формация Отог сложена вулканогенно-осадочными породами, такими как риолиты и их туфы, дациты, риодациты, андезиты, базальты, конгломераты, туфоалевролиты и туфопесчаники. В разрезе формации Бааст-Уул выделяются туфопесчаники, риолиты, их туфы и туфобрекчии, андезиты, реже псаммитовые туфы и гравелиты [9].

На основе собственных материалов, а также данных других исследователей, согласно металлогеническому кодексу РФ, нами были выделены 11 рудных районов. Принципом выделения районов являлись оконтуривание полей развития рудоносных формаций девонского возраста и наличие палеопрогибов, в пределах которых выявлены породы данных формаций. С северо-запада на юго-восток выделяются: Рубцовский, Золотушинский, Змеиногорский (Российская Федерация), Лениногорский, Прииртышский, Зыряновский (Республика Казахстан), Ашеле (бассейны Ашеле (Ashele basin) и Чонгуер (Chonghuer basin)), Келан (Kelang basin) и Майзи (Maizi basin) (КНР), Дулаан кхар уул (Dulaan khar uul) и Хох адар (Khokh adar) рудные районы. Таким образом, рудные районы эквиваленты структурно-формационным блокам в пределах металлогенических зон и представляют собой крупные вулкано-тектонические депрессии, выполненные вулканогенно-осадочными отложениями одной (или двух) рудоносных формаций. Мощность отложений рудоносных формаций коррелирует с интенсивностью прогибания основания и достигает максимальных величин в центральной части Большого Алтая на территории Республики Казахстан. Важным фактором для локализации промышленного оруденения являются соотношения в составе формаций вулканитов основного (среднего) и кислого состава, а также карбонатно-терригенных и вулканогенных пород.

Анализ запасов месторождений типа VMS показал, что максимальные объемы свинца, цинка и меди сосредоточены в центральной части Большого Алтая (Прииртышский и Лениногорский рудные районы), а на северо-запад и юго-восток их количество значительно снижается. Несколько иная картина отмечается, если рассматривать продуктивность рудоносных формаций. Продуктивность (тыс. т/км^2) колеблется от 0,8 до 3,7 в юго-восточной части Большого Алтая, от 3,5 до 5,6 в северо-западной и достигает своих максимальных значений (10,2–26,8) в центральной.

С рудоносными геологическими формациями ассоциируют две соответствующие рудные формации. Свинцово-цинковая колчедансодержащая рудная формация соответствует нижней геологической формации. Для месторождений характерны наличие примерно равных долей свинца и меди в рудах (при некотором преобладании свинца), также присутствие повышенного содержания цинка. Медно-свинцово-цинковая колчеданная рудная формация соответствует верхней геологической формации. Для месторождений рассматриваемой рудной формации характерна незначительная роль свинца при близких значениях цинка и меди и высокой сернистости руд. Это подтверждается изменением запасов по уровням локализации оруденения: общие суммарные запасы в их пределах сходны, но верхний уровень имеет медно-цинковую специализацию, а нижний – свинцово-цинковую.

В ряде случаев описанная закономерность нарушена. Особенно это касается месторождений в пределах рудного района Ашеле. Медно-цинково-колчеданные месторождения и рудопроявления, локализованные в пределах формации Ашеле, отвечают, по-видимому, островодужному этапу развития структур [10]. Рифтогенному этапу в этом и других рудных районах Китайского Алтая соответствуют отложения формации Кангбутибао.

При подготовке данной работы были использованы материалы публикаций Х. А. Беспаева, И. В. Викентьева, И. В. Гаськова, Б. А. Дьячкова, Н. Г. Кудрявцевой, Г. Н. Щербы, A. Broussolle, D. Dorjgotov, O. Gerel, F. Pirajno, R. Seltmann, C. Sun, B. Wan, W. Xiao, L. G. Xu, A. S. Yakubchuk, J. J. Yang, F. Q. Yang, P. P. Yu в научных журналах, в той или иной мере затрагивающие тему исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспаев Х. А. Атлас месторождений полезных ископаемых Казахстана. – Алматы : 2004. – 141 с.
2. Дьячков Б. А., Мизерная М. А., Пяткова А. П., Бисатова А. Е., Мирошникова А. П., Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А., Ойцева Т. А., Черненко З. И. К проблеме формирования кол-

чеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Отечественная геология. – 2021. – № 5. – С. 3–16.
3. Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Геодинамические обстановки формирования месторождений цветных и благородных металлов Большого Алтая // Отечественная геология. – 2022. – № 2. – С. 12–23.
4. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В., Мурзин О. В., Корчагина Д. А., Кузнецова С. В., Миляев С. А. Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 206 с.
5. Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Кузнецов В. В., Пугачева И. П. Параметрические геолого-поисковые модели колчеданно-полиметаллических месторождений. – М. : ЦНИГРИ, 1992. – 150 с.
6. Щерба Г. Н., Беспаев Х. А., Дьячков Б. А. Большой Алтай (геология и металлогения). – Кн. 2. Металлогения. – Алматы : РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
7. Niu L., Hong T., Xu X. W., Li H., Ke Q., Wang X. H., Ma Y. C. A revised stratigraphic and tectonic framework for the Ashele volcanogenic massive sulfide deposit in the southern Chinese Altay: Evidence from stratigraphic relationships and zircon geochronology // Ore Geol. Rev. – 2020. – 127. – P. 103814.
8. Sun C., Zhang H., Yang X., Ji W., Chen B., Li Y., Dong Z., Faisal M., He Z. The role of long-lived arc volcanism in the formation of the VMS deposits: A case study of the volcanic-sedimentary sequence of Kangbutiebao formation associated with VMS deposits, Altai Mountains // Gondwana Research. – 2023. – Volume 118. – P. 194–217.
9. Tamir B., Dorjgotov D., Lkhagvatseren B. Geology and ore composition studies of Dulaan khar uul polymetal deposit // Journal of Geological Issues. – 2018. – (494) (16). – P. 76–83.
10. Yang C. D, He J. X, Yang F. Q, Wu Y. F, Li Q. Petrogenesis and geodynamic significance of Kayinde gabbro in the Ashele Basin, Altay Orogenic Belt, Xinjiang, Northwest China: Constraints from geochronological and geochemical data // Geological Journal. – 2020. – 55. – P. 1849–1865.
11. Yang F. Q., Zhang B., Yang C. D., Li Q., Wang Y. Q. Geology and geochronology of the volcanogenic massive sulphide polymetallic deposits in Altay Orogenic Belt, Xinjiang, Northwest China: examples from the Kelan Basin // Int. Geol. – 2020. – Rev. 63 (10). – P. 1199–1214.

Сидорова Н. В. (nsidorova989@mail.ru), Кайгородова Е. Н. (katmsu@mail.ru)
ИГЕМ РАН, г. Москва

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И МОРФОЛОГИИ СУЛЬФИДОВ С «НЕВИДИМЫМ» ЗОЛОТОМ ИЗ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОЙ ОСЕТИИ НА ПРИМЕРЕ БАЙКОМСКОЙ И ВОСТОЧНО-ХИЛАКСКОЙ ПЛОЩАДЕЙ ПО ДАННЫМ ЛА-ИСП-МС

По результатам изучения морфологии и состава арсенопирита и пирита, являющихся основными минералами-носителями «невидимого» золота в рудах Байкомской и Восточно-Хилакской площадей, установлена прямая корреляция Au-As и отсутствие корреляции Au-Ag, что говорит о возможном нахождении золота в химически связанной форме в данных минералах.

Ключевые слова: «невидимое» золото, пирит, арсенопирит, ЛА-ИСП-МС.

Байкомская и Восточно-Хилакская золоторудные площади расположены в высокогорной части Алагирского района (РСО-Алания), в Заккинском и Куртатинском ущельях. Перспективы изучаемых площадей ранее были выявлены на основании данных АО «Северо-Кавказское ПГО» [1]. В 2020–2024 гг. в пределах указанных участков проводились поисково-оценочные работы на золото по категории P_1. Для обоих объектов характерны следующие признаки: отсутствие в рудах видимого Au, золото-сульфидно-кварцевый жильный тип руд, невысокие (в среднем 1–2 г/т) содержания Au в рудах при крайне неравномерном его распределении, локализация рудных тел в терригенно-осадочных породах.

В тектоническом плане территория Байкомской площади относится к структурно-формационной зоне Южного склона Большого Кавказа. В геологическом строении площади принимают

участие отложения юрского возраста (глинистые сланцы, аргиллиты с прослоями алевролитов, песчаников и туфопесчаников). Залегание пород осложнено серией субширотных Нарских крутопадающих разломов, контролирующих размещение зон окварцевания с кварц-сульфидной минерализацией. Рудные зоны Байкомской площади имеют линейно-вытянутую форму и представлены зонами дробления и брекчирования, приуроченными к зонам Северного и Южного Нарского разломов, а также к оперяющим их структурам.

Территория Восточно-Хилакской площади относится к двум структурно-формационным зонам: Адайхох-Дарьяльской (Северный склон Большого Кавказа) и Южного склона Большого Кавказа, разделенными Льядонским разломом. Данная площадь сложена юрскими осадочными отложениями (глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками), в северной части интенсивно проявлен юрский магматизм (фиагдонский вулканоплутонический комплекс). Минерализованные зоны представлены кварц-сульфидными жилами и прожилками, метасоматически измененными осадочными породами и брекчиями, приуроченными к зоне Льядонского разлома, а также оперяющим его более мелким разломам субширотного направления.

Наиболее распространенный рудный минерал в пределах изученных площадей – это пирит, который составляет 70–80 % от рудных минералов и представлен фрамбоидами, конкреционными стяжениями, отдельными кристаллами и их агрегатами. На основании проведенного изучения аншлифов и составов минералов было условно выделено три основных морфогенетических типа пирита: осадочно-диагенетический (пирит-I), гидротермально-метаморфогенный (пирит-II), рудно-гидротермальный (пирит-III).

Пирит-I осадочно-диагенетический, встречается в виде фрамбоидов и мелких кристаллов кубического и пентагон-додекаэдрического габитуса, образующих рассеянную вкрапленность в осадочных породах. Иногда фрамбоиды обрастают более поздними метакристаллами пирита-II. По данным ЛА-ИСП-МС, для пирита-I характерно повышенное содержание Co, Ni, Cu, As, Pb, Ag, Mo. На диаграммах элементного состава (см. рисунок) пирит-I попадает в отдельное поле по отношению Co-Ni, Au-As и Au-Ag. Для фрамбоидального пирита характерна примесь золота в концентрации до 1 г/т (в среднем 0,6 г/т) на Байкомской площади и до 1,2 г/т (в среднем 0,2 г/т) на Восточно-Хилакской площади. Также только для фрамбоидального пирита характерна примесь теллура в концентрации до 12 г/т на Байкомской площади и до 25 г/т на Восточно-Хилакской площади.

Гидротермально-метаморфогенный пирит-II представлен метакристаллами кубического габитуса, встречающимися как в осадочных, так и в магматических породах фиагдонского комплекса. Он характеризуется крупными размерами (до нескольких сантиметров в поперечнике), наличием теней давления и слабой ростовой зональностью. Метакристаллы, как правило, катаклазированы, содержат большое количество включений минералов матрицы породы, что придает им «ячеистую» текстуру. Для пирита-II характерно пониженное относительно пирита-I содержание Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Ag, Sb (см. рисунок) и крайне неравномерное распределение элементов-примесей, вызванное наличием микронных включений других сульфидов. Золото в этом типе пирита не обнаружено, серебро установлено в единичных пробах и связано, вероятно, с микровключениями галенита.

Главными минералами-концентраторами «невидимого» золота на изученных объектах являются арсенопирит и в меньшей степени рудно-гидротермальный мышьяковистый пирит, отнесенный к третьему морфогенетическому типу (пирит-III).

Рудно-гидротермальный пирит-III встречается в сульфидно-кварцевых жилах. Кристаллы пирита-III имеют зональное строение и крайне неравномерное распределение элементов-примесей. Пирит-III Байкомской площади нарастает на пирит-II в виде мышьяковистых золотоносных кайм либо цементирует более ранний пирит-II. По данным лазерного профилирования, максимальные концентрации мышьяка и золота приурочены к данному типу пирита. Содержания золота достигают 15 г/т, в среднем – 3,3 г/т при содержаниях мышьяка до 2,3 мас.%.

Пирит-III Восточно-Хилакской площади имеет более сложную морфологию с общей тенденцией накопления золота и мышьяка в каймах кристаллов. Для данного типа пирита характерно пониженное содержание Co и Ni и повышенное – As, Sb и Au (см. рисунок). Золото присутствует в 100 % проб абляции в концентрации от до 0,1 до 8,6 г/т, в среднем 2,0 г/т, при содержаниях мышьяка до 3,3 мас.%.

Отсутствие линейной зависимости между содержаниями Au и Ag в пирите, а также тенденция к положительной корреляции Au-As (см. рисунок) свидетельствуют о химически-связанной форме нахождения золота в пирите [2].

Арсенопирит Байкомской и Восточно-Хилакской площадей встречается в сульфидно-кварцевых жилах, парагенетичен с мышьяковистым пиритом-III, образуя с ним тесные срастания. Встречается в виде идиоморфных кристаллов и их сростков в кварце размером до 5 мм, таблитчатых, чаще ромбовидных кристаллов и выделений неправильной формы. Кристаллы арсенопирита обнаруживают ростовую зональность, выраженную по изменению химического состава, в частности по соотношению S / As (для Байкомской площади – 1,16–1,63; для Восточно-Хилакской – 1,16–1,78) и по содержанию Sb. Арсенопирит Байкомской площади содержит от 260 до 3018 г/т сурьмы и до 100 г/т золота, на Восточно-Хилакской площади – от 25 до 10 000 г/т сурьмы и до 150 г/т золота. В спектрах лазерной абляции арсенопирита четко прослеживается обратная корреляция Sb-Au, при этом золото распределено крайне неравномерно.

Заключение. По результатам изучения морфологии и состава арсенопирита и пирита, являющихся основными минералами-носителями «невидимого» золота в рудах Байкомской и Восточно-Хилакской площадей, установлено, что золотоносный мышьяковистый пирит кристаллизовался на заключительной стадии рудообразования в виде кайм и тонких зон, обрастая и залечивая трещины в более раннем метаморфогенном пирите. Для As-пирита и арсенопирита характерна прямая корреляция Au-As и отсутствие корреляции Au-Ag, что говорит о возможном нахождении золота в химически связанной форме в данных минералах. Для арсенопирита по данным ЛА-ИСП-МС выявлена обратная корреляция Sb-Au.

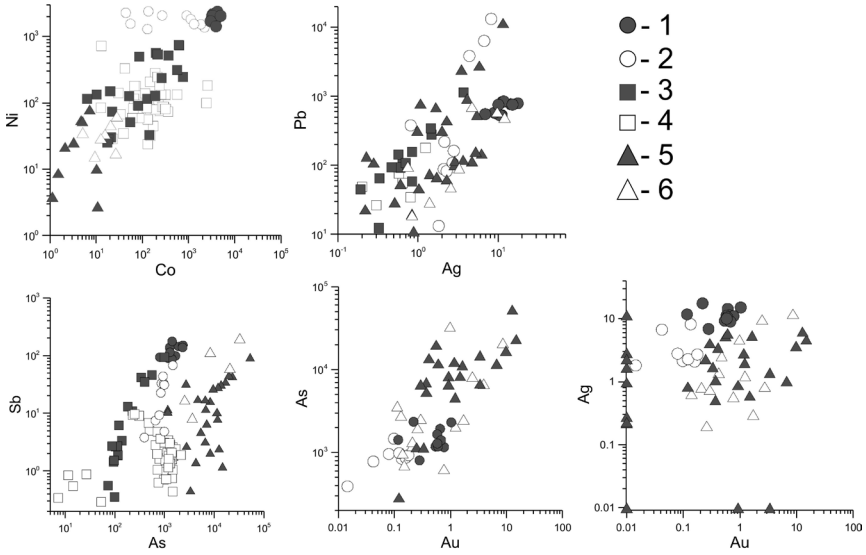


Рисунок. Диаграммы элементного состава (по данным ЛА-ИСП-МС, в г/т) различных морфогенетических типов пиритов Байкомской и Восточно-Хилакской золоторудных площадей:
1, 2 – фрамбоидальный пирит-I (1 – Байком, 2 – Восточный Хилак); 3, 4 – пирит-II (3 – Байком, 4 – Восточный Хилак); 5, 6 – пирит-III (5 – Байком, 6 – Восточный Хилак)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туаев О. П. Факторы локализации золотого оруденения в черносланцевой толще Северной Осетии и перспективы выявления новых площадей для постановки ГРР на рудное золото (Республика Северная Осетия-Алания) // Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов — от прогноза к добыче. Сборник тезисов докладов I Молодёжной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ. – М. : ЦНИГРИ, 2020. – С. 196–198.
2. Reich M., Kesler S. E., Utsunomiya S., [et al.] Solubility of gold in arsenian pyrite // Geochim. Cosmochim. Acta. – 2005. – V. 69. – P. 2781–2796.

Симаков С. К. [1] **(Simakov1957@yandex.ru), Стегницкий Ю. Б.** [2] **(StegnitskiyYuB@alrosa.ru)**
[1] ООО «Адамант», г. Санкт-Петербург, [2] Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ КРУПНЫХ АЛМАЗОВ В КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБКАХ

Предложенный минералого-петрологический метод позволяет ранжировать кимберлитовые породы по степени вероятности нахождения в них крупных алмазов по рассчитанным из состава пироповых ксенокрист P-T-FO_2 параметров и составам флюида. Двууглекисло-водный состав C-H-O флюидов является положительным критерием для нахождения в кимберлитовых трубках крупных алмазов и алмазов-гигантов.

Ключевые слова: алмазы, флюиды, мантия, CLIPPIR, кимберлиты.

Известно, что абсолютное большинство гигантских и крупных алмазов, найденных за последнее столетие, приурочены в основном к Африкано-Аравийской платформе [2]. Источником 41 % всех наиболее крупных алмазов (> 400 карат) являются Африканские кимберлитовые трубки Карове, Премьер (Куллинан) и Летсенг. 88 % этих алмазов относятся к типу IIa. Единичные находки алмазов типа IIa такого размера отмечены в трубках Джваненг и Ягерсфонтейн. Менее крупные (> 100 карат) встречаются в трубках Орапа, Као, Мотае, Лихобонг и Монастери, большинство из них также относятся к типу IIa. Находки отдельных крупных алмазов известны также в кимберлитах Якутии и Канады. Основными минералого-геохимическими особенностями гигантских алмазов являются отсутствие силикатных и окисных включений (практически единственным включением является графит), обогащенность облегченным изотопом углерода, практически полное отсутствие азота и приуроченность к участкам с низкой алмазоносностью [3]. При этом отмечено, что высокий % алмазов типа IIa в африканских трубках может служить признаком возможности наличия в них крупных кристаллов [3]. Для якутских алмазов отмечено, что количество азота и водорода в них уменьшается с увеличением их крупности.

В настоящее время генезис таких алмазов, их еще называют «CLIPPIR diamonds», не до конца изучен, поскольку в них практически полностью отсутствуют минеральные включения, позволяющие отнести их к тому или иному известному типу парагенезиса. Существуют расплавные и флюидные модели их образования в широком интервале глубин [3, 4, 5, 7, 9]. В основу предлагаемого метода положена флюидная модель образования, исходя из которой азот может входить в алмаз из аммиака, который устойчив в условиях восстановленного существенно УВ флюида и не устойчив в условиях окисленного [6, 10]. Таким образом, наиболее азотистые алмазы должны образовываться в условиях восстановленного, а безазотистые – в условиях окисленного флюидов. Подтверждением этому являются расчеты степени восстановленности по фугитивности кислорода, проведенные для эклогитовых включений в алмазах тр. Премьер с известными содержаниями азота [5, 7]. Алмазы с наиболее восстановленными условиями образования имеют максимальные содержания азота (Рис. 1). С другой стороны, степень окисленности-восстановленности кимберлитовых трубок можно оценить по расчетам P-T-FO_2 параметров и рассчитанному флюиду по составам пиропов [6]. Данным методом были оценены средние составы флюидов для ряда кимберлитовых трубок Якутии с известным средним содержанием азота в изученных алмазах. Наиболее восстановленные флюиды имеют высокоалмазоносные трубки Интернациональная, Мир и Ботуобинская с высокими средними содержаниями азота в алмазах, крупные алмазы в них отсутствуют (Рис. 2). Трубки Юбилейная, Деймос, Новинка, Зарница и Заполярная, где встречается максимальное количество крупных алмазов, соответствуют более окисленным водно-двууглекислым флюидам. При этом содержание азота в алмазах во всех трубках в целом уменьшается с увеличением степени окисленности. Аналогичные расчеты P-T-FO_2 параметров были проведены и для южно-африканских кимберлитовых трубок. Более алмазоносные трубки Кимберли, где алмазы-гиганты типа IIa отсутствуют (известна только одна находка кристалла такой размерности типа I), имеют более восстановленный водно-метановый флюид (Рис. 3, а). В то время как флюиды трубок Карове, Премьер (Куллинан), Летсенг и других, содержащих максимальное количество безазотных алмазов-гигантов, соответствуют водно-двууглекислым составам (Рис. 3, б).

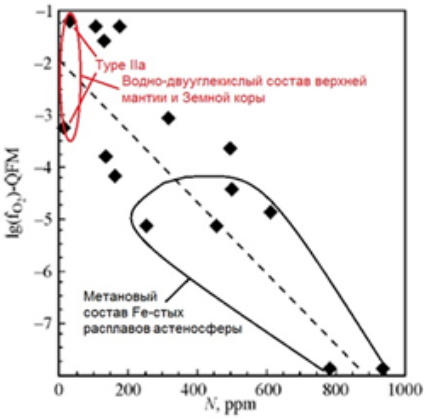


Рис. 1. Содержание азота в эклогитовых алмазах тр. Премьер в зависимости от фугивности кислорода, по данным из [4, 6].

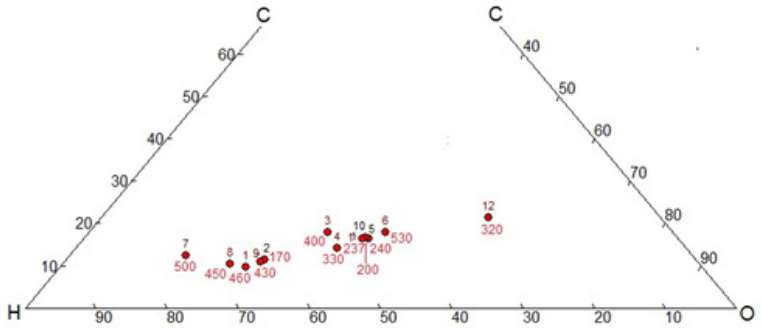


Рис. 2. Расчетный состав флюида для якутских трубок со средним содержанием азота по трубке (в ppm, по данным из [1]).
1 – Ботуобинская, 2 – Удачная, 3 – Юбилейная, 4 – Айхал, 5 – Сытыканская, 6 – Нюрба, 7 – Интернациональная, 8 – Мир, 9 – Дачная, 10 – Комсомольская, 11 – Зарница, 12 – Таежная

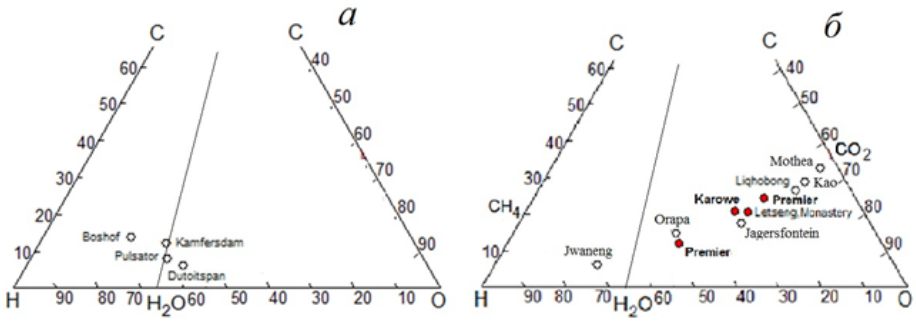


Рис. 3. Расчетный состав флюида для трубок поля Кимберли (а) и трубок, содержащих алмазы типа IIа более 100 карат (б).
Красными кружками обозначены трубки с максимальным содержанием гигантских алмазов типа IIа.

Таким образом, предложенный авторами минералого-петрологический метод позволяет ранжировать кимберлитовые породы по степени вероятности нахождения в них крупных алмазов по расчетам P-T-FO_2 параметров и рассчитанному флюиду. Двууглекисло-водный состав C-H-O флюидов является положительным критерием для нахождения в кимберлитовых трубках крупных алмазов и алмазов-гигантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е., Барышев А. Н. Распределение структурных примесей в алмазах из кимберлитовых трубок с различной алмазоносностью // Отечественная Геология. – 2022. – № 5. – С. 3–13.

2. Ferraris R. // Presentation at Kimberley International Diamond Symposium (KIDS 2023). – 2023. – P. 34
3. Moore A. E. Landscape evolution in Zimbabwe from the Permian to present, with implications for kimberlite prospecting // S. Afr. J. Geol. – 2009. – V. 112. – P. 23–38.
4. Shirey S.B. [et al.] Slab Transport of Fluids to Deep Focus Earthquake Depths—Thermal Modeling Constraints and Evidence From Diamonds // AGU Advances. – 2020. – V.2, Is.2. – e2020AV000304.
5. Simakov S. K. On the origin of large type IIa gem diamonds // Ore Geol. Rev. – 2018. – V. 102. – P. 195–203.
6. Simakov S. K. Redox state of eclogites and peridotites from sub-cratonic upper mantle and a connection with diamond genesis // Contrib. Mineral. Petrol. – 2006. – V. 151. – P. 282–296.
7. Simakov S. K., Scribano V., Melnik N. [et al.] Nano and Micro Diamond Formation in Nature Ultrafine Carbon Particles on Earth and Space. Springer Briefs in Earth Sciences. – 2023. – 132 p.
8. Simakov S. K., Stegnitskiy Yu. A new pyrope-based mineralogical-petrological method for identifying the diamond potential of kimberlite/lamproite deposits // Ore Energ. Res. Geol. – 2021. – V. 7. – 100013.
9. Smith E. M. [et al.] Large gem diamonds from metallic liquid in Earth's deep mantle // Science. – 2016. – V. 354, Is. 6318. – P. 1403–1405.
10. Sokol A. G., Tomilenko A. A., Bulbak T. A. [et al.] Carbon and nitrogen speciation in nitrogen-rich C–O–H–N fluids at 5.5–7.8 GPa // Earth Plan. Sci. Lett. – 2017. – V. 460. – P. 234–243.

Степанов В. А.[1] (vitstepanov@yandex.ru), Мельников А. В.[2] (Melnikov_Anton@mail.ru)
[1] ФГБУН «НИГТЦ», г. Петропавловск-Камчатский; [2] ФГБУН «ИГиП», г. Благовещенск

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ГРАНИТНЫХ МАССИВАХ НАИБОЛЕЕ ПРОДУКТИВНЫХ РУДНО-РОССЫПНЫХ УЗЛОВ ПРИАМУРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Приведены сведения о золотоносности двух наиболее продуктивных рудно-россыпных узлов Приамурской золотоносной провинции – Соловьевском и Моготском. Золотое оруденение обоих узлов связано с гранитными массивами. С площади узлов добыто около 330 т золота, что составляет более 30 % всего золота провинции. Доля рудного золота крайне мала (около 5 %), что свидетельствует о наличии не выявленных золоторудных месторождений. Предполагается, что аналогами золотого оруденения в пределах Соловьевского и Моготского РРУ могут быть крупные и уникальные золоторудные месторождения, приуроченные к гранитным массивам провинции Цзяодун Китая.

Ключевые слова: золотоносная провинция, рудно-россыпной узел, золоторудное месторождение, россыпь.

В Приамурской золотоносной провинции, начиная с 1868 г., добыто более 1200 т золота. Превалирующая его часть добывалась из полутора тысяч россыпей, меньшая (около 360 т) – из полутора десятков рудных месторождений. Провинция представляет собой область проявления позднемезозойской коллизии восточного обрамления Сибирского кратона и северной окраины Китайского кратона с заключенной между ними Монголо-Охотской складчатой системой. Наблюдается линейно-узловая локализация золотого оруденения и россыпей в 80 рудно-россыпных узлах (РРУ).

По добыче золота среди рудно-россыпных узлов (РРУ) выделяются низкопродуктивные (добыто менее 10 т золота), среднепродуктивные (10–50 т) и высокопродуктивные (более 50 т). Высокопродуктивные узлы по соотношению добычи рудного и россыпного золота относятся к преимущественно рудным, рудно-россыпным и преимущественно россыпным. Больше всего золота добывалось из россыпных узлов, максимальное количество – из двух: Соловьевского (более 200 т) и Моготского (более 130 т). Но доля рудного золота неадекватно мала (Соловьевский узел – около 15 т, Моготский – 0,1 т).

Соловьевский РРУ представляет собой интрузивно-купольное поднятие, сложенное метаморфическими и осадочными образованиями широкого возрастного диапазона, прорванными гранитоидными интрузиями буриндинского комплекса раннего мела. Основные россыпи Соловьевского РРУ приурочены к долинам рек Янкан, Джалинда и Малый Уркан. Они берут начало с южных и юго-восточных отрогов Джалиндинского гольца, сложенного гранитным массивом, и протягиваются в южном и юго-восточном направлениях на десятки километров. Стержневое положение в Джалиндинской золотороссыпной системе занимает россыпь р. Джалинда с притоками, из которой добыто около 130 т золота [1]. Обрамляющие Джалинду с запада и востока россыпи бассейнов рр. Янкан и Малый Уркан беднее: из россыпей р. Янкан добыто 25,7 т золота, р. Мал. Уркан – 40,6 т.

Золото в россыпях относительно крупное, размером от 0,18 до 1,89 мм, среднее – 0,59 мм. Самородки, весом до 400 г, встречаются редко. Форма золотин лепешковидная, пластинчатая, комковидная и чешуйчатая, иногда дендритовидная, губчатая и проволоковидная. Наблюдаются сростки золота с кварцем, иногда с сульфидами, кальцитом, полевым шпатом и лимонитом. Золото отличается высокой пробой с максимумом встречаемости в интервале 925–950 ‰.

Источником золота в россыпях Джалиндинской системы служит золотое оруденение, приуроченное к эндо- и экзоконтактам интрузивного массива, сложенного гранитоидами буриндинского комплекса раннего мела. Здесь известны Кировское и Соловьевское золоторудные месторождения и более десятка проявлений. Из месторождений добыто около 15 т золота. Золотое оруденение представлено сотнями золотоносных кварцевых и сульфидно-кварцевых жил, прожилков и жильно-прожилковых зон. Они образуют крупный площадной штокверк размером 15 × 20 км. Рудные тела сложены кварцем, карбонатами, серицитом и сульфидами, количество которых меняется от 1–5 до 10–15 %. Среди рудных минералов преобладают сфалерит, галенит, халькопирит и висмутин. Реже встречаются буланжерит, молибденит, шеелит и самородный висмут. Золото от мелкого и тонкого, 864–850 пробы, до средней крупности и крупного высокой пробы (924–953 ‰).

Моготский РРУ занимает площадь одноименного горстового поднятия на южной окраине Сибирского кратона. Поднятие сложено гнейсами и кристаллосланцами раннего архея, интенсивно метаморфизованными и интрудированными гранитоидами древнестанового комплекса позднего архея. Мезозойский этап тектоно-магматической активизации поднятия привел к внедрению крупных гранодиорит-гранитовых интрузий джалонского магматического комплекса поздней юры, а также серии даек пестрого состава.

Здесь сосредоточено 79 промышленных россыпей золота, из которых на 01.01.2024 добыто 138,5 т золота. Моготская россыпная система занимает водораздел между приустьевыми частями рек Унаха и Гилюй на северном отроге хр. Тукурингра [2]. Значительная часть россыпей сосредоточена в долинах рек, являющихся правыми притоками р. Унаха (Иликан, Ульдегит, Ванга), а также в долине р. Большие Дамбуки и притоков. Наиболее богатые россыпи располагаются в пределах крупных массивов гранитоидов позднеюрского возраста – Джалонского и Худачинского. Из них извлечено 73,62 т золота, что составляет более 50 % от всей добычи из россыпей Моготской системы.

Золото в россыпях от мелкого до крупного, встречаются самородки весом до 200 г. Средняя проба золота в отдельных россыпях колеблется от 800 до почти 1000 ‰, наиболее часто встречается высокопробное золото с интервалом пробы 900–950 ‰. Среди микропримесей преобладают железо, медь, сурьма и свинец. Форма золотин преобладающая пластинчатая, комковидная, иногда чешуйчатая, проволочковидная и дендритовидная. Часто встречается золото со сростками или включениями кварца, иногда с пленками гидроксидов железа. Сопутствующие минералы представлены магнетитом, ильменитом, гранатом, нередко отмечается сперрилит.

На водоразделе рр. Унаха и Гилюй в обрамлении гранитных массивов находится около двух десятков проявлений рудного золота. Преобладают кварцевые жилы и зоны прожилкования золото-кварцевой формации. Содержание сульфидов в рудах не превышает 1–5 %, они представлены пиритом, арсенопиритом, галенитом и халькопиритом. Золото свободное, преимущественно мелкое, крючковатой, дендритовидной, иногда октаэдрической формы; проба его высокая и меняется от 910,7 ‰ (проявление Таежка) до 988 ‰ (проявление Подгорное). Добыча

рудного золота в количестве 107 кг производилась в 1896–1900 гг. из руд проявления Уганского с содержанием золота в руде до 100 г/т.

Проявление Прижимное нетрадиционного типа находится в низовьях р. Ульдегит. В отвалах россыпи, по устному сообщению геолога прииска Дамбуки, встречались многочисленные обломки неизмененных гранитов с видимым золотом. Из 30 кг обломков после дробления и промывки было извлечено 117 г золота. Для заверки этого сообщения аспирантом АмурКНИИ В. Н. Хряпенко были отобраны 12 штуфных проб из неизмененных пегматоидных гранитов [3]. Содержание золота, по данным пробирного анализа, от 0,7 до 6,5 г/т, среднее – 2 г/т. В протолочных пробах обнаружены знаки золота, иногда в сростках с пиритом и галенитом. Золото мелкое (0,1–0,3 мм), комковидной, кристаллической и грубопластинчатой формы, проба его, по данным атомно-абсорбционного анализа, – 930 ‰.

Соловьевский и Моготский рудно-россыпные узлы являются одними из наиболее продуктивных в Приамурской провинции. Из них в общей сложности добыто около 330 т золота, что составляет более 30 % всего золота провинции. Но доля рудного золота крайне мала (около 5 %). Это свидетельствует о вероятном наличии не выявленных дополнительных источников формирования россыпей.

Аналогами золотого оруденения в пределах Соловьевского и Моготского РРУ могут быть крупные и уникальные золоторудные месторождения провинции Цзяодун Китая, расположенной на юго-восточной окраине Китайского кратона [4]. Золоторудные месторождения провинции располагаются в сходной геолого-структурной позиции с месторождениями Приамурья и приурочены к гранодиорит-гранитовым интрузиям линглонгского комплекса с возрастом 150–160 млн лет (поздняя юра). Выделяются два типа золотой минерализации: прожилково-вкрапленный штокверковый (тип Цзяоцзя) и жильно-прожилковый (тип Линглонг). Представителем первого типа является золоторудное месторождение Саншандао, второго типа – Линглонг.

Месторождение Саншандао расположено в пределах одноименного гранодиоритового массива позднеюрского возраста, прорывающего гнейсы и мигматизированные амфиболиты архея. Оно представлено крупномасштабным штокверком сильно трещиноватых и слабо измененных гранодиоритов с рассеянным самородным золотом [5]. Золото встречается в виде вкрапленности в гранитах, реже в кварцевых прожилках, проба его находится в пределах 729–961 ‰. Золото ассоциирует с пиритом, галенитом, халькопиритом, арсенопиритом и сфалеритом. На месторождении Линглонг золоторудная минерализация расположена главным образом в кварцевых жилах и жильно-прожилковых зонах. Минеральный состав рудных минералов – пирит с незначительным количеством халькопирита, галенита, сфалерита и золота. Предполагается, что на площади Соловьевского РРУ могут быть выявлены новые крупные объекты, аналогичные месторождению Линглонг, а в пределах гранитных массивов Моготского РРУ – аналогичные месторождению Саншандао.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов В. А., Мельников А. В. Геолого-структурная позиция и источники формирования Джалиндинской уникальной россыпной системы Приамурской золотоносной провинции // Разведка и охрана недр. – 2024. – № 3. – С. 47–53.
2. Степанов В. А., Мельников А. В. Золотоносность интрузий Джалонского гранит-гранодиоритового комплекса поздней юры в Моготском РРУ Приамурской провинции // Вестник АмГУ. – 2024. – Вып. 107. – С. 94–101.
3. Хряпенко В. Н. Благороднометальная минерализация пегматоидных гранитов участка «Прижимный» (Дамбукинский золотоносный узел, Амурская область) // Молодежь XXI века: шаг в будущее. Т. 4. – Благовещенск : Изд-во «Зея», 2004. – С. 102–103.
4. Groves D. I., Santosh M. The giant Jiaodong gold province: the key to a unified model for orogenic gold deposits? // Geoscience Frontiers. – 2016. – V. 7. – P. 409–417.
5. Hong-Wei Peng, Hong-Rui Fan, Xuan Liu, Bo-Jie Wen, Yong-Wen Zhang and Kai Feng. New insights into the control of visible gold fineness and deposition: A case study of the Sanshandao gold deposit, Jiaodong, China // American Mineralogist. – 2021. – V. 106. – P. 135–149.

Сурин Т. Н. (Timofey_Surin@karpinskyinstitute.ru)
ФГБУ «Институт Карпинского», г. Санкт-Петербург

КОЛЧЕДАНОНОСНАЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (УРАЛЬСКИЙ ТИП): ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУДООБРАЗОВАНИЯ И ИСТОЧНИКИ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА

Сформулировано понятие о колчеданоносной рудно-магматической системе. Охарактеризованы основные особенности состава руд колчеданных месторождений уральского типа. Сделан вывод о реализации комбинированной конвективно-постмагматической модели образования колчеданных руд, которая позволяет сформулировать набор поисковых признаков для выделения новых перспективных площадей. Рассмотрены возможные источники основных компонентов колчеданных руд (железо, медь, цинк, сера).

Ключевые слова: колчеданоносная рудно-магматическая система, уральский тип, рудообразование, конвективно-постмагматическая модель, баланс вещества, источники рудного вещества.

Колчеданоносная рудно-магматическая система понимается нами как совокупность процессов формирования рудоносных магм, вулканитов и связанных с ними колчеданных руд и метасоматитов. Результатом действия пространственно совмещенных взаимосвязанных процессов магматизма, осадконакопления, метасоматизма и рудообразования является формирование структурно-вещественной ассоциации, включающей рудоносные магматические породы, околорудные метасоматиты, рудоносные осадки и руды [3].

Модель развития и эволюции указанной системы разработана нами на примере Учалино-Александринской зоны, являющейся крупнейшей колчеданоносной структурой Южного Урала. В ней известно 12 месторождений и несколько сот проявлений колчеданных руд. Она представляет собой вытянутую в субмеридиональном направлении почти на 150 км вулканогенную структуру, расположенную в северной части Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги. Большинство месторождений зоны являются классическими представителями слабодеформированных рудных объектов уральского типа, что позволяет рассматривать их в качестве эталонных для реконструкции колчеданоносной рудно-магматической системы уральского типа.

Анализ основных факторов и параметров образования месторождений и синтез имеющихся данных привел нас к выводу о реализации комбинированной конвективно-постмагматической модели образования колчеданных руд (см. рисунок). Суть ее заключается в том, что в процессе рудообразования одновременно участвуют два сопряженных механизма: конвективная приповерхностная ячейка рециркуляции морских вод и находящийся в центре ее на небольшой глубине активно действующий и продуцирующий гидротермальные растворы периферический магматический очаг. Одновременная реализация конвективного и гидротермально-постмагматического рудообразующих механизмов, по-видимому, является причиной уникальной геохимической специализации колчеданных месторождений уральского типа, то есть одновременной обогащенности их железом, серой, медью и цинком по сравнению с колчеданоносными объектами других типов.

Для конвективной палеосистемы Верхнеуральского рудного района нами выполнен расчет миграции и баланса вещества [4], что позволяет в первом приближении определить основные источники рудных компонентов.

Медь выщелачивается из вулканитов основного состава в процессе их альбитизации («спилитизации») и пропилитизации. Разность между выносимым количеством и переотложенным в околорудных метасоматитах соизмерима с запасами меди в месторождениях.

Цинк также выносится из вулканитов основного состава при их «спилитизации» и пропилитизации. Но по расчетам получается, что количества выносимого цинка недостаточно для обеспечения его запасов в рудах. Вторым, не менее важным источником цинка является магматический очаг в земной коре. По расчетам Л. Н. Овчиннкова, при кристаллизации 1 км^3 кислого расплава из него выносится 400 тыс. т цинка [2]. Если допустить, что объем Александровского риолитового купола, перекрывающего Узельгинское месторождение, по ориентировочным

подсчетам составляющий 2,5 км^3, примерно равен объему периферического очага, из которого он был выжат после формирования рудных залежей, то из такого очага должно быть вынесено гидротермами 1,0 млн т цинка. Это соизмеримо с разницей между запасами цинка в рудах и его количеством, вынесенном при «спилитизации» и пропилитизации основных пород.

Железо заимствуется из нескольких источников. Оно выносится из зоны пропилитизации вулканитов основного состава и выщелачивается из околорудных метасоматитов. Еще одним источником могут быть базальтовые гиалокластиты, из которых железо экстрагируется при их палагонитизации, как это установлено А. Г. Злотник-Хоткевичем. Гетерогенностью источников железа объясняется его высокое содержание в рудах (более 40 %). Вывод В. И. Смирнова о местном источнике железа при колчеданном рудообразовании подтверждается нашими расчетами.

Изотопный состав серы детально изучен практически на всех месторождениях Учалино-Александринской зоны. Он весьма близок к среднему составу серы месторождений уральского типа ($\delta_{34}S$ = +2,4 ‰), за исключением Александринского месторождения (тип «куроко»), более близкого к мантийному стандарту [5]. Для месторождений, ассоциирующихся с кремнекислыми экструзивами, в том числе уральского типа, ведущим источником серы является магматический сероводород, выделяющийся при дегазации кислых магм [1].

В. И. Смирновым источники рудного вещества разделялись на три группы: 1) ювенильную, подкоровую, связанную с базальтовой магмой, 2) ассимиляционную, связанную с гранитной магмой и 3) внемагматическую инфильтрационную, связанную с выведением вещества химически активными растворами из различных частей земной коры, включая и самые верхние. Как можно видеть из вышесказанного, все три группы источников рудного вещества участвовали в формировании месторождений. В свете сказанного, становится понятным тот факт, что руды месторождений обычно соответствуют по некоторым характеристикам глобальным геохимическим особенностям блоков земной коры, в пределах которых они образуются.

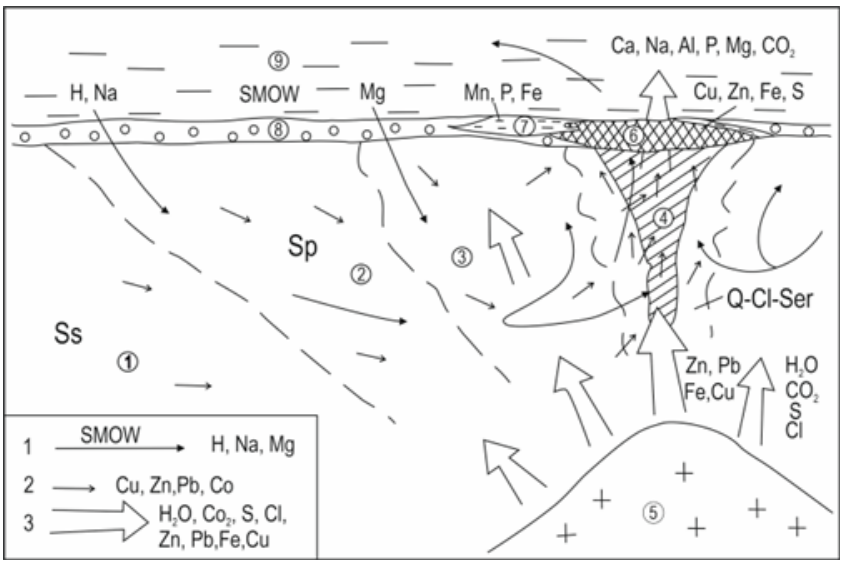


Рисунок. Конвективно-постмагматическая модель колчеданного рудообразования (принципиальная схема):

1 – направления рециркуляции морской воды (SMOW); 2 – направления миграции халькофильных элементов; 3 – направления движения постмагматических рудообразующих гидротермальных растворов, выделившихся при дегазации приповерхностного очага кислых магм; цифрами в кружках обозначены: 1–4 – метасоматические зоны (с соответствующими буквенными индексами): 1 – зона слабоизмененных пород («соссюритовая») (Ss), 2 – зона выноса кальция («спилитизации») (Sp), 3 – зона пропилитов (P), 4 – зона околорудных кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов (Q-Cl-Ser); 5 – приповерхностный очаг кислых магм; 6 – массивные колчеданные руды; 7 – марганцево-железистые осадки; 8 – вулканогенно-осадочные и туфогенно-осадочные породы; 9 – морская вода (SMOW)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Злотник-Хоткевич А. Г. Условия формирования руд колчеданных месторождений в вулканогенных геосинклиналях: автореферат дис. на соискание ученой степени доктора геол.-минерал. наук. – М. : ЦНИГРИ, 1986. – 47 с.
2. Овчинников Л. Н. Образование рудных месторождений. – М. : Недра, 1988. – 255 с.
3. Сурин Т. Н. Колчеданоносная рудно-магматическая система уральского типа: определение, геодинамические условия формирования и эволюция (Учалино-Александринская зона, Восточно-Магнитогорская палеоостровная дуга, Южный Урал) // Палеогеографические и геодинамические условия образования вулканогенно-осадочных месторождений. – Миасс : ИМин УрО РАН, 1997. – С. 178–179.
4. Сурин Т. Н. Метасоматоз и колчеданное рудообразование (Верхнеуральский рудный район). – Екатеринбург : Наука, 1993. – 104 с.
5. Тесалина С. Г., Масленников В. В., Сурин Т. Н. Александринское медно-цинково-колчеданное месторождение (Восточно-Магнитогорская палеоостровная дуга, Урал). – Миасс : ИМин УрО РАН, 1998. – 228 с.

Сухарев А. Е.[1] (sukharev@geo.komisc.ru), Силаев В. И.[1] (silaev@geo.komisc.ru),
Карпов Г. А.[2] (karpovga@kscnet.ru), Аникин Л. П.[2] (alp@kscnet.ru),
Хазов А. Ф.[1] (khazov@geo.komisc.ru)
[1] Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар;
[2] Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

НОВЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТИП МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ

Приводятся результаты исследований продуктов извержения одиннадцати современных вулканов: пяти камчатских (Толбачик, Ключевской, Корякский, Безымянный, Шивелуч), двух курильских (Алаид, Эбеко) и четырех из других регионов Земли (Этна, Эребус, Кумбре-Вьяхо, Мерапи).

Ключевые слова: Камчатка, внемантийные алмазы, Трещинное, Толбачинское извержение.

Проведены комплексные петро-минералого-геохимические исследования продуктов извержения одиннадцати современных вулканов: пяти камчатских (Толбачик, Ключевской, Корякский, Безымянный, Шивелуч – Срединно-Камчатский вулканический пояс и Центрально-Камчатская депрессия-рифт), двух курильских (Алаид, Эбеко) и четырех из других регионов Земли (Этна, Эребус, Кумбре-Вьяхо, Мерапи). По геодинамическому типу вулканы относятся к надсубдукционным, спрединговым (OIB) и плюмовым; по типу извержений – к гавайским, стромболианским, плинианским, пелейским, исландским, фреатомагматическим и экструзивным. По петрохимическим и геохимическим свойствам исследованные продукты извержений подразделяются на четыре группы.

В *первую* группу входят камчатские вулканы **Толбачик, Ключевской** и курильский вулкан **Алаид**, в эксплозивных продуктах которых выявлены алмазы. Это вулканы надсубдукционного геодинамического типа с извержениями гавайского, стромболианского, изредка плинианского типа. Состав вулканомагматитов варьируется в основном в пределах базальты-трахибазальты-андезибазальты-трахиандезибазальты. Для лав характерна значительная везикулярность, обусловленная газонасыщенностью расплавов. Ассоциация микроэлементов геохимически слабо-умеренно дифференцированная, что типично для подкоровых магматитов. По изотопному составу стронция и неодима отвечают литосферной мантии. Ко *второй* группе отнесены вулканы того же надсубдукционного типа – **Корякский** на Камчатке и **Эбеко** на Курильской гряде, но характеризующиеся фреатическими и фреато-магматическими алмазосодержащими продуктами извержения *Третью* группу составляют лавы и пеплы с вулканов **Безымянный** и **Шивелуч**. По геодинамической позиции эти вулканы тоже отнесены к надсубдукционному

типу, по типу извержения они плинианские, частично пелейские. Продукты их извержений заметно кислее, варьируясь от андезитов и трахиандезитов до дацитов. Обнаруживают несколько большую степень геохимической дифференциации, и, следовательно, по источникам вещества могут быть менее глубинными, чем продукты извержения вулканов первой группы. Алмазы на этих вулканах не обнаружены. В *четвертую* группу мы включили исследованные нами продукты извержений четырех зарубежных вулканов. Пеплы надсубдукционного вулкана Мерапи по химическому составу, микроэлементам и обогащенности углеродным веществом близки к камчатским вулканам первой группы. Тефра плюмового вулкана Кумбре-Вьяхо колеблется по составу от щелочных пикробазальтов до щелочных базальтов, характеризуясь геохимически слабо дифференцированной ассоциацией микроэлементов. Тефра катастрофического извержения спредингового (OIB) вулкана Этна варьируется от пикробазальтов до трахибазальтов и трахиандезибазальтов. В продуктах извержений этих вулканов выявлено неалмазное углеродное вещество.

В исследованных образцах эффузивной и эксплозивной фаций алмазопродуктивных камчатских вулканитов обнаружены и исследованы около 170 минеральных видов и разновидностей, представляющих практически все типы в современной кристаллохимической классификации. Соответствующие расчеты показали, что исследованные нами вулканиты характеризуются весьма необычной пропорцией между кристаллохимическими типами минералов: в них простые вещества (самородные элементы, карбиды, силициды, нитриды) сильно преобладают над кислородными соединениями (оксиды, силикаты, кислородные соли); наблюдается повышенное содержание халькогенидов и галогенидов; регистрируется аномальное превышение кислородных солей над силикатами. Очевидно, что выявленная аномалия минеральной организации камчатских вулканитов обусловлена низкой степенью минералого-геохимической дифференцированности исходного вещества, что типично для земных мантийных субстратов и множества неземных космических объектов. Наиболее аномальной по степени обогащения металлами и простыми веществами является именно эксплозивная фация, с которой и связана алмазоносность. Обобщение результатов кристалломорфологических, спектроскопических, минералого- и изотопно-геохимических исследований привело к выводу о том, что алмазы в вулканических эксплозиях по своим морфологическим (рис. 1) и минералого-геохимическим свойствам практически тождественны, но при этом принципиально отличаются от кимберлитовых алмазов отсутствием спектроскопических признаков мантийного отжига (рис. 2). Нахождение охарактеризованных алмазов в рыхлых эксплозивных продуктах извержений вулканов в явной связи с вулканическими минералами приводит к выводу о том, что они являются результатом шок-стимулированной кристаллизации непосредственно в вулканическом пеплогазовом облаке вследствие атмосферных электрических разрядов. На этом основании такого рода алмазы могут быть отнесены к внемантийному *вулкано-атмоэлектрогенному* генетическому типу. По *PT*-параметрам кристаллизации алмазы вулкано-атмоэлектрогенного типа отвечают области сосуществования метастабильного алмаза и стабильного графита (P = 2–3 ГПа, T = 900–1000 °C), сближаясь с CVD-алмазами, образующимися в результате химического осаждения из газовой фазы. Важной особенностью камчатского феномена является тесная парагенетическая ассоциация алмаза с множеством неалмазных кристаллических и некристаллических углеродных фаз: графита, диуглеродных глобул, шунгитоподобной фазы, металлоуглеродных композитов, фуллеритов и графеновых нанотрубок, абиогенных конденсированных органоидов. Обобщение изотопных данных по углероду в вулканогенных газах, вулканитах, углеродных минералах и фазах, включая алмазы и конденсированные органоиды, приводит к выводу о тождественности в них изотопного состава углерода, колеблющегося в сравнительно узком «мантийном» диапазоне $\delta^{13}C$ -33…-20 ‰. Из этого следует, что первоисточником углерода в вулканитах и вулканогенных минералах и фазах могли служить мантийные углеводороды состава C_1–C_4, следы которых выявлены в вулканитах в составе литогенных газовых микровключений.

На основе результатов проведенных исследований уже в настоящее время можно констатировать обнаружение в России ранее неизвестной **Камчатской** провинции внемантийной алмазоносности.

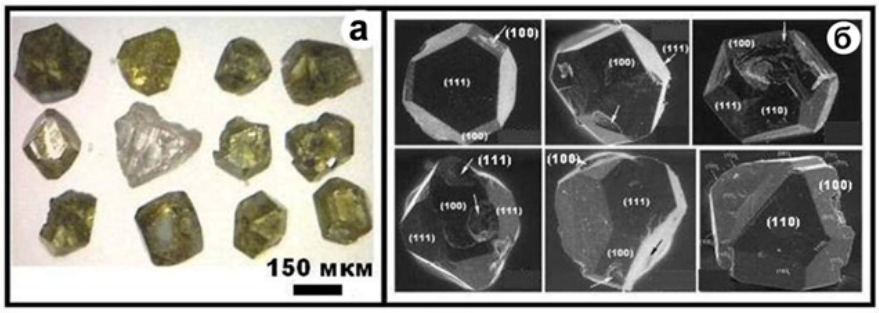


Рис. 1. Внешний вид толбачинских алмазов (а) и их кристалломорфология на СЭМ-изображениях в режиме вторичных электронов (б)

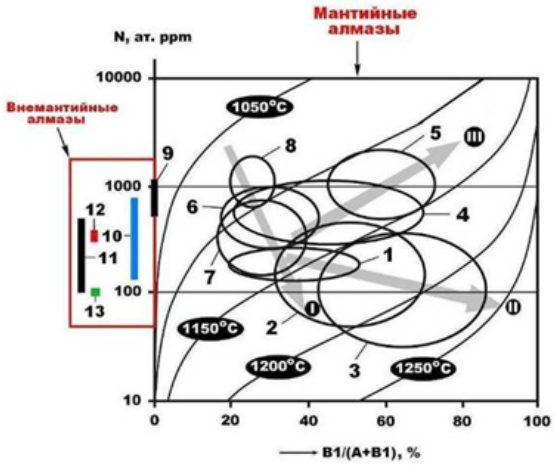


Рис. 2. Генеральная диаграмма азотных дефектов в природных алмазах, отражающая корреляцию степени агрегации в них азотных структурных дефектов с температурой посткристаллизационного отжига:
алмазы, претерпевшие мантийный отжиг: 1 – кимберлитовые, Южная Африка (l); 2, 3 – бразильские монокристальные и микрополикристаллические (карбонадо) из провинций соответственно Минас-Жерайс (2) и Жуина (3); 4, 5 – туффизитовые, соответственно тиманские (4) и североуральские (5); 6 – кимберлитовые, Восточная Сибирь (Якутия); 7 – кимберлитовые, Украина; 8 – кимберлитовые, Архангельская провинция. Алмазы без признаков мантийного отжига: 9 – надсубдукционные из Кумдыкольского месторождения, Северный Казахстан; 10 – камчатские вулкано-атмоэлектрогенные; 11 – из хромититов офиолитового массива Луобуза, Ю. Тибет; 12 – туффизитовые с Енисейского кряжа; 13 – камчатские эксплозивно-туффизитовые

Тарасенко А. А. (andtarasenk0@yandex.ru)
АО Северо-Восточное производственное геологическое объединение,
ОСП «Чукотская группа партии», г. Анадырь

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ СКЛАДЧАТОСТЬ ГРЕМУЧИНСКОЙ ПЛОЩАДИ И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ РУДОНОСНЫХ ЗОН УПРЯМОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ

Рассмотрены особенности строения Упрямого золоторудного поля. Уделено внимание интерференционной складчатости в пределах Гремучинской площади и ее роли в формировании перспективных рудоносных зон Упрямого золоторудного поля.

Ключевые слова: золото, Упрямое золоторудное поле, рудоносная зона, интерференционная складчатость, пликативные деформации, Жильная, Слепая, Слепая-2, Тектоническая, Милонитовая, Минерализованная.

Упрямое золоторудное поле (12,1 км^2) расположено в пределах Гремучинского золоторудного узла Нетпнейвеемской вольфрамово-золоторудной рудоносной зоны Пельвунтыконейской олово-вольфрамово-золоторудной минерагенической области Чукотской минерагенической провинции [1].

В структурном плане рудное поле приурочено к Перистой антиклинали, осложняющей строение Коневаамского синклинория Раучуанской складчатой зоны [1]. С севера и юга ограничено разрывными нарушениями близширотной ориентировки (Гремучинская система разрывных нарушений), а на западе и востоке – разломами близмеридионального и северо-восточного направления.

Площадь Упрямого золоторудного поля сложена отложениями нетпнейвеемской (J_3–K_1) и погынденской (K_1) свит. Литолого-петрографический состав отложений представлен терригенными осадочными и туфогенно-осадочными образованиями, прорванными редкими дайками микродиоритов ичувеемского гипабиссального комплекса (K_2). Вторичные изменения пород представлены карбонатизацией и серицитизацией.

В 2021–2024 гг. в пределах Упрямого рудного поля выполнен комплекс поисковых работ, включавших проходку канав и колонковое бурение; выявлены золотоносные минерализованные зоны и рудные тела с промышленным золото-кварцевым оруденением.

По результатам проведенных работ установлено, что основные рудоносные зоны – Милонитовая, Тектоническая, Минерализованная, Слепая, Слепая-2, Жильная – приурочены к двум типам рудовмещающих структур. К первому отнесены складки, в которые смяты отложения позднеюрско-раннемелового возраста и заключенные в них «седловидные» золотоносные жильно-прожилковые образования. С данными структурами связаны рудоносные зоны Жильная, Слепая, Слепая-2. Рудные тела в структурах первого типа приурочены к жильно-прожилковым образованиям карбонат-кварцевого и сульфидно-карбонат-кварцевого состава. Они имеют протяженность до первых сотен метров, а их мощность варьирует от 2,4 до 2,9 м. Распределение золотого оруденения крайне неравномерное, прерывистое. Сульфидная минерализация (1–3 %) представлена пиритом, арсенопиритом, реже отмечается сфалерит, галенит, халькопирит, блеклые руды, бурнонит, самородное золото. Оруденение отнесено к малосульфидному золото-кварцевому формационному типу.

Ко второму типу рудовмещающих структур относятся зоны надвигов, к которым приурочены рудоносные зоны Милонитовая, Тектоническая, Минерализованная в узлах пересечения с золотоносными жильно-прожилковыми образованиями седловидной формы. Рудные тела в зонах милонитов с интенсивно тектонизированным жильно-прожилковым гидротермальным материалом и минерализованные зоны дробления имеют протяженность первые сотни метров, реже около 1 км, а их мощность варьирует от 1,7 до 7,9 м.

По результатам проведенных работ установлено, что в пределах Гремучинской площади и на смежных территориях выделяется не менее пяти этапов пликативных деформаций.

1. Пликативные деформации первой генерации и наиболее древней в исследуемом районе привели к формированию складок с северо-западной ориентировкой осей. По масштабу проявленности данный тип деформации распространен далеко за пределы Гремучинской площади и охватывает Раучуанскую складчатую зону. Рудоносные зоны Упрямого золоторудного поля – Жильная, Слепая, Слепая-2, представленные золотоносными жильно-прожилковыми образованиями, – в ходе данного этапа деформации приобрели седловидную морфологию и ориентировку, согласную генеральному простиранию структур.

2. Пликативные деформации второй генерации привели к формированию складок с близмеридиональной ориентировкой осей. В отличие от первой генерации складчатости, охватившей обширную площадь, вторая проявилась локально, в пределах центральной части Гремучинской площади, где она выразилась в формировании мелких складчатых структур в пределах Упрямого золоторудного поля. По отношению к пликативным структурам первой генерации складчатые образования второй занимают секущее положение, что указывает на их более поздний этап формирования. Наложение складок второго поколения на ранние пликативные структуры привело к усложнению южного фланга рудоносных зон Жильная, Слепая, Слепая-2. В результате интенсивных сжимающих напряжений и последующего разрыва сплошности пород в

процессе формирования пликативных структур второй генерации произошло заложение серии надвигов на юге рудного поля. В частности к ним приурочена рудоносная зона Тектоническая.

3. Пликативные деформации третьей генерации (северо-восточная ориентировка осей складок) охватили центральную и восточную части Гремучинской площади, но по масштабу проявления имели большее значение. Деформации этого этапа выразились в формировании мелких складчатых структур и надвигов, имеющих северо-восточную ориентировку.

Наложение поздних складчатых структур третьей генерации северо-восточной ориентировки на ранние первой генерации северо-западного направления привело к деформациям первичных пликативных структур. Произошло усложнение северного фланга рудоносной зоны Жильная и формирование в зоне надвига рудоносной зоны Милонитовая.

4. С пликативными деформациями четвертой генерации (близширотная ориентировка осей складок) связано формирование складчатых структур в восточной части Гремучинской площади, а также территории к северу и востоку от нее, а также Гремучинской системы разрывных нарушений. Мелкие структуры четвертой генерации складчатости развиты в северо-восточном крыле Перистой антиклинали, в значительное мере осложняя его. Складчатые структуры в виде мелких анти-синформ в первые сотни метров отчетливо распознаются на космоснимках в отложениях погынденской свиты. По данным дистанционного зондирования они фиксируются и к северу от Гремучинской площади, где в бассейне р. Ромоваам наложены на более ранние пликативные структуры, относящиеся к первой генерации, меняя направление их осей с первоначального северо-западного на близширотное направление, придавая дугообразный облик.

5. Пликативные деформации пятой генерации (близмеридиональной ориентировки) имеют локальное распространение. Они проявились в искривлении осей складок четвертого поколения, что наиболее отчетливо наблюдается на космоснимках территории в междуречье рр. Гремучая–Куклянка–Норка.

Заключение. По результатам комплексного дешифрирования космических снимков и уточнения по результатам горных и буровых работ литологических и структурно-тектонических элементов геологического строения Упрямого рудного поля и сопредельных территорий Гремучинской площади установлено пять этапов пликативных деформаций, каждый из которых в значительной мере усложнил строение территории. Наибольшее влияние на формирование основных рудоносных зон Упрямого золоторудного поля оказали первые три этапа. Первый этап определил морфологию и северо-западную ориентировку рудоносных зон Жильная, Слепая, Слепая-2. Проявившаяся вследствие второго и третьего этапов пликативных деформаций интерференционная складчатость в пределах Упрямого золоторудного поля сформировала несколько систем более поздних «золотоносных» надвигов, к которым приурочены три рудоносные зоны: Милонитовая, Тектоническая, Минерализованная.

Повышенная золотоносность разрывных структур обусловлена захватом, дроблением и «растаскиванием» вдоль плоскостей сместителей при формирования надвиговых зон гидротермального материала, сформированного на более ранних стадиях. Причем обращает на себя внимание то, что надвиги и складки вдоль них ориентированы вкрест золотоносным седловидным жильно-прожилковым зонам, тогда как последние вытянуты в северо-западном направлении, согласно генеральному простиранию структур Раучуанской складчатой зоны. За счет данного механизма надвиговые структуры на южном фланге Упрямого золоторудного поля обладают промышленной золотоносностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Анюйско-Чаунская, лист R-59-XXXI, XXXII. Объяснительная записка / Баранов М. А., Журавлев Г. Ф., Казьмин С. С., Малахов В. А., Шебеста Я. А. – М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2016. – 43 с.
2. Паталаха Е. И., Слепых Ю. Ф. Пересекающаяся складчатость. – М. : Недра, 1974. – 22 с.

Тарасов А. С. (tarasov@tsnigri.ru), Захаров А. П. (azakharov@tsnigri.ru), Карпухина М. В. (dar.karpukhina@yandex.ru), Рогизный В. Ф. (rogizny@tsnigri.ru), Толкушкина Е. А. (tolkushkina@tsnigri.ru), Тучина М. В. (tuchina@tsnigri.ru), Витковская Л. И. (vitkovskaya@tsnigri.ru), Родкин М. С. (rodkin@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ИТОГИ АПРОБАЦИИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ (ЗОЛОТО, СЕРЕБРО, МПГ) И ЦВЕТНЫХ (НИКЕЛЬ, МЕДЬ, СВИНЕЦ, ЦИНК) МЕТАЛЛОВ В 2024 г. И АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МСБ ЗА ПЕРИОД 2014–2024 гг.

Показаны результаты апробации прогнозных ресурсов алмазов, благородных (золото, серебро, металлы платиновой группы) и цветных (никель, медь, свинец, цинк) металлов по объектам, представленным в ЦНИГРИ в 2024 г., и дана общая оценка по состоянию на 01.01.2025.

Ключевые слова: прогнозные ресурсы, категория оценки, фонд недр, благородные и цветные металлы, укрупненная геолого-экономическая оценка, уровень вовлеченности.

По результатам апробации, проведенной ФГБУ «ЦНИГРИ» в 2024 г., выполнен анализ количественного изменения состояния прогнозных ресурсов (ПР) алмазов, благородных (золото, серебро, металлы платиновой группы) и цветных (медь, свинец, цинк, никель, кобальт) металлов (АБЦМ), их территориального размещения, распределения по геолого-промышленным типам, вовлеченности в геологоразведочные работы.

В 2024 году изменения произошли по всем видам изучаемых в ЦНИГРИ твердых полезных ископаемых (ТПИ), кроме металлов платиновой группы (МПГ). Изменения по апробированным ПР АБЦМ отмечены по 245 объектам учета, в том числе на 148 объектах – по результатам завершенных геологоразведочных работ (ГРР). В нераспределенном фонде недр изменения произошли по 213 объектам, в распределенном – по 32 объектам.

Из поступивших на апробацию материалов по оценке ПР значительная часть подверглась корректировке. Корректировка и отклонение ПР по поступившим объектам были связаны с недостаточной полнотой предоставленных материалов, качественными недостатками проведенных ГРР, а также методическими ошибками в авторских оценках, среди которых имели место:

– ошибки категоризации ПР и их кондиционной принадлежности;

– интерпретационные ошибки геологических особенностей локализации полезного ископаемого, включающие в себя неудачный выбор прогнозно-поисковой модели, геолого-промышленного типа, металлогенического таксона-аналога;

– ошибки количественной оценки ПР;

– ошибки определения оценочных параметров (кондиций) и геолого-экономической оценки по укрупненным показателям.

В процессе рассмотрения материалов, в том числе и по включению в перечень участков недр, предлагаемых для предоставления в пользование, выполнена апробация ПР с авторскими оценками, которые не отвечали современным требованиям промышленности и были приняты к внутреннему учету ФГБУ «ЦНИГРИ». К внутреннему учету было принято 43 объекта.

По результатам количественных изменений прогнозных ресурсов по каждому из 9 видов ТПИ за указанный период можно сделать следующие выводы:

- количество ПР кат. P_3 (в целом по РФ) возросло по никелю, кобальту, свинцу и цинку и сократилось по алмазам, золоту рудному, серебру и меди;
- ресурсы категории P_2 увеличились по золоту россыпному, серебру, цинку и сократились по золоту рудному, меди и свинцу;
- ресурсы категории P_1 увеличились по золоту рудному, золоту россыпному, серебру, никелю, кобальту, свинцу и сократились по меди и цинку;
- прогнозные ресурсы МПГ остались без изменений.

Анализ распределения прогнозных ресурсов АБЦМ по категориям учета, их изменения за анализируемый период и уровня вовлеченности в ГРР показывает:

1. Наибольшей вовлеченностью в ГРР традиционно характеризуется рудное золото. Изменения за рассматриваемый период имели место на 123 объектах в пяти федеральных округах

России: Северо-Кавказском (13 объектов), Поволжском (3 объекта), Уральском (21 объект), Сибирском (19 объектов) и Дальневосточном (67 объектов).

В целом по России за отчетный период ПР рудного золота:

– сократились по категории P_3 на 446,8 т, составив 25 201,125 т;

– сократились по категории P_2 на 25,55 т – с 11 546,9797 т до 11 521,4282 т;

– увеличились по категории P_1 на 120,14 т – с 5991,476 т до 6111,6136 т.

2. По россыпному золоту изменения произошли по 5 объектам учета в Сибирском (1 объект) и Дальневосточном федеральных округах.

В целом по России за 2024 год прирост ПР россыпного золота составил 0,224 т по категории P_2 и 0,9 т по категории P_1. По категории P_3 прогнозные ресурсы не изменились.

3. По серебру изменения произошли по 47 объектам учета, в том числе по федеральным округам: Северо-Кавказскому (5 объектов), Приволжскому (2 объекта), Сибирскому (10 объектов), Дальневосточному (30 объектов).

В целом по России ПР серебра:

– сократились по категории P_3 на 9187,0 т – с 100 487,81 т до 91 300,81 т;

– увеличились по категории P_2 на 2052,546 т – с 81 899,75 т до 83 952,30 т;

– увеличились по категории P_1 на 2808,726 т – с 45 775,44 т до 48 584,17 т.

4. По МПГ количество учтенных прогнозных ресурсов не изменилось, оставаясь на уровне:

– по категории P_3 – 405,373 т;

– по категории P_2 – 254,195 т;

– по категории P_1 – 522,631 т.

5. По никелю изменение прогнозных ресурсов отмечено на 2 объектах учета в Сибирском федеральном округе.

Прогнозные ресурсы увеличились:

– по категории P_3 на 1237,7 тыс. т – с 5500 тыс. т до 6737,7 тыс. т;

– по категории P_1 на 17,3 тыс. т – с 2027,4 тыс. т до 2044,7 тыс. т.

По категории P_2 прогнозные ресурсы не изменились, оставаясь на уровне 5669 тыс. т.

6. По кобальту изменения произошли на 1 объекте учета в Сибирском федеральном округе. Таким образом, ПР кобальта в целом по России:

– увеличились по категории P_3 на 1,71 тыс. т – с 1187 тыс. т до 1188,71 тыс. т;

– увеличились по категории P_1 на 13,9162 тыс. т – с 103,47 тыс. т до 117,3862 тыс. т.

По категории P_2 ПР остались без изменений на уровне 147,4 тыс. т.

7. По меди изменения произошли по 12 объектам учета в 4 федеральных округах: Приволжском (3 объекта), Уральском (1 объект); Сибирском (6 объектов); Дальневосточном (2 объекта).

В целом по России прогнозные ресурсы меди сократились по всем категориям учета:

– по категории P_3 – на 1034,9 тыс. т: с 45 374,99 тыс. т до 44 340,09 тыс. т;

– по категории P_2 – на 255,46 тыс. т: с 20 896,26 тыс. т до 20 640,80 тыс. т;

– по категории P_1 – на 430,34 тыс. т: с 11 176,89 тыс. т до 10 746,55 тыс. т.

8. По свинцу изменения произошли по 23 объектам учета в Сибирском (7 объектов) и Дальневосточном (16 объектов) федеральных округах.

В целом по России ПР:

– увеличились по категории P_3 на 131,1 тыс. т – с 18 066,52 тыс. т до 18 197,62 тыс. т;

– сократились по категории P_2 на 1021,4 тыс. т – с 9310,516 тыс. т до 8289,116 тыс. т;

– увеличились по категории P_1 на 939,93 тыс. т – с 4478,802 тыс. т до 5418,732 тыс. т.

9. По цинку изменения произошли по 27 объектам учета в Приволжском (3 объекта), Сибирском (8 объектов) и Дальневосточном (16 объектов) федеральных округах.

В целом по России ПР цинка:

– увеличились по категории P_3 на 3622,36 тыс. т – с 48 666,45 тыс. т до 52 288,81 тыс. т;

– увеличились по категории P_2 на 119,77 тыс. т – с 24 705,99 тыс. т до 24 825,76 тыс. т;

– сократились по категории P_1 на 202,58 тыс. т – с 17 843,07 тыс. т до 17 640,49 тыс. т.

10. По алмазам изменения произошли по 4 объектам учета в Дальневосточном федеральном округе.

Прогнозные ресурсы категории P_3 сократились на 21,72 млн карат и составили 3181,6628 млн карат; по категориям P_2 и P_1 – остались без изменения на уровне 401,9618 и 392,2512 млн карат соответственно.

Тимкин Т. В. (timkin@tpu.ru), Ворошилов В. Г. (v_g_v@tpu.ru),
Мартыненко И. В. (martynenko@tpu.ru), Молукпаева Д. К. (dkm3@tpu.ru)
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск

ЗОЛОТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ СОХАТИНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПРИКОЛЫМСКОЕ ПОДНЯТИЕ, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Исследованы золотоносные коры выветривания золото-сульфидно-кварцевого Сохатиного месторождения. Установлено, что золотоносными являются линейные коры выветривания, приуроченные к тектонически ослабленным зонам, контролирующим эндогенную минерализацию. Пробность гипергенного золота составляет от 788 до 920 ‰ (в среднем – 858 ‰).

Ключевые слова: кора выветривания, гипергенное золото, Приколымское поднятие.

Месторождение Сохатиное в административном отношении располагается на границе республики Саха (Якутия) и Магаданской области, на территории Верхнеколымского улуса, в бассейне реки Шаманиха и ее притока ручья Сохатиный (рис. 1), в пределах которого отрабатывается одноименная россыпь с запасами золота 1461 кг.

В геологическом отношении площадь месторождения находится в пределах Шаманихо-Столбовского рудно-россыпного золотоносного района. В геотектоническом отношении район исследования принадлежит Приколымскому поднятию (террейну) пассивной континентальной окраины. Рудовмещающие породы представлены мусковит-кварцевыми и амфибол-биотит-полевошпатовыми сланцами раннепротерозойского возраста (PR_1sh), подвергшимися интенсивному воздействию гидротермальных процессов пропилит-березитового ряда (см. рис. 1). В тектоническом плане месторождение приурочено к надвиговой зоне, которая состоит из серии пологих сместителей с общим падением на север. К ним приурочены гидротермально-метасоматические образования, вмещающие золоторудную минерализацию в участках сопряжения надвигов с сериями крутопадающих разрывов северо-западного и субширотного простираний [1].

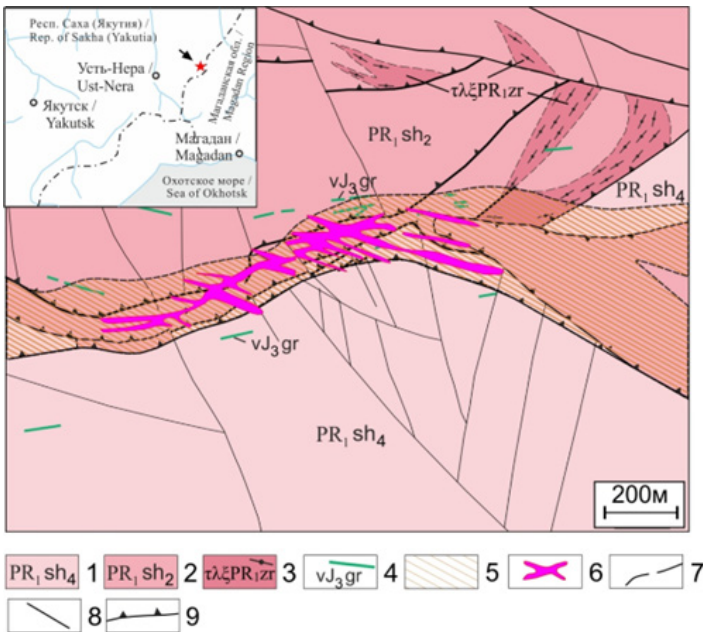


Рис. 1. Схема геологического строения Сохатиного месторождения:
1 – кварц-мусковитовые сланцы (PR_1sh_4); 2 – эпидот-амфибол-полевошпатовые и эпидот-хлорит-полевошпат-кварцевые сланцы (PR_1sh_2); 3 – силлы метатрахириодацит-трахириолит-порфиров ($τλξPR_1zr$); 4 – дайки долеритов ($υJ_3gr$); 5 – области распространения метасоматитов пропилит-березитового типа; 6 – первичный ореол золота (> 0,1 г/т); 7 – геологические границы; 8 – разрывные нарушения; 9 – пологопадающие надвиги

Выделяется два этапа формирования руд: гипогенный, где их образование сопряжено с образованием околорудных березитов, и гипергенный, где происходило их окисление и дезинтеграция. Гипогенная золоторудная минерализация на месторождении Сохатиное представлена жильно-прожилковыми телами кварц-карбонат-сульфидного состава. Рудные минералы представлены сульфидами, сульфосолями, теллуридами и селенидами, содержание которых составляет 5–10 % [3]. Гипергенные процессы проявились в окислении и дезинтеграции первичных руд и в образовании металлоносных кор выветривания [1, 2, 4].

Целью нашего исследования являлась характеристика коры выветривания, ее состава и золотоносности. Для этого были проведены полевые работы с документацией и отбором проб из горных выработок и керна скважин. В рамках камеральной обработки полевых материалов проведены лабораторно-аналитические исследования, которые включали в себя: минералогический анализ, ICP-MS (на 30 элементов), РФА, СЭМ и фазовый анализ серы. Все пробы из коры выветривания были разделены на фракции с помощью мокрого ситового гранулометрического анализа и по удельному весу с помощью тяжелой жидкости (бромоформ) на две: легкую и тяжелую. Далее тяжелая фракция подвергалась магнитной и электромагнитной сепарации с помощью магнита Сочнева.

Образование минералов в гипергенный этап связано с просачиванием вдоль ослабленных зон по трещинам поверхностных вод, обогащенных кислородом. Гипергенные процессы, накладываясь на вмещающие породы и продукты гидротермальной деятельности, преобразуют их с образованием каолинита, монтмориллонита, ярозита, гипса и иллита. На глубину коры выветривания проникают вдоль надвиговых швов и рудовмещающих разрывов на десятки метров. Содержание каолинита в них постепенно снижается от 50–60 % на поверхности до 2–5 % на глубине 40–60 м. Сами швы достаточно маломощные и полного выветривания не наблюдается даже вблизи поверхности. Пирит замещается аморфными агрегатами гидроокислов железа – гетитом и гидрогетитом, в конечном итоге – рыхлым лимонитом. По халькопириту образуется борнит, затем ковелин и халькозин, при максимальной степени выветривания в приповерхностных условиях – малахит и азурит. Более устойчивый галенит в зоне окисления замещается церусситом, сфалерит – смитсонитом. Данные по соотношению сера сульфатная / сера общая в окисленных рудах колеблется в диапазоне 60–95 % до глубины 10 м, 30–70 % в интервале 10–20 м от поверхности и далее быстро снижается. Соответственно, полного окисления сульфидов в коре выветривания не достигается. Четкие структурные горизонты и стандартная зональность в профиле выветривания затушеваны, что, вероятно, обусловлено преимущественным развитием гипергенных процессов вдоль тектонических зон [1].

В коре выветривания, сформированной по зонам первичного оруденения, широким распространением пользуются гемиидиоморфные, идиоморфные и неправильные морфологические типы видимого золота. Золото отмечается как в виде отдельных минеральных агрегатов, так и в срастании с кварцем (рис. 2).

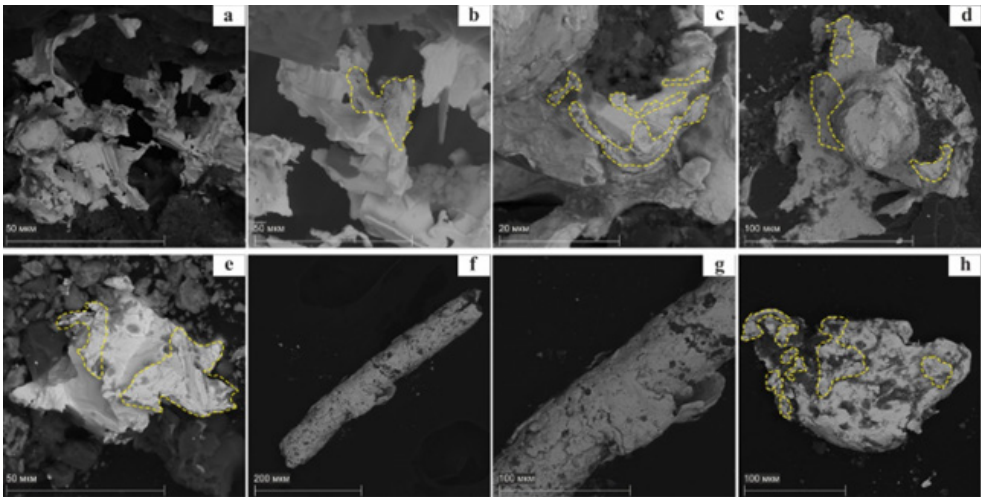


Рис. 2. Морфология золота коры выветривания Сохатиного месторождения (изображения в обратно рассеянных электронах)

Золото в кварце представлено пластинчатыми индивидами и их сростками. Местами отмечаются структуры растворения (см. рис. 2, a), а также образование вторичного дендритовидного (см. рис. 2, b) и пластинчатого (см. рис. 2, c) гипергенного золота в виде нарастания на первичном рудном золоте. В подчиненном количестве было обнаружено изометричное золото с участками разноориентированного ступенчатого рельефа и послойным нарастанием вторичного золота (см. рис. 2, d). Отмечается золото неправильной формы в сростках с золотом слоисто-пластинчатого строения (см. рис. 2, e); проволоковидное (палочковидное) золото (см. рис. 2, f) с послойным пластинчатым нарастанием вторичного гипергенного золота (см. рис. 2, g) и золото комковидного облика (см. рис. 2, h) с послойным пластинчатым нарастанием вторичного золота. Вторичное золото располагается в виде гибких пластинок и в среднем составляет 10–20 мкм.

Таким образом, установлено, что золотоносными являются линейные коры выветривания, приуроченные к тектонически ослабленным зонам, контролирующим эндогенную минерализацию. Формированию золотоносной коры выветривания с промышленными параметрами в пределах месторождения Сохатиное способствовала высокая (в сравнении с другими месторождениями района) сульфидность руд. Золото в процессе окисления руд перераспределяется и концентрируется, что существенно повышает ценность руд в коре выветривания. Пробность золота из первичных руд составляет от 636 до 832 ‰ (среднее 734 ‰), а из зоны окисления имеет умеренновысокопробный состав от 788 до 920 ‰ (в среднем 858 ‰), примеси представлены только серебром (от 11–18 мас.%). Статистическая значимость отличия по составу гипергенного золота от гипогенного устанавливается с доверительной вероятностью 99,99 %. Окисленное золото, таким образом, облагорожено за счет выноса части серебра.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-00022).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошилов В. Г., Тимкин Т. В., Савинова О. В., Молукпаева Д. К. Геохимические критерии золотоносности первичных и окисленных руд Сохатиного месторождения (Северо-Восток России) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – 2024. – № 4. – С. 24–34.
2. Глухов А. Н., Калинин Ю. А., Буляков Г. Х. Коры выветривания Глухаринского рудно-россыпного узла (Приколымское поднятие, Северо-Восток Азии) и их золотоносность // Литология и полезные ископаемые. – 2020. – № 5. – С. 461–484.
3. Протопопов Г. Х. Первые находки рудного золота в Шаманихо-Столбовском золотороссыпном районе Северо-Востока России // Отечественная геология. – 1994. – № 9. – С. 31–32.
4. Тимкин Т. В., Ворошилов В. Г., Юркова М. В., Mansour Z. Минералогия руд Сохатиного золоторудного месторождения (Северо-Восток Азии, Россия) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 4. – С. 53–65.

Тарских О. В. (TarskikhOV@alrosa.ru), Никитина Ю. Г. (NikitinaYuG@alrosa.ru)
ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ УЧАСТКА БОЛОТНЫЙ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ

Химический состав индикаторных минералов кимберлитов из кимберлитоперекрывающих отложений участка Болотный свидетельствует о присутствии материала из еще неизвестного кимберлитового тела.

Ключевые слова: индикаторные минералы кимберлитов, химический состав, кимберлиты, поисковые работы, алмаз.

Индикаторные минералы кимберлитов (ИМК), такие как гранаты, пикроильменит и хромшпинелиды, обнаруживаемые в перекрывающих кимберлиты отложениях, остаются важным элементом алмазопоисковых работ. Типохимические особенности ИМК, которые могут использоваться в прогнозно-поисковых целях, в целом, определены предшественниками [1–3].

В настоящий момент в практике геологоразведочных работ АК «АЛРОСА» (ПАО) применяется химико-генетическая классификация В. К. Гаранина, которая позволяет выявить минералогические аномалии на поисковых площадях [5]. Определение химико-генетических групп ИМК выполнено с помощью программы © МСА-ЭКСПЕРТ [4].

На основе классификации В. К. Гаранина проанализирован химический состав ИМК из раннеайхальских отложений участка Болотный, вскрытых 55 скважинами. Всего выборка включала 1196 анализов (478 гранатов, 550 ильменита и 168 хромшпинелидов).

Участок Болотный расположен к северо-западу от группы кимберлитовых тел, которые вполне могли быть источником ИМК на территории участка (рис. 1).

Для выявления неизвестного коренного источника в качестве эталона использовано 5369 анализов из кимберлитов ближайших тел. Количество анализов по трубкам и минералам приведено в таблице.

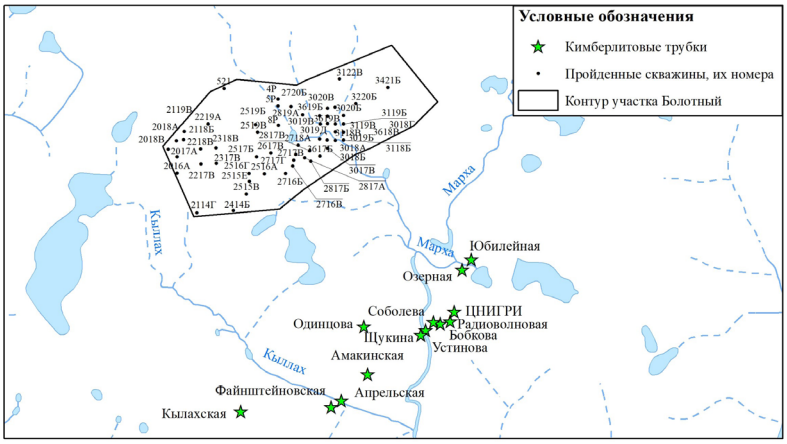


Рис. 1. Расположение участка Болотный и ближайших кимберлитовых тел

Таблица. Состав эталонной выборки

Трубка	Гранат	Ильменит	Хромшпинелид	Всего
Амакинская	25	24	129	178
Апрельская	162	11	120	293
им. Бобкова	73	177	51	301
Кылахская	413	199	40	652
им. Одинцова	271	34	197	502
Озёрная	104	0	0	104
Радиоволновая	227	36	129	392
им. Соболева	452	67	99	618
им. Устинова	124	0	113	237
Файнштейновская	305	200	110	615
ЦНИГРИ	32	67	141	240
им. Щукина	293	77	132	502
Юбилейная	507	139	89	735
ИТОГО	2988	1031	1350	5369

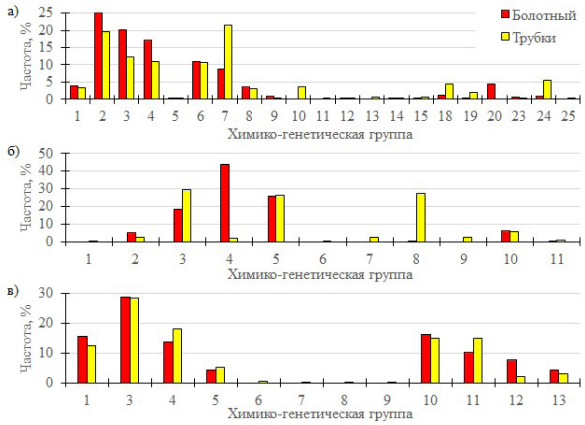


Рис. 2. Распределение по химико-генетическим группам гранатов (а), ильменита (б), хромшпинелидов (в) участка Болотный и ближайших кимберлитовых трубок

Распределение составов ИМК по химико-генетическим группам (ХГГ) в кимберлитах и раннеайхальских отложениях участка Болотный представлено на рис. 2.

В результате анализа установлено следующее: в выборке присутствуют гранаты ХГГ20, которые не установлены ни в одном из ближайших кимберлитовых тел; наблюдается иное распределение химико-генетических групп ильменита, с преобладанием ХГГ4; повышена частота встречаемости хромшпинелидов как алмазной ассоциации (ХГГ1), так и «редких» химико-генетических групп [5]: ХГГ12 и ХГГ13.

Таким образом, можно предположить, что на территории участка Болотный может еще присутствовать неизвестное кимберлитовое тело.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2010. – 650 с. – ISBN 978-5-9747-0180-1. – EDN QKJKLD.
2. 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» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Гаранин Виктор Константинович. – М., 2006. – 48 с. – EDN NKEBKB.
3. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии // Труды Института геологии и геофизики. Вып. 183. – Новосибирск : Новосибирское отделение издательства «Наука», 1974. – 264 с. – EDN RKWTGS.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611824 Российская Федерация. МСА-ЭКСПЕРТ : № 2023610345 : дата поступления 09.01.2023 : дата гос. регистрации 25.01.2023 / Гаранин В. К., Забелин А. В., Гибшер А. А., Мальковец В. Г., Никифорова А. Ю., Зайцевский Ф. К.; правообладатель АК «АЛРОСА» (ПАО).
5. Шахурдина Н. К., Тарских О. В., Колесник А. Ю. Методика среднемасштабного минералогического районирования при поисковых работах на алмазы (на примере Ыгыаттинской площади, Западная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 223–235. – DOI 10.31242/2618-9712-2023-28-2-223-235. – EDN BYEJOX.

Толстов А. В. (tols61@mail.ru), Томшин М. Д.
ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЧАРО-СИНСКОЙ ЗОНЫ

Приведены новые данные о перспективах коренной алмазоносности Чаро-Синской зоны глубинных разломов. Показаны результаты полевых работ и лабораторных исследований находок микрообломков кимберлитов. На основании новых результатов зона рассматривается в качестве минерагенической, специализированной на алмазоносные кимберлиты.

Ключевые слова: Чаро-Синская зона глубинных разломов, базиты, кимберлиты, алмазы.

Чаро-Синская зона (ЧСЗ) глубинных разломов приурочена к южному борту Вилюйского палеорифта, северо-западный борт которого фиксируется дайками базитов Вилюйско-Мархинской зоны (ВМЗ) глубинных разломов [7]. ВМЗ вмещает Мирнинское, Накынское и Сюльдюкарское кимберлитовые поля [5]. ЧСЗ считается потенциально перспективной на кимберлиты территорией, в пределах которой кимберлитовмещающие породы нижнего палеозоя перекрыты мезозойскими отложениями. Территория характеризуется низкой степенью изученности [1, 5]. На территории ЧСЗ благоприятными для проявления кимберлитов считаются Центрально-Якутский и Намана-Синский перспективные алмазоносные районы, где трассируются разломы, залеченные дайками базитов [4, 6, 7].

Центрально-Якутский алмазоносный район. В 2007 г. при заверке магнитной аномалии на глубине 104 м вскрыта ордовикская кимберлитовая трубка Манчары (472 ± 1 млн лет) [1]. В 2011 г. здесь выполнена аэромагнитная съемка масштаба 1 : 10 000, по результатам которой выделены локальные аномалии, опробованы кимберлиты в объеме 3250 кг, установлена их алмазоносность [6]. Из 16 аномалий две вызваны кимберлитами с индикаторными минералами (ИМК) – пикроильменитом, хромшпинелидом и пиропом. Поисковые работы продолжаются.

Намана-Синский кимберлитоперспективный район расположен в междуречье притоков р. Лены – р. Намана и р. Синяя – и относится к категории закрытых [4]. В структурном плане он приурочен к западной ветви глубинных разломов ЧСЗ и наиболее благоприятен для локализации кимберлитов. С юго-запада на северо-восток район пересекают разломы ЧСЗ, со стороны Вилюйского палеорифта трассируются разломы, образующие с нарушениями ЧСЗ тектонические узлы в бассейнах р.р. Марха, Мархачан и на левобережье р. Синей (рис. 1). Изученность левобережья р. Лены ограничена шлиховым опробованием водотоков в бассейнах рек Намана, Бюгюнгю, Марха, Мархачан и их притоков [7]. В результате поисков выявлены мелкие зерна пиропа (1–2 зерна на пробу), пикроильменита (1–7), хромшпинели, циркона, одно зерно пикроильменита 2-го класса износа и несколько зерен 3-го класса. Хромшпинелид крайне редок. В аллювии р. Мархи известна находка алмаза – ромбододекаэдра весом 6,9 мг. Наиболее ярким является контрастный ореол ИМК в аллювии р. Намылжылах (правый приток р. Марха).

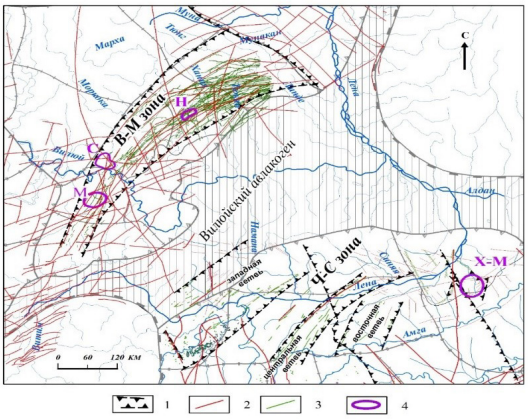


Рис. 1. Структурная схема Вилюйского палеорифта:
1 – зоны разломов: В-М – Вилюйско-Мархинская, Ч-С – Чаро-Синская; 2 – основные разломы, выделенные геолого-геофизическими методами; 3 – дайки базитов; 4 – поля кимберлитов: М – Мирнинское, Н – Накынское, С – Сюльдюкарское, Х-М – Хомпу-Майское

В целом перспективы ЧСЗ на кимберлиты неясны. Низкая результативность обусловлена небольшими объемами поисковых работ, слабой информативностью осадочных коллекторов, неблагоприятной палеогеографической обстановкой, слабой изученностью и недостаточной геофизической подготовкой площади. В прогнозном плане важно то, что на протяжении всей истории развития территория ЧСЗ развивалась унаследовано, область осадконакопления находилась в северной части региона, а область денудации – на юге [7], поэтому снос обломочного материала в пределах ЧСЗ на протяжении среднего палеозоя осуществлялся с юга и востока (со стороны Якутского поднятия) на запад, а в верхнем палеозое и мезозое – с юга на север. Снос в южном направлении отсутствовал, что обусловило низкую продуктивность осадочных отложений на ИМК и предопределило необходимость тщательного отношения к любым новым находкам, которые, как правило, списывались геологами, изучавшими до сих пор район, на «заражение» техногенным материалом с известных кимберлитовых месторождений алмазов, обрабатываемых в лабораторных условиях.

Так получилось и на новом этапе изучения ЧСЗ в 2021–2022 гг., когда в бассейне р. Намыджылах в пробе КА-21-81, отобранной научными сотрудниками Колесником А. Ю. и Барановым Л. Н., в ЦАЛ НИГП АК АЛРОСА (ПАО) петрографом Старковой Т. С. обнаружены микрообломки кимберлитов размером до 1,5 мм (рис. 3), которые не получили своевременной должной оценки. Изучение их состава по разработанным методикам определения кимберлитов по микрообломкам и их идентификации [2, 3] показало отличие от кимберлитов ВМЗ.

По петрографическим особенностям изученные образцы отличаются от аналогов ВМЗ и аналогичны кимберлитам Хомпу-Майского поля, что свидетельствует о Чаро-Синском типе коренного источника. В качестве дополнительных критериев алмазоперспективности территории авторами предложено изучение базитов по содержанию титана, что указывает на перспективность выделенной территории [7]. Все это позволяет считать ЧСЗ перспективной на кимберлитопроявления и говорить о необходимости продолжения здесь дальнейших поисковых работ с учетом перечисленных особенностей.

Исследование проведено в рамках государственного задания ИГАБМ СО РАН.

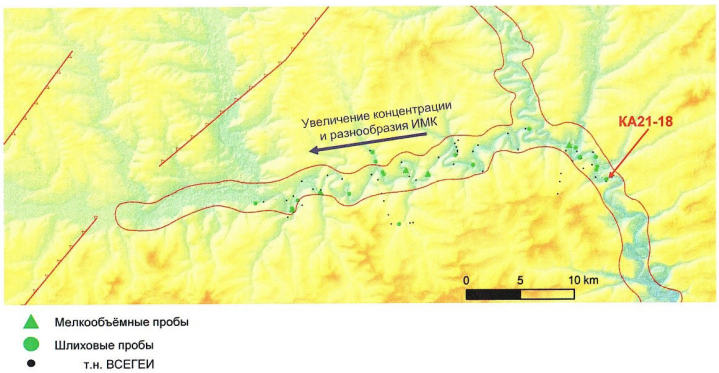


Рис. 2. Точка отбора пробы с кимберлитовым материалом на р. Намыджылах

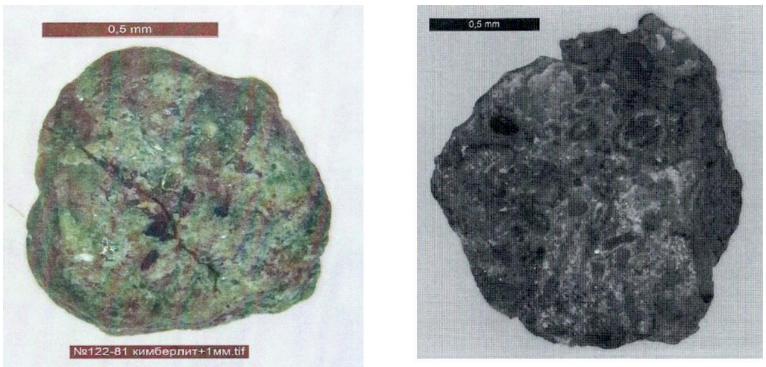


Рис. 3. Микрообломки кимберлитов в пробах из аллювия р. Намыджылах (левобережье р. Лена)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Зайцев А. И., Смелов А. П., Алтухова З. А. Первые данные по изотопному составу стронция и возрасту кимберлитов трубки Манчары (Центральная Якутия) // Отечественная геология. – 2010. – № 5. – С. 51–60.
2. Иванов А. С., Старкова Т. С. Способ определения происхождения микрообломков кимберлитов // Патент на изобретение RU 2720477 C1, 30.04.2020. Заявка № 2019132136 от 10.10.2019.
3. Лисковая Л. В., Старкова Т. С., Аминов А. В. и др. Серпентин-карбонатная ассоциация основной массы кимберлитов Якутии // Руды и металлы. – 2019. – № 4. – С. 46–52.
4. Толстов А. В., Максимкина Л. В., Колесник А. Ю. и др. Перспективы алмазоносности Чаро-Синской зоны разломов // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 46–58.
5. Проценко Е. В., Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 14–23.
6. Smelov A. P., Oleinikov O. B., Pavlushin A. D., Tolstov A. V. The first Diamond of Manchary // Science First Hand. – 2013. – № 1 (34). – P. 12–17.
7. Tomshin M. D., Kopylova A. G., Gogoleva S. S., Konstantinov K. M. Basites of the Vilyui paleorift: geochemistry and sequence of intrusive events // Russian Geology and Geophysics. – 2018. – V. 59. – № 10. – P. 1204–1216.

Тошметов У. Х. (toshmetovubaydullo88@gmail.com), Ежков Ю. Б. (ejkovyuriy@gmail.com)
ГУ «ИМР», г. Ташкент, Республика Узбекистан

РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДАЙКОВОЕ (W, Mo, Bi, Au, Te), ПСКЕМСКИЙ ХРЕБЕТ, ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН

Кварц-шеелит-висмут-сульфидное месторождение Дайковое – пример возникновения рудного поля в надынтрузивно-жильно-штокверковой зоне гранитоидного интрузива. На месторождении выделено три зоны метасоматического преобразования – внешняя, промежуточная и внутренняя. С зонами интенсивного метасоматоза пространственно совмещены высоковольфрамоносные зоны кварцевых жил и прожилков. Вольфрам – ведущий рудный элемент месторождения (шеелит).

Ключевые слова: вольфрам, молибден, висмут, золото, теллур, оруденение, Чаватинский интрузив, метасоматиты, Узбекистан.

Кварц-шеелит-висмут-сульфидное месторождение Дайковое [1] расположено в приводораздельной части Пскемского хребта, между саем Келинчак и урочищем Парагнов, в северном блоке висмут-редкометалльного Чавата-Бричмуллинского рудного поля. Месторождение относится к надынтрузивному линейному жильно-штокверковому типу и представляет собой северо-восточный фланг экзоконтактовой зоны Чаватинского интрузива, сложенного в основном гранитоидами повышенной основности (гранодиориты-адамеллиты) фазы сателлитов средне-верхнекарбонового интрузивного комплекса.

Интрузив трещинно-штокообразной формы, обнажен эрозией на площади около 0,58 км^2 в ядре брахиантиклинали, обрезанной надвигами, среди песчано-сланцевых пород верхнего девона. Погружение апикальной поверхности Чаватинского интрузива проходило в востоко-юго-восточном направлении к р. Коксу. Неровная поверхность кровли формировавшейся гранитоидной интрузии вызвала появление в ней блок-провесов монцонитоидов (0,15 км^2), характерных гибридным составом. В складки смяты контактово-метаморфизованные песчаники и алевролиты живет-франского возраста (тюлькубашская свита), обнажающиеся в ядерной части брахиантиклинали, на крыльях которой появляются карбонатные отложения фамен–нижнего карбона.

Появление же в разрезе терригенных пород месторождения крупноглыбовой карбонатно-кремнистой конглобрекчии, имеющей пятнистое распространение, рассматривается нами толь-

ко как межформационное явление. Ослабленная же зона между биотитизированными алевропесчаниками и перекрывающими их амфиболитизированными песчаниками и алевролитами, является основным литолого-структурным элементом месторождения, так как кварцевые жилы и прожилки пересекая этот горизонт, резко обогащаются шеелитом.

Растрескивание (контракция) терригенного купола и гранитоидного штока сопровождалось образованием крутопадающих систем трещин, преимущественно СВ-ЮЗ ориентации. Неоднократные тектонические импульсы, приводившие к закрыванию и приоткрыванию трещин, проявлялись как до, так и после завершения активной интрузивной деятельности, сопровождаемой поздне-, постмагматическими, в том числе и рудообразующими процессами. Устойчивый преимущественно СВ-ЮЗ план деформаций привел на месторождении в ряде случаев к совмещению в пространстве разнотемпературных рудных ассоциаций. Рассеянная вольфрам-молибден-висмутовая минерализация отмечается по всей площади Чаватинского интрузива и во вмещающих породах, но ее концентрирование происходит только в зоне интенсивной трещиноватости, пересекающей южное окончание интрузива (Чаватинское молибденовое месторождение). Аналогичная, но более узкая зона трещиноватости с преимущественно шеелит-сульфидным оруденением расположена к югу от интрузива среди вмещающих терригенных пород (W, Mo, Bi, Au, Te, месторождение Дайковое).

Интересную магматическую структуру создают многочисленные дорудные гранитоидные силлообразные тела. Так, пологозалегающая дайка гранодиорит-порфиров, давшая название месторождению, в своем основном выходе прослеживается на площади более 15 км^2 при мощности от 10 до 25 м, в ряде случаев играя роль экрана метасоматических и рудообразующих процессов. Элементы залегания подобных менее мощных пологопадающих даек (азимут 110–130°, угол 10–30°) несколько отличны от вмещающих пород, поэтому по простиранию и падению дайки постепенно переходят из одних терригенных горизонтов в другие. Интрарудные жильные образования, представленные диабазами, проявлены слабее. Наиболее протяженная диабазовая дайка прослеживается в юго-восточном направлении (от слияния саев Келенчак и Каинг), пересекает месторождение Дайковое и уходит далее в урочище Парагнов, достигая мощности 4–7 м. По микроисследованиям диабазы сложены беспорядочно ориентированными призмами андезина, интерстиции которых заполнены ксеноморфными зернами пироксена, вторичными (хлорит, карбонат, эпидот, амфибол, кварц) и акцессорными минералами (титаномагнетит, магнетит, ильменит, апатит, пирит). Вкрапленники в порфиритовых разновидностях диабазов представлены андезин-лабрадором и реже пироксеном.

На месторождении проявлена околорудная и рудная зональности, обусловленные термально-метасоматическими процессами, строением поверхности кровли Чаватинского интрузива, развитием различных систем контракционной трещиноватости, литологическим составом пород рамы и другими факторами.

В пределах Чаватинского сегмента Чавата-Бричмуллинского рудного поля нами выделяются три зоны метасоматического преобразования пород: *внутренняя, промежуточная и внешняя.*

Внутренняя зона расположена в краевой части гранодиоритового интрузива (Чаватинское молибденовое месторождение), где могут быть выделены участки наиболее распространенной калишпатизации (микроклин), менее интенсивных альбитизации, грейзенизации и окварцевания, которые последовательно сменяют друг друга с запада на восток с удалением в зону интрузивного экзоконтакта. Иногда наблюдается нахождение продуктов всех этих процессов в одной трещине.

Промежуточная зона охватывает около- и надынтрузивные части рудоносного блока вмещающих пород. Непосредственно в контакте с гранитоидами размещаются биотитовые роговики, которые окаймляют интрузив со всех сторон полосой шириной до 100 и более метров. При этом интенсивность процесса ороговикования непосредственно за пределами рудной зоны резко падает. Скарнированные породы (скорее скарноиды) имеют относительно небольшую площадь распространения, образуя ареал в восточной и юго-восточной частях площади, захватывающий конгло- и гравелито-брекчии пачки «Б», вскрытой на глубоких горизонтах и алевропесчаники пачки «И» Тюлькубашской свиты. Скарнирование развивается в интервалах по

вертикали мощностью до 70 и редко до 200 м. В промежуточный зоне аналогично интенсивно проявлены: серицит-кварцевые метасоматиты по алевролитам, песчаникам кварц-полевошпатового и полимиктового состава, а также по дайке гранодиорит-порфиров; калишпат-амфиболовые и ортоклаз-амфиболовые метасоматиты по переслаивающимся филлитовидным сланцам и песчаникам; пироксен-амфибол-калишпатовые и плагиоклаз-амфибол-пироксеновые метасоматиты по алевролитам и песчаникам с прослоями первично-глинистых пород. Ширина ареала распространения всех фаций метасоматитов более 800 м; в ареале морфологически выделяются лентообразные и трубообразные тела полевошпат-амфибол-пироксеновых с кварцем метасоматитов, приуроченные к участкам интенсивной трещиноватости; здесь же достигают максимальной плотности локализации кварц-шеелит-сульфидные жилы и прожилки.

Внешняя зона наиболее удалена от контакта с гранодиоритами и представлена кварцитовидными песчаниками и кварцитами с присутствием серицита и хлорита. Здесь слабо развита трещиноватость и относительно невысоко распространены линейные зоны кварц-сульфидных штокверков. При еще большем приближении к границам зоны наблюдаются слабоизмененные песчаники, алевролиты и сланцы.

Рассматривая поведение основных петрогенных элементов (45 силикатных анализов) в выделенных метасоматических зонах, мы пришли к выводу, что наиболее контрастный геохимический привнос-вынос отмечается в промежуточной зоне.

Как следует из полученных данных, сульфидная сера как важный показатель восстановительного режима системы накапливается в амфиболитизированных породах, где фиксируются ее максимальные содержании. Фтор, литий, рубидий и цезий отмечены в низких содержаниях, но имеют тенденцию к накапливанию в березитоподобных метасоматитах. Фосфор ведет себя индифферентно, и слабые всплески его содержаний фиксируются только в биотитовых роговиках и флогопитизированных породах. Формульное количество OH резко возрастает среди наиболее метасоматически измененных пород, что достаточно обычно. Количество натрия существенно уступает количеству калия, их графики зеркально симметричны. И если калий, например, накапливается (4,7 %) в биотит-флогопитизированных породах, то в них же наблюдаются минимальные содержания натрия (Na_2O 2–2,3 %).

В целом для кремнещелочных грейзенизированных и березитизированных пород (в зависимости от интенсивности процесса) характерна последовательная мобилизация (переход во вполне подвижное состояние, по Д. С. Коржинскому) кремния, окисного железа, натрия, частично алюминия и калия, с постоянным привносом магния, кальция, железа закисного, OH, CO_2, SO_3.

Полученная генерализованная картина привноса-выноса петрогенных элементов в промежуточной зоне свидетельствует об интенсивном развитии процесса тио-фтор-хлор-щелочно-железо-магнезиального метасоматоза, наиболее интенсивно проявившегося в гравелито-брекчиях и в алевропесчаниках основания пачки «И».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ежков Ю. Б., Рахимов Р. Р., Рустамжонов Р. Р., Холиеров А. Т. Новые перспективы W-Bi -сульфидного (с Au-Te) месторождения Дайковое / Сборник тезисов докладов научно-практической конференции (14–15 апреля 2015 г.) «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы». – М. : ЦНИГРИ, 2015. – 5 с.

Тошпулатов Ш. Т. (tshierali@mail.ru)
АО «Узбекгеологоразведка», г. Ташкент, Республика Узбекистан

ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИЕ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТЕБИНБУЛАК (УЗБЕКИСТАН)

Дана краткая характеристика Тебинбулакского титаномагнетитового месторождения. Охарактеризованы ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды. Показана значимая роль ванадия и приведена технология его переработки. Показаны результаты освоения Тебинбулакского титаномагнетитового месторождения, которые актуальны и имеют научную новизну в настоящее время и в перспективе.

Ключевые слова: рудоносность, ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды, промышленный объект, пироксениты, тебиниты, горнблендиты, перидотиты, титан, ванадий, марганец, хром, скандий, галлий.

Тебинбулакское месторождение является наиболее крупным железорудным объектом на территории Узбекистана. Оно расположено на территории Караузякского района в северо-западной части горной системы Султанувайс, на правом берегу реки Амударьи. Учитывая его благоприятные экономические условия, оно рассматривается как реальная сырьевая база металлургического производства.

Тебинбулакское месторождение титаномагнетитовых руд пространственно и генетически связано с одноименным сложнодифференцированным перидотит-пироксенит-габбровым интрузивом, который расположен в зоне Урусайского субмеридионального глубинного разлома. В его составе преобладают ультраосновные породы: пироксениты, тебиниты, горнблендиты, перидотиты (около 80–90 % от площади интрузива), породы основного состава (до 8 %) представлены главным образом роговообманковыми габбро и габбро-сиенитами джамансайского комплекса (до 3 %).

По своим петрологическим и минералого-геохимическим особенностям, типу, характеру и масштабности оруденения Тебинбулакское месторождение весьма сходно с Качканарским, Гусевогорским и другими подобными месторождениями Урала (Баранов В. В., 1976), которые успешно разрабатываются в настоящее время. Содержания магния, алюминия, железа сопоставимы с данными по Качканарскому массиву. Несколько повышено содержание двуокиси титана (5,5 % против 4,9 %) и пятиокиси ванадия (0,65 % против 0,44 %).

Тебинбулакское месторождение включает комплексные ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды и другие полезные ископаемые. Рудная минерализация представлена вкрапленностью титаномагнетита, частично замещенной гематитом и редко вкрапленностью сульфидов, среди которых преобладает пирит; халькопирит, галенит, сфалерит, арсенопирит отмечаются в виде единичных зерен.

В расслоенных породах Тебинбулакского интрузива широко распространены железо, титан, ванадий, медь, платина, хром, никель, кобальт, цирконий, скандий, марганец и стронций. Реже встречаются свинец, цинк, золото, скандий, галлий, палладий и совсем редко радий, бериллий, иттрий, иттербий, молибден и олово. Из легирующих, кроме титана и ванадия, содержатся марганец (0,22–0,33 %), пробирным анализом обнаружены платина (0,02 г/т) и следы золота, серебра и палладия.

Среди рудных минералов, установленных в титаномагнетитовых рудах, преобладает магнетит (80–95 %) с тонкими пластинчатыми сростками ильменита (3–15 %) и гематита. Текстура руд в основном вкрапленная, реже шлировая и массивная. Структура – гипидиоморфно-аллотриоморфно-зернистая и сидеронитовая.

Титаномагнетит представлен отдельными зернами и их сростками размером от 0,1–1,5–5 мм, шлировые скопления до 10–20 см в поперечнике. Размер вкрапленников прямо зависит от зернистости пород.

Характерными элементами-примесями для титаномагнетитов из Тебинбулака являются титан, ванадий, марганец, медь, никель и хром, постоянно присутствует галлий (до 0,008 %). Из вредных примесей установлены: сера, фосфор, мышьяк, цинк, свинец. Содержания большинства из них не превышают норму.

Общий баланс железа складывается из железа магнетитового, гематитового, сульфидного, окисного, карбонатов, легкорастворимых силикатов, труднорастворимых силикатов. Основным рудообразующим минералом является магнетит. По химическому составу магнетит характеризуется повышенным содержанием железа. Помимо собственно магнетита в пробе присутствуют разновидности: магномагнетит и титаномагнетит. Кроме магния и титана, в магнетите отмечаются непостоянные примеси кобальта, ванадия, алюминия и марганца.

С экономической точки зрения геологические запасы титаномагнетитовых руд месторождения Тебинбулак составляют более 2,9 млрд т, в том числе промышленные запасы в проектном контуре карьера 1,057 млрд т, с содержанием железа общ. 13,2 %, в том числе магнетита – 6,8 %, титана – 2–3 %, ванадия – 0,15 %.

Ванадий в основном используется для производства специальных стальных сплавов, таких как быстрорежущие инструментальные стали, путем добавления феррованадия в качестве легирующего материала в процессе производства. При разработке ТЭО проекта принимали участие компания «DMT Group» (Германия), международно признанные исследовательские центры и институты в области геологии, горного дела и металлургии, а также группы финансовых экспертов.

Была подобрана оптимальная технология переработки, позволяющая создать специфические условия восстановления, при которых титан переходит в шлак, а ванадий восстанавливается в жидкую металлическую фазу, из которой он может быть извлечен на конвертерной установке без влияния остаточного титана.

Цех состоит из двух ЭППД, которые используют в качестве сырья горячие металлизованные окатыши, обычный уголь в качестве восстановителя и известняк в качестве флюса для образования шлака и чистого жидкого ванадиевого чугуна.

ЭППД – это электрическая печь переменного тока, работающая в режиме открытой дуги (или так называемой контактной дуги), где подводимая мощность становится менее зависимой от проводимости шлака и устраняет необходимость поддержания слоя углеродосодержащего материала в печи. Более высокое электрическое сопротивление в ЭППД по сравнению с печами, работающими с электродами, погруженными в жидкий шлак или в шихту печи, приводит к более высокому коэффициенту мощности и лучшей эффективности работы трансформатора. Кроме того, печь с открытой шлаковой ванной имеет преимущество в работе, поскольку она не зависит от химического состава шлака и не требует поддержания слоя углеродосодержащего материала в печи.

Горячие металлизированные окатыши подаются в ЭППД при температуре не менее 550 °С. Металлизированные окатыши содержат достаточное количество углерода для восстановления остаточного оксида железа (FeO), а также других оксидов, таких как V_2O_5, MnO, Cr_2O_3 и SiO_2.

Жидкий металл, выпускаемый из печи, будет содержать примерно 3,2 % С, железо, а также другие микроэлементы (например, ванадий). Затем жидкий металл передается в конвертерный цех, где он перерабатывается в нерафинированную сталь.

Для производства стали выбрана кислородно-конвертерная технология с использованием DUPLEX процесса, который состоит из двух стадий: первая предназначена для процесса деванадизации, а вторая – для процесса обезуглероживания.

Таким образом, устанавливаются два кислородных конвертера вместимостью 90 т, выполняющие соответствующие металлургические операции.

Деванадизация (1-я стадия DUPLEX процесса). Процесс деванадизации необходим для производства ванадиевого шлака в качестве попутного продукта, который будет реализовываться на рынке и внесет существенный вклад в экономическую целесообразность проекта. С металлургической точки зрения данный двухстадийный процесс (DUPLEX) необходим для получения товарного ванадиевого шлака. Заводы в Нижнем Тагиле, Паньчжихуа, Ченде работают по аналогичной технологии. Основным продуктом процесса деванадизации является жидкий чугун, выпускаемый в ковши.

Процесс деванадизации обеспечивает эффективное достижение следующих целей: максимальное отделение ванадия из жидкого чугуна в шлак, необходимый состав шлака для дальнейшей переработки ванадия, подходящее содержание углерода и температуры полупродукта для дальнейшего обезуглероживания при производстве стали.

Цена на ванадиевый шлак (20,5 % от V_2O_5) была принята за нижнюю границу диапазона, наблюдаемого на рынке в последние годы для его продуктов переработки (оксид ванадия – V_2O_5). Текущие допущения позволяют получить доход в размере около 80 миллионов долларов США.

В дополнение к рыночной неустойчивости поставок для металлургического использования значение ванадия как основного элемента ванадиевых проточных аккумуляторов (VRFB), особенно в Китае, может оказаться дополнительным движущим фактором ввиду перехода к системам возобновляемой энергии.

На сегодняшний день Научно-исследовательская лаборатория (R&D) Triangul Metals при Горно-металлургическом комбинате Тебинбулак занимается улучшением технологических процессов обогащения железа и исследует возможность извлечения помимо железа ванадия, титана, скандия, редкоземельных элементов и других сопутствующих элементов из руды месторождения Тебинбулак.

Тригубович Г. М. (mail@em-surveys.com)
АО «ЕМ-РАЗВЕДКА», г. Новосибирск

ИНДУКЦИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ (ИТ)

Индукционная томография – это реплика индукционного метода переходных процессов с незаземленным индуктором во временной области. Основана на мультиракурсной системе с применением технологии разделения индукционной и поляризационных мод отклика среды на регулярное импульсное ЭМ-облучение [2, 3].

Ключевые слова: индукционная томография, разделение поляризационной и резистивной мод, мультимодальная система наблюдений.

Метод исследования. Сошлемся на систему уравнений Максвелла, в которой ε, μ, σ – матрицы третьего порядка, зависящие от координат, причем ε, μ предположительно определены, а матрица σ – неотрицательна. В общем случае обратная задача трактуется как задача определения матриц ε, μ, σ в нижнем полупространстве, описывающих ЭМ-отклик горного массива на поверхности Земли, при регулярном импульсном воздействии.

Следующее упрощение – трехмерные объекты сосредоточены в ограниченной области полупространства. Предполагается, что референтная среда представлена простой горизонтально-слоистой моделью. Используется предположение о существенном различии зависимости поляризационной и индукционной составляющих измеряемого сигнала от геометрии.

В основе решения – мультимодальная система наблюдений, где поисковый объект облучается с разных сторон.

Применяется для решения рудных и инженерных задач (рис. 1 и 2).

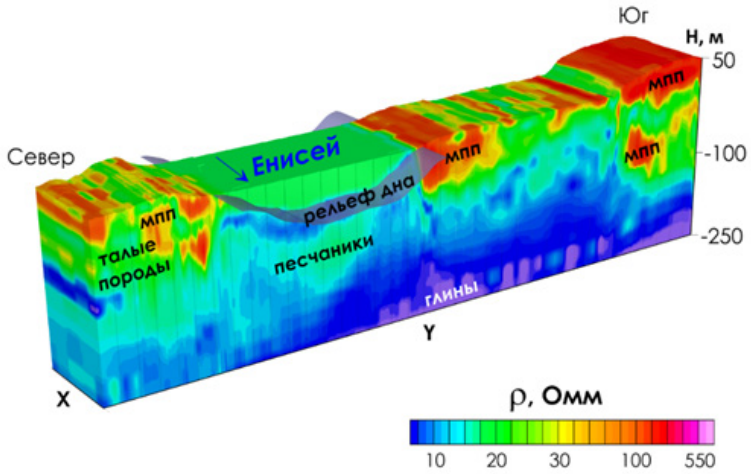


Рис. 1. Куб сопротивлений в районе кросс-коммуникаций

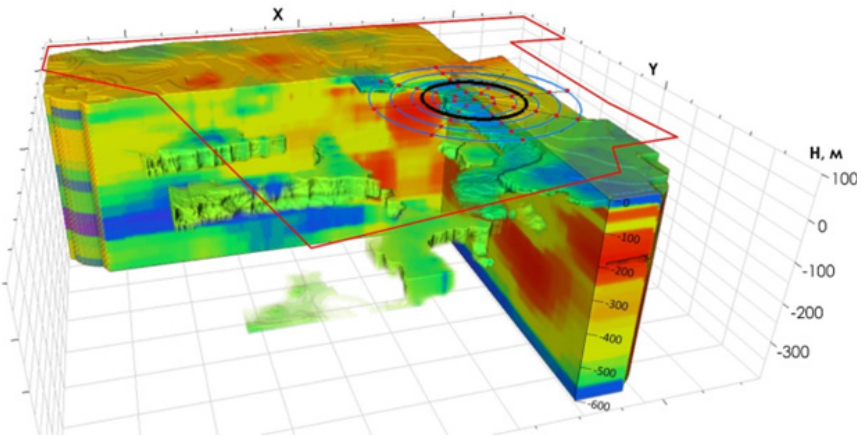


Рис. 2. Куб сопротивлений с низкоомными рудными объектами

Отличительные особенности: высокая производительность, прецизионная точность, приемлемая стоимость. Стандартная глубина исследования до 300 м может быть увеличена до 600 м с ухудшением разрешения по IIP-моде. Ключевой момент технологии – разделение поляризационной и резистивной составляющих измеряемого сигнала, обеспечение высокой пространственной локализации объектов в режиме трехмерной инверсии с получением реалистичной морфологии поисковых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каменецкий Ф. М., Тригубович Г. М., Чернышев А. В. Три лекции о вызванной поляризации геологической среды. – Мюнхен : Вела Ферлаг, 2014. – 58 с.
2. Тригубович Г. М., Филатов В. В. Индукционная томография в электроразведке // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2023. – № 4а. – С. 53–62.
3. Kamenetsky F. M., Stettler E. H., Trigubovich G. M. Transient Geo-Electromagnetics // L-M University of Munich, Germany. – 2010. – 306 p.

Трушин С. И.[1] (Trushin@polymetal.ru), Кириллов В. Е.[2] (kirillov@itig.as.khb.ru), Иванов А. И.[3], Иванов В. В.[4]

[1] АО «Полиметалл», г. Санкт-Петербург, [2] ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск, [3] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва, [4] ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОЛОГИИ И ЗОЛОТОМУ ОРУДЕНЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛБАЗИНО (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Золоторудное низкосульфидное месторождение Албазино приурочено к глубоко эродированной палеовулканической структуре, находится в ее терригенном основании и контролируется меридиональными трещинами отрыва. Околорудные изменения относятся к березитам с золотоносными кварцевыми прожилками. В работе приводятся новые данные, уточняющие возраст рудовмещающей толщи углеродистых алевролитов и кремнистых пород (отнесены к норию–раннему тоару), а также о радиологическом возрасте рудогенерирующих гранитоидных интрузий (92–89 млн лет). Данные по соотношению изотопов ^{32}S и ^{34}S свидетельствуют о мантийном источнике серы, участвовавшей в гидротермальном рудном процессе.

Ключевые слова: месторождение Албазино, золото, радиолярии, малоинмакчанская толща, гранитоидные интрузии, радиологический возраст, изотопный состав серы.

Золоторудное месторождение Албазино находится на левобережье реки Амгунь (приток р. Амур), в восточной части административного района им. П. Осипенко Хабаровского края (рис. 1). В настоящее время разрабатывается ОАО «Ресурсы Албазино» (АО «Полиметалл»).

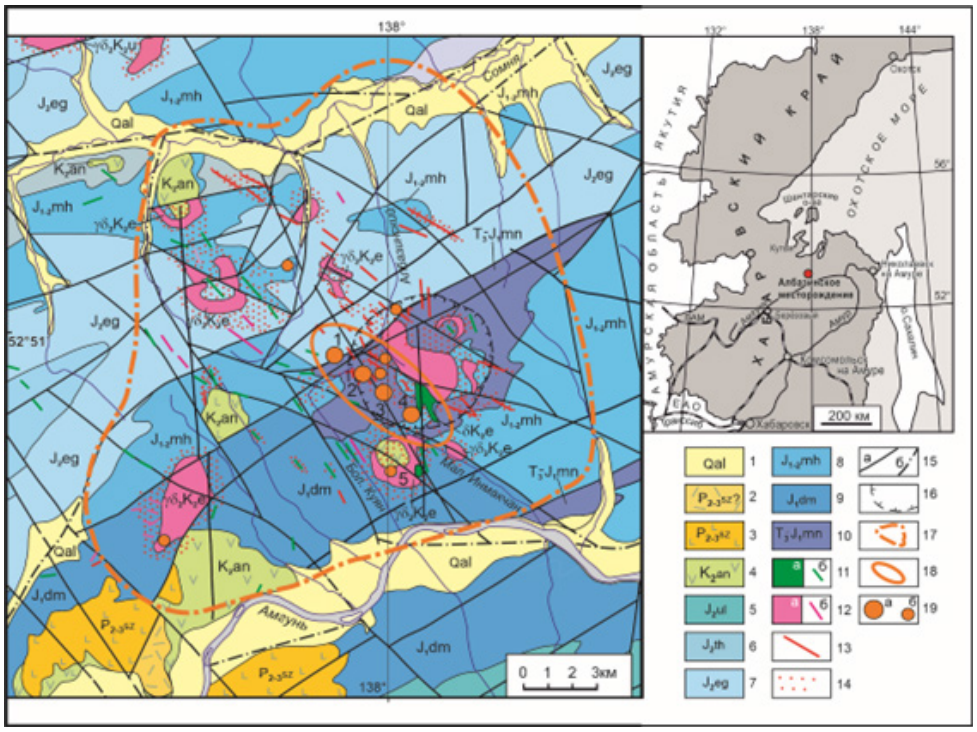


Рис. 1. Геологическая карта Албазинского рудного узла.
1 – четвертичные отложения; 2–3 – палеоген, сизиманская свита: 2 – дациты, 3 – базальты; 4 – верхний мел, андезитовая толща, 5–9 – терригенные породы юрского возраста, свиты: 5 – ульбинская, 6 – тохареузская, 7 – эльгонская, 8 – михалицынская, 9 – демьяновская; 10 – малоинмакчанская толща верхнетриасово-нижнеюрского возраста; 11 – интрузии диоритов (а), дайки диоритов (б); 12 – интрузии гранодиоритов (а), дайки гранодиоритов (б); 13 – дайки гранитов; 14 – ореолы ороговикования; 15 – наиболее крупные разломы (а), разломы под рыхлыми отложениями (б); 16 – границы вулкано-тектонической структуры; 17 – границы Албазинского рудного узла; 18 – Албазинское рудное поле; 19 – рудные зоны (а), рудопроявления (б). Для рудных зон: 1 – Анфисинская, 2 – Ольгинская, 3 – Екатериниская, 4 – Фаридинская.

Район Албазинского месторождения (Рис. 1) принадлежит Ульбанскому террейну и входит в Нижнеамурскую складчатую зону, сформировавшуюся в мезозое в результате аккреции юрских окраинно-континентальных шельфовых и турбидитовых комплексов к Северо-Азиатскому кратону и Монголо-Охотскому поясу [4].

Албазинское рудное поле (АРП, 22,5 км^2) находится в центральной части Албазинского рудного узла (АРУ). Геологическое строение, особенности локализации оруденения и вещественные особенности руд рассматривались ранее авторами в ряде публикаций [1, 2, 3]. Было показано, что АРП сложено преимущественно терригенными осадочными породами юрского возраста, прорванными многочисленными дайками и мелкими интрузиями гранодиорит-порфиров, реже гранит-порфиров и диоритов. Рудное поле контролируется зоной Албазинского разлома северо-западного простирания. Рудные тела локализуются в северо-западных и субмеридиональных разломах растяжения [1, 3] и связаны с линейными зонами окварцевания в березитизированных породах. По данным аэромагниторазведки, в районе АРП зафиксирована округлая в плане структура диаметром 6,5 км, интерпретирующаяся как глубоко эродированная кальдера компенсационного типа [1], для которой характерно резко дифференцированное знакопеременное мозаичное магнитное поле с сочетанием изометричных и линейных аномалий. Албазинское РП приурочено к западной части палеовулканоструктуры.

Дополнительно проведенные в 2023–2024 гг. исследования (микропалеонтологические, геохронологические, изучение изотопного состава серы) позволили существенно уточнить особенности проявления золотого оруденения в пределах АРП.

По геологическим данным, большая часть рудных зон АРП приурочена к выделенной авторами малоинмакчанской толще, в состав которой входят углеродистые алевролиты, кремнистые породы и спилиты. Толща датирована по радиоляриям верхним триасом и нижней юрой (норий–ранний тоар) и является, таким образом, более древней, чем окружающие терригенные породы J_1 и J_{1-2} возраста [5]. Предполагается, что толща, в числе подобных в районе, представляет собой олистоплаковую пластину – фрагмент океанической литосферы, перемещенный тектоническими движениями на окраину материка в ходе обдукции или аккреции.

Тесная ассоциация магматических пород эвурского комплекса K_2 умеренно-кислого состава (гранодиоритов, дацитов) и рудоносных метасоматитов свидетельствует об их генетической связи. Для уточнения возраста магматических образований были использованы данные изотопно-геохронологического U-Pb датирования цирконов из гранитоидов (микрозонд SIMS SHRIMP-II, Институт Карпинского). В таблице приведены данные по результатам исследования шести проб Албазинского рудного узла.

Из приведенного в таблице материала следует, что возраст магматических пород Албазинского РП составляет 92–89 млн лет (сеноман–кампан). Для эруптивных брекчий андезитов рудопроявления Куян установлен возраст 89 млн лет, что указывает на близкую совмещенность интрузивного магматизма и вулканизма.

Для уточнения генезиса месторождения были использованы результаты изучения изотопного состава серы сульфидов рудных зон Надеждинской, Ольгинской и Екатерининской (ДВГИ).

Установлено, что простые (пирит, арсенопирит) и сложные (блеклая руда) сульфиды изученных образцов по соотношению изотопов ^{32}S и ^{34}S контрастно не различаются, имея общий неширокий диапазон величин $\delta^{34}S$, варьирующих от -3,2 до +0,8 ‰ (рис. 2).

Полученные данные по соотношению изотопов ^{32}S и ^{34}S свидетельствуют о мантийном гомогенном источнике серы, участвовавшей в гидротермальном процессе формирования Албазинских руд. По сравнению с изотопным составом серы ($\delta^{34}S$) сульфидов разных типов гидротермального оруденения золота Албазинское месторождение по изотопии сульфидов наиболее близко месторождениям, которые свойственны семейству порфировых рудно-магматических систем [6].

Таблица. Радиологический возраст магматических пород Албазинского рудного узла

№ п/п	Номер пробы	Название породы	Абсолютный возраст кристаллизации породы
1	212	Гранит-порфиры (дайка)	89,22 ± 0,73 млн лет
2	232	Гранодиориты (дайка)	89,10 ± 0,57 млн лет
3	153-1	Гранит-порфиры (дайка)	91,57 ± 0,89 млн лет
4	К242	Эруптивная брекчия андезитов (шток)	89,33 ± 0,95 млн лет
5	К369	Плагиогранит (дайка)	92,30 ± 1,20 млн лет
6	К478	Плагиогранит (дайка)	90,29 ± 0,98 млн лет

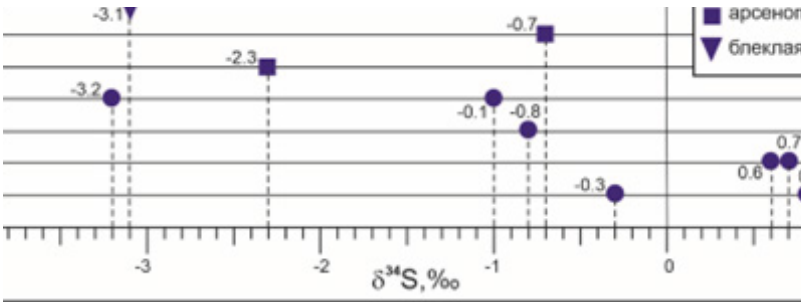


Рис. 2. Результаты изотопного анализа серы Албазинского рудного поля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Трушин С. И., Кириллов В. Е. Месторождение Албазино – новый для Дальнего Востока промышленный тип золотого оруденения // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 73. – С. 60–67.
2. Трушин С. И., Кириллов В. Е., Иванов В. В., Ноздрачев Е. А. Вулканогенно-кремнистый комплекс района Албазинского золоторудного поля (Хабаровский край, Россия) // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 79. – С. 68–76.
3. Трушин С. И., Кириллов В. Е., Иванов В. В., Полин В. Ф. Магматогенные рудоносные системы месторождений золота Ульбанского террейна (Хабаровский край, Россия) // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 7. – С. 21–35.
4. Ханчук А. И., Иванов В. В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 11. – С. 1635–1645.
5. Ханчук А. И., Кемкин И. В., Кириллов В. Е., Иванов В. В., Кирьянов М. Ф., Трушин С. И. Новые данные по возрасту кремневых и кремнисто-глинистых отложений в районе Албазинского золоторудного месторождения и происхождение Ульбанского террейна. // Тихоокеанская геология. – 2024. – Т. 43, № 3. – С. 3–18.
6. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Econ. Geol. – 2010. – V. 105. – P. 3–41. – DOI: https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3

Тюкова Е. Э.[1, 2] (evgtyuk@mail.ru), Ворошин С. В.[1] (voroshinsv@gmail.com), Прокофьев В. Ю.[1] (vpr2004@rambler.ru), Викентьев И. В.[1] (viken@igem.ru), Абрамова В. Д.[1] (winterrain@rambler.ru), Таскаев В. И.[1] (ttvtest@yandex.ru)
[1] ФГБУ ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] ФГБУ НГИЦ РАН, г. Москва

ВИСМУТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ОЛОВОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЕ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛ.)

Охарактеризованы минералого-геохимические особенности висмутовой минерализации оловорудного месторождения Отечественное (Тенькинский район Магаданской обл.). Морфология, строение, состав рудных образований и термогеохимические особенности кварца рудных жил свидетельствуют о первично расплавном состоянии висмутовых «капель» в гидротермальных хлоридных растворах, имевших температуру 334–378 °С (т. е. выше температуры плавления самородного висмута), и более позднем образовании сульфотеллуридов висмута. Золото из гидротермальных растворов, вероятно, поглощалось расплавом висмута и отлагалось в самородном виде, локализуясь в основном в самородном висмуте.

Ключевые слова: самородный висмут, сульфотеллуриды висмута, самородное золото, расплав висмута, элементы-примеси, лазерная абляция.

Оловорудное месторождение Отечественное расположено в Тенькинском районе Магаданской области и было открыто в результате поисковых работ, начавшихся в 1940 г. под руководством М. С. Венчуговой. Оно локализовано на северо-востоке Верхне-Индигирского синклинория на северо-западном контакте Хениканджинского гранитоидного многофазного массива. В 1-ю фазу образовались крупнозернистые биотит-роговообманковые граниты, во 2-ю фазу – нормальные порфировидные биотитовые граниты, а в 3-ю фазу – лейкократовые граниты и гранит-порфиры аляскитового типа. С аляскитовыми гранит-порфирами связаны оловоносные рудные тела. Их особенностью является широкое развитие висмутовой минерализации. Она была исследована современными методами анализа (РСМА, LA-ICP-MS).

Метасоматические изменения, контролирующие распределение касситерита, представлены альбитизацией, калишпатизацией и хлоритизацией. Руды месторождения Отечественное полосчатой или массивной текстуры и практически бессульфидные, лишь руды участка Хе-

никанджа можно отнести к малосульфидным жильным образованиям. Месторождение Отечественное относится к пневматолитово-гидротермальному типу. Пневматолитовая стадия выразилась в турмалинизации ороговикованных сланцев в экзоконтакте Хеникандженского массива, но на самом месторождении она практически не проявилась. Формирование рудных тел произошло на гидротермальной стадии. В оловорудных телах на участке Хеникандженджа в заметном количестве присутствует сфалерит, а на участке Восточный – халькопирит; на других участках эти сульфиды довольно редки [2]. Самородное золото присутствует совместно с висмутовыми минералами в кварцевых жилах в южной части месторождения, наряду с более ранними касситеритом и сфалеритом.

Самородный висмут образует сферические «капли» до 1–2 мм в полевошпат-кварцевых жилах, локализуясь в полостях кристаллов кварца; с ними тесно ассоциируют либо оксиды, либо **сульфотеллуриды** висмута. Строение «капель» самородного висмута секториально-зернистое с двойниковой структурой отдельных зерен, иногда сечение «капель» имеет однородный облик; в отдельных имеются микровключения самородного **золота** и редко – **жозеита-В** (рис. 1). Овальные выделения самородного золота локализованы по границам самородного висмута и окружающих его кайм сульфотеллуридов висмута. Размер самородного золота около 20 мкм, пробность 590–690 ‰.

Элементы-примеси в минералах висмутовой ассоциации

Методом лазерной абляции в минералах висмутовой ассоциации установлены в виде элементов-примесей: Sb, Pb, Ag, As и Se; такие, как Te, Au и отчасти Ag, – образуют самостоятельные минеральные фазы. Обособления самородного висмута без «оболочки» сульфотеллуридов характеризуются равномерно распределенными относительно низкими содержаниями элементов-примесей (рис. 2). Доминирующая здесь – примесь сурьмы (82 ppm), несколько ниже примесь мышьяка (28,6 ppm) и теллура (112,3 ppm). Только в краевой части зерна в окисленной зоне наблюдается всплеск As, Pb и следы Ag и Au.

В случае развития вокруг самородного висмута кайм сульфотеллуридов висмута распределение элементов-примесей приобретает другую картину. Так, большинство имеющихся элементов-примесей (Se, Ag, As, Pb) концентрируются в сульфотеллуридах, а примесь Sb в самородном висмуте может быть распределена как равномерно, так и зонально.

Обнаруженные в полостях кварцевых жил сферические образования самородного висмута, частично замещенные сульфотеллуридами, содержат микровключения самородного золота (рис. 1, д). При этом количественно (на порядок) и по разнообразию элементы-примеси преобладают в сульфотеллуриде (жозеите-А), кроме содержания Sb, которое колеблется в одинаковых пределах и в жозеите, и в самородном висмуте (Sb = 78–397 ppm; рис. 3).

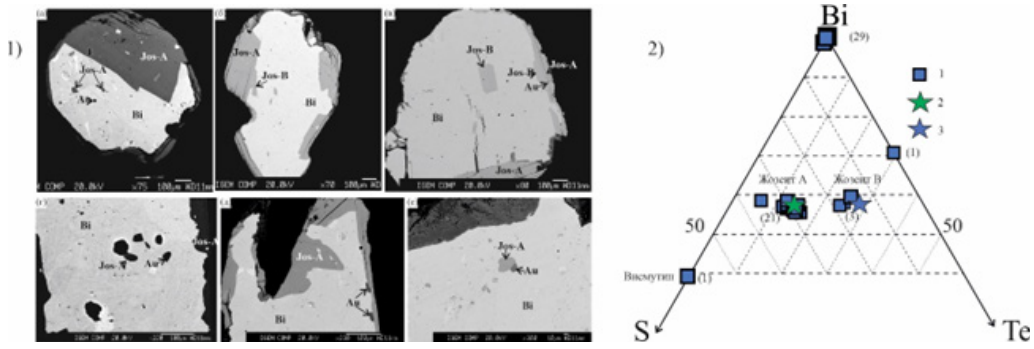


Рис. 1:
1) строение висмутовых агрегатов (BSE): а–в – «капли» самородного висмута секториального строения с каймами жозеита-А и Б и включениями самородного золота; г – самородный висмут с полисинтетическим двойникованием; д – самородный висмут с каймой жозеита-А и выделениями самородного золота по контакту между основными фазами; е – самородный висмут в «рубашке» оксидов висмута и включениями жозеита-А и самородного золота;
2) состав сульфотеллуридов висмута (в скобках – количество анализов)

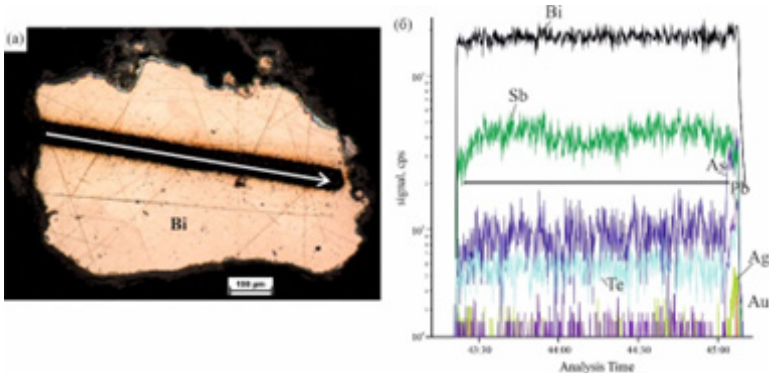


Рис. 2. Самородный висмут (а) с равномерным распределением примесей (б):
Sb = 82 ppm, As = 28,6 ppm, ^{125}Te = 112,3 ppm.
Коэффициенты корреляции: Bi-Sb = 0,9; Bi-Te = 0,8, As-Pb = 0,7, Pb-Ag = 0,6, Ag-Au = 0,1

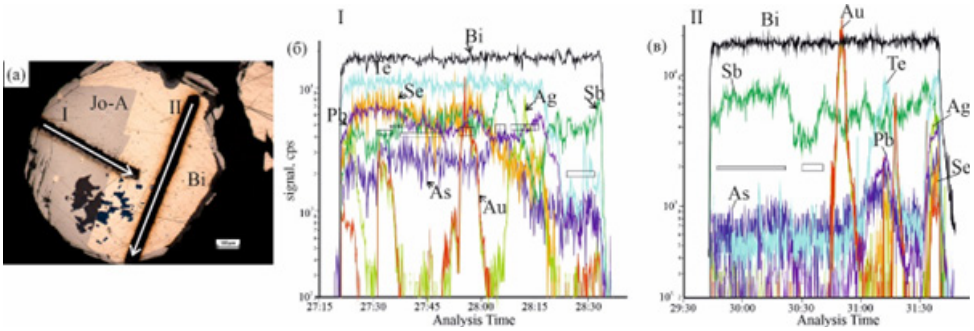


Рис. 3. Распределение элементов-примесей в висмутовой «капле», замещенной жозеитом-А:
в жозеите (профиль I) содержание примесей составляет: As = 152–283 ppm, Se = 130–350 ppm, Ag = 1,27–1360 ppm, Pb = 1900–8570 ppm, Au = 0–1480 ppm; в самородном висмуте (профиль II): As = 16–18 ppm, Se = 0–10 ppm, Ag = 0,19–1 ppm, Pb = 0,5–19 ppm, Au = 0,1–0,9 ppm. Коэффициенты корреляции в обоих профилях As-Se-Te-Pb = 0,7–0,8

Исследование флюидных включений в рудах

Изучено семь образцов кварца из рудных прожилков месторождения Отечественное. Два образца кварца с минералами висмута и один – с касситеритом содержали флюидные включения размером 15–30 мкм, пригодные для исследований. Гидротермальный флюид содержал хлориды Na, Mg и K – об этом свидетельствуют температуры эвтектики (от –27 до –31 °C). Двухфазовые газово-жидкие флюидные включения в кварце с минералами висмута гомогенизируются в жидкость при 334–378 °C, концентрация солей во флюиде изменяется $C_{солей}$ = 1,3–3,9 мас. %-экв. NaCl, плотность флюида $\rho_{фл}$ = 0,51–0,64 г/см^3. Двухфазовые газово-жидкие флюидные включения в кварце с касситеритом гомогенизируются в жидкость при 296–362 °C, $C_{солей}$ = 1,7–3,6 мас. %-экв. NaCl, $\rho_{фл}$ = 0,54–0,74 г/см^3. Оба типа прожилков формировались из флюидов сходного химического состава с близкими физико-химическими параметрами.

В природе самородный висмут может выделяться или из раствора в твердом виде, или, при температуре выше точки плавления (271 °C), – в виде расплавных капель металла, застывших позже [1, 4]. В нашем случае морфология висмутовых образований и термобарогеохимические характеристики вмещающего кварца (334–378 °C) соответствуют первично расплавному выделению висмута. Экспериментально доказано [3–5], что расплав висмута в гидротермальных флюидах поглощает золото, даже если эти флюиды не насыщены им, и в нашем случае золото, вероятно, захватывается висмутовым расплавом, а избыток Bi и Te при понижении температуры образует сульфотеллуридные каймы вокруг капель висмута.

Работа выполнена при поддержке проекта РФ в лице Минобрнауки России: № 075-15-2024-641.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Колонин Г. Р. О самородном висмуте как геологическом термометре. III. Природа двойникования висмута // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. – Новосибирск : Наука, 1966. – Т. IV. – С. 5–11.
2. Смоленкова Е. И., Стулов Н. Н., Чемоданов Н. И. К геологии и минералогии оловорудного месторождения «Отечественное». – Магадан : 1947 [фонды СВТГУ].
3. Ciobanu Cristiana L., Cook Nigel J., Pring Allan, Brugger Joël, Netting Angus, Danushevskiy Leonid. LA-ICP-MS evidence for the role of bi-minerals in controlling gold distribution in ores // IAGOD Conference. – Moscow : 2006.
4. Douglas N., Mavrogenes J., Hack A., England R. The liquid bismuth collector model: an alternative gold deposition mechanism // AGC Abstr. – 2000. – V. 59. – P. 135.
5. Tooth Blake, Ciobanu Cristiana L., Green Leonard, O'Neill Brian, Brugger Joël. Bi-melt formation and gold scavenging from hydrothermal fluids: An experimental study // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2011. – V. 75. – P. 5423–5443.

Уварова Е. А. (uvarova@tsnigri.ru), Вахрушев А. М. (vahrushev@tsnigri.ru), Мухина Г. Ю. (mukhina@tsnigri.ru), Федоренко С. В. (fedorenko@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ФГБУ «ЦНИГРИ»

Созданные в ФГБУ «ЦНИГРИ» цифровые ресурсы (ЕБГИ и ИР «ГРР на АБЦМ») значительно ускоряют процесс поиска, анализа данных и построения карт, необходимых для решения ключевых задач предприятия, а также позволяют уменьшить количество неточностей и технических ошибок.

Ключевые слова: цифровая трансформация, геологическая информация, сопровождение ГРР, АБЦМ, оценка прогнозных ресурсов, программные решения, веб-приложение, геоданные, NextGIS Web, веб-карты, сетевой информационный ресурс, геоинформационная система.

Воспроизводство минерально-сырьевой базы (МСБ) алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ) в Российской Федерации является одной из приоритетных задач, определяемых «Стратегией развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г.», Государственной программой «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации», действующей редакцией Государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» и другими программными документами. Значимой составляющей решения этой задачи являются ведущие направления деятельности ФГБУ «ЦНИГРИ»: научно-методическое сопровождение геолого-разведочных работ (ГРР) и формирование предложений по планированию ГРР на АБЦМ для составления пообъектного плана ГРР на твердые полезные ископаемые за счет средств Федерального бюджета; апробация и рецензирование материалов оценки прогнозных ресурсов АБЦМ в соответствии с Приказом Роснедр № 493 от 30.08.2024 г. «Об образовании Комиссии Федерального агентства по недропользованию по апробации результатов оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых (за исключением общераспространенных полезных ископаемых на участках недр местного значения)» в рамках Закона Российской Федерации № 2395-1 от 21.05.1992 г. «О недрах». Кроме того, Институт играет ключевую роль в обеспечении Роснедр информационно-аналитическими материалами в области своей компетенции и тесно взаимодействует с другими подведомственными предприятиями и недропользователями.

В рамках реализации Указа Президента Российской Федерации от № 474 21.07.2020 г. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» Протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам № 7 от 04.06.2019 г. утверждена национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», нацеленная на обеспечение внедрения цифровых технологий во всех областях экономики, в том числе и для геологической отрасли. В со-

временных реалиях производственные процессы ускоряются и необходим быстрый обмен результатами анализа данных и их визуализации. Геологическая информация представляет собой большое разнообразие форматов данных в силу того, что важно не только словесное описание и математические расчеты, но и расположение объектов на плоскости и в пространстве, а также динамика изменения их во времени. Нельзя также упускать момент, что важную роль играет оцифровка и анализ огромного массива ретроматериалов. Стремительное развитие информационных технологий позволяет упростить и повысить точность анализа данных и визуализации результатов.

В ФГБУ «ЦНИГРИ» используется объемный массив архивных и новых геологических данных: геологические отчеты, карты, документы по сопровождению ГРР на АБЦМ за счет средств федерального бюджета с целью выделения перспективных объектов с прогнозными ресурсами категорий P_1, P_2, P_3, материалы по оценке прогнозных ресурсов АБЦМ.

Для учета, накопления, безопасного хранения и доступности сотрудникам ФГБУ «ЦНИГРИ» геологической информации с 2022 г. функционирует Единый банк геологической информации ФГБУ «ЦНИГРИ» (ЕБГИ), который представляет собой Web-приложение (рис. 1). Приложение позволяет осуществлять поиск, получение кратких сведений об объектах учета. В ЕБГИ содержатся архивные отчеты и карты, материалы апробации прогнозных ресурсов, материалы ГРР. В разделах находятся реестры (рис. 2) и карты (рис. 3), отображающие геологические объекты. Предусмотрен переход между картами, реестрами и к папкам с материалами. В приложении для каждого пользователя создан личный кабинет, с помощью которого: автоматически формируется заявка из корзины, которая согласуется по электронной почте с руководством для предоставления доступа; осуществляется переход в раздел Nextcloud с материалами. Приложение разработано специалистами отдела ГИС на основе открытых технологий (Node.js, Vue.js, Vuetify, PostgreSQL, MongoDB, GeoServer, Express, Ubuntu). Доступ к файлам осуществляется через облачный сервис Nextcloud, в котором для каждого сотрудника создан личный кабинет.

В 2024 г. в рамках работы по Государственному заданию специалистами отдела ГИС ФГБУ «ЦНИГРИ» для более точного и быстрого решения вопросов, связанных с мониторингом проведения, научно-методического сопровождения, повышения эффективности текущих и планирования будущих ГРР на АБЦМ создан сетевой информационный ресурс «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» («ГРР на АБЦМ»). Данный ресурс представляет собой Web-приложение, содержащее тематические слои и сетевую карту, с которой могут работать пользователи с различными уровнями доступа (рис. 4). Сопровождение и ведение карты осуществляется ограниченным кругом сотрудников (администраторами).

В качестве платформы для реализации сетевого ресурса выбрано Web-приложение для карт и геоданных NextGIS Web, включенное в Реестр российского программного обеспечения.

Сетевой информационный ресурс «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» содержит слои:

1. Объекты ГРР на АБЦМ (завершенные, текущие, планируемые, резервные, предлагаемые для актуализации и дополнения планируемых ГРР);

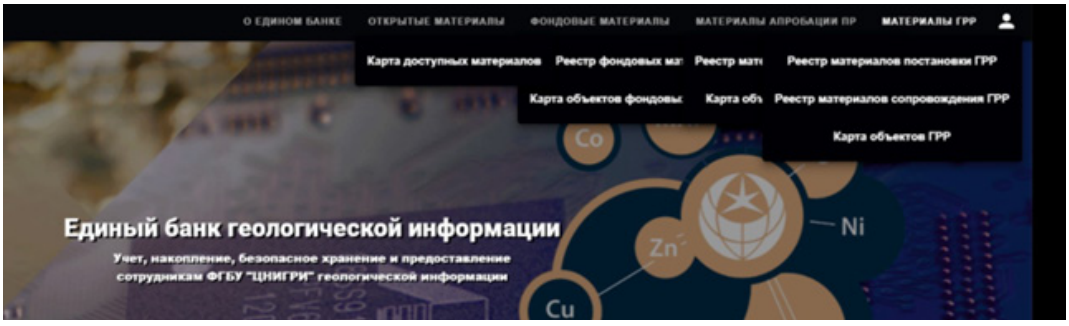


Рис. 1. Web-приложение ЕБГИ ФГБУ «ЦНИГРИ»



Рис. 2. Реестр ЕБГИ

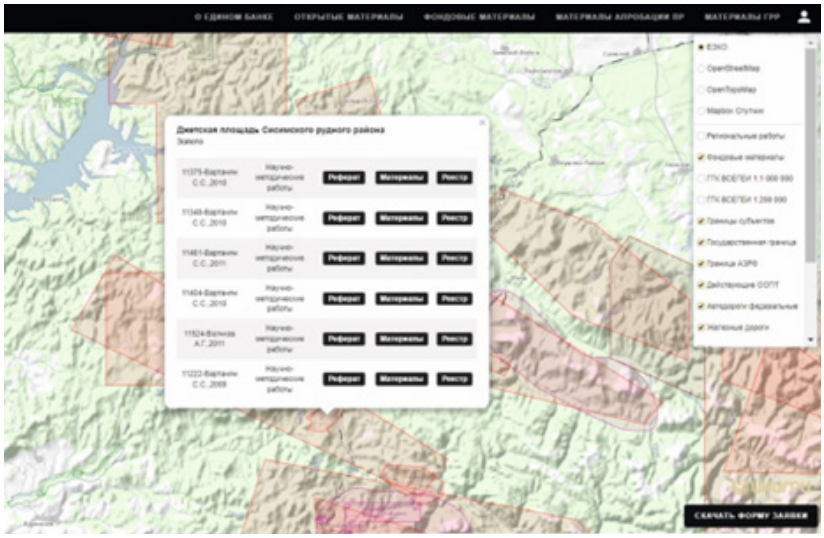


Рис. 3. Карта ЕБГИ

2. Площади апробации прогнозных ресурсов АБЦМ:

a. объекты с апробированными прогнозными ресурсами Протоколами ЦНИГРИ,

b. объекты с оцененными прогнозными ресурсами категории P_3 в результате геолого-съемочных работ по данным Института Карпинского;

c. объекты с поставленными на внутренний учет ЦНИГРИ прогнозными ресурсами;

d. объекты со снятыми и отклоненными прогнозными ресурсами;

e. участки с авторской оценкой

3. Контуры особо охраняемых природных территорий;

4. Площади действующих лицензий на право пользования недрами:

5. Контуры заявок на представление права пользования недрами;

6. Подложки (OSM, ЕЭКО Росреестра, топооснова ЦГКИПД, космоснимки, геологические карты (2 500 000, 1 000 000, 200 000)).

Для объектов завершенных ГРР указаны: названия участков и работ, период работ, ожидаемые результаты по геологическому заданию, полученные результаты (протоколы, заключения, названия участков с апробированными прогнозными ресурсами, виды полезных ископаемых, категории и количество прогнозных ресурсов).

Для текущих, планируемых, резервных и предлагаемых экспертами ЦНИГРИ объектов ГРР указаны названия участков и проектов работ, сроки работ, ожидаемые результаты. Информация по текущим, планируемым, резервным объектам представлена в соответствии с актуальным Приказом «Об утверждении пообъектного плана геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые за счет средств федерального бюджета» и предыдущими Приказами.

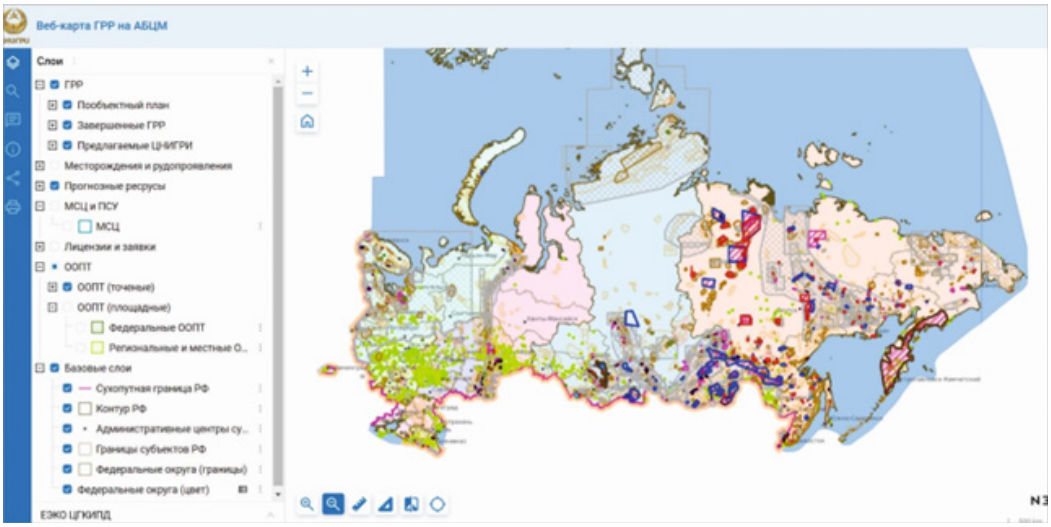


Рис. 4. Сетевой информационный ресурс «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы»

Для площадей с апробированными, поставленными на внутренний учет, снятыми и отклоненными прогнозными ресурсами; а также участков с авторской оценкой и оцененными ресурсами категории P_3 в результате геолого-съемочных работ по данным Института Карпинского указаны названия участков, статус апробации, категории и количество прогнозных ресурсов, номера протоколов и заключений экспертных групп.

Сетевой информационный ресурс «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» позволяет:

1. загружать растровые и векторные геоданные, формировать стили их отображения;
2. создавать и отображать интерактивные веб-карты;
3. публиковать карты и слои из NextGIS QGIS и обновлять их;
4. выполнять навигацию по веб-карте (увеличение, уменьшение, перемещение);
5. управлять наполнением веб-карты через веб-интерфейс;
6. гибко настраивать права доступа к слоям, группам слоев, веб-картам, картографическим сервисам и иным ресурсам системы;
7. обеспечивать совместное редактирование;
8. оставлять свои комментарии на карте для коллег;
9. получать атрибутивную информацию и прикреплять файлы.

Сетевой информационный ресурс «ГРР на АБЦМ» направлен на оперативный доступ к структурированным данным, их анализ с целью решения задач, связанных с мониторингом проведения, научно-методического сопровождения, повышения эффективности текущих и планирования будущих ГРР на АБЦМ в многопользовательском режиме. С помощью ресурса отслеживается история объектов и их взаимосвязь (какие работы проводились, проводятся или планируются, какие результаты получены или планируются). Данный проект также позволяет составлять графические приложения разных масштабов – от детальных схем участков работ до обзорных карт регионов и страны в целом.

Созданные в ФГБУ «ЦНИГРИ» цифровые ресурсы (ЕБГИ и ИР «ГРР на АБЦМ») значительно ускоряют процесс поиска, анализа данных и построения карт, необходимых для решения ключевых задач предприятия, а также позволяют уменьшить количество неточностей и технических ошибок.

Устинов С. А. (stevesa@mail.ru), Петров В. А. (vlad243@igem.ru),
Свечеревский А. Д. (alexey@svecherevskiy.ru), Кочкин И. А. (stoptrollface@gmail.com)
ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва

СОЗДАНИЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО ПОЯСА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМАСШТАБНОЙ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЛИНЕАМЕНТОВ

На основе авторской методики выделения и мультимасштабной тектонофизической интерпретации линеаментов, включая расчет тенденции к сдвигу, для западной части Байкало-Патомского пояса созданы разномасштабные прогнозно-поисковые модели полезных ископаемых с учетом выявленных этапов тектогенеза.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, цифровая модель рельефа, линеаментный анализ, разлом, тектонофизический анализ, структурно-геоморфологический метод, поле напряжений-деформаций, Байкальская складчатая область, Байкало-Патомский пояс.

Для идентификации разрывных структур в пределах обширных площадей часто применяется линеаментный (структурно-геоморфологический) анализ. Термин «линеамент» уже более ста лет назад предложил американский геолог У. Хоббс [7]. В силу отсутствия других методов достоверной массовой идентификации разрывных структур, линеаментный анализ служит как наиболее эффективный дистанционный метод реконструкции каркаса разрывных нарушений и глубинного тектонического строения территорий [2].

При проведении структурно-геоморфологического (СГ) анализа исследователи чаще всего выделяют одноранговые, обычно непротяженные, линеаменты, не учитывая при этом масштабный эффект в развитии интерпретируемых разрывных структур. Данный эффект заключается в изменении каких-либо свойств объектов и материалов при варьировании их геометрических параметров, что справедливо и для разрывных нарушений [4]. Кроме того, главной проблемой является достоверное выделение разноранговых разрывных структур и их методически верная тектонофизическая интерпретация в контексте геологической истории развития исследуемой территории.

Байкало-Патомский пояс (БПП), западная часть которого рассмотрена в качестве объекта исследования, входит в структуру Байкальской складчатой области, являющейся, в свою очередь, элементом Центрально-Азиатского подвижного пояса. В контексте актуальности результатов представляемого исследования необходимо отметить, что территория западной части БПП характеризуется крайне сложным тектоническим строением. Здесь распространены разрывные нарушения, имеющие северо-западную, северо-восточную, реже близширотную и субмеридиональную ориентировки. Разрывные нарушения северо-западной ориентировки, несмотря на четкую выраженность в рельефе, изучены слабо и выявляются в основном по геофизическим и дистанционным данным [3]. Большая часть разрывных нарушений неоднократно подновлялась в течение длительной геологической истории развития территории, что привело к формированию мощных зон катаклаза, милонитизации и рассланцевания пород. Во многих случаях современная гидросеть наследует черты и определяется тектоникой, что позволяет использовать СГ анализ для достоверной реконструкции геометрических параметров каркаса разрывных нарушений.

С точки зрения металлогении территория входит в Саяно-Забайкальскую провинцию и Байкало-Патомскую минерагеническую субпровинцию. Известные рудные объекты включены в Чуйско-Тонодскую золото-редкометалльно-урано-железорудную минерагеническую зону.

Линеаменты в представляемой работе выделялись на основе цифровой модели рельефа (ЦМР), что обеспечивает более точное обнаружение большего количества линейных элементов. С целью визуализации ЦМР использовались данные FABDEM с пространственным разрешением 30 м на пиксель [6]. Для выделения линеаментов применялось разработанное авторами программное обеспечение (ПО) на основе нейросетевых технологий [1]. Для учета масштабного эффекта пространственное разрешение ЦМР с последовательным шагом занижалось, и проце-

дура выделения линейных элементов повторялась. Это позволило установить тренды ориентировок основных разломных структур на трех масштабных уровнях – локальном, региональном и надрегиональном.

Для реконструкции параметров поля напряжений-деформаций (ПНД), кинематики основных разломов и этапов тектогенеза на основе интерпретации выделенных линеаментов на различных масштабных уровнях использована модель формирования разрывов в зоне сдвига, предложенная П. Л. Хэнкоком [5]. Для автоматизации данной задачи написано ПО Lineament Stress Calculator (автор А. Д. Свечеревский).

На основе реконструкции параметров ПНД на различных масштабных уровнях удалось для каждого уровня реконструировать этапы тектогенеза, характеризующиеся определенными ориентировками осей сжатия и растяжения. Это позволило рассчитать коэффициент тенденции к сдвигу и визуализировать наиболее гидравлически активные сегменты разрывных структур на конкретном этапе тектогенеза.

Таким образом, установлены три последовательных этапа смены параметров ПНД, характеризующихся: I) субширотной – восток-северо-восточной, II) северо-восточной и III) северо-западной ориентировками оси максимального сжатия. Первый этап проявлен на всех масштабных уровнях и, наиболее вероятно, отвечает древним процессам аккреционно-коллизионного взаимодействия окраины Сибирского кратона с микроконтинентами и островодужными террейнами. Второй и третий этапы проявлены исключительно на локальном уровне и коррелируют с формированием субширотных сдвигов и надвигов в северо-западном направлении, соответственно.

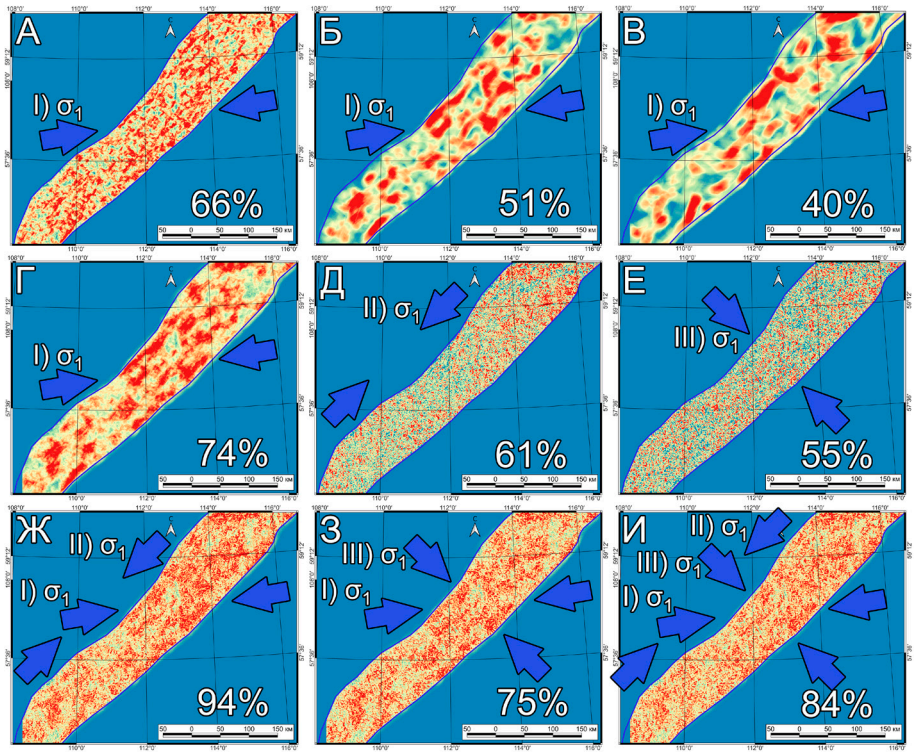


Рисунок. Разномасштабные прогнозно-поисковые модели полезных ископаемых западной части Байкало-Патомского пояса с учетом выявленных этапов тектогенеза:
А – для линеаментов локального масштабного уровня с учетом I этапа тектогенеза; Б – для линеаментов регионального масштабного уровня с учетом I этапа тектогенеза; В – для линеаментов надрегионального масштабного уровня с учетом I этапа тектогенеза; Г – комплексная для линеаментов всех масштабных уровней с учетом I этапа тектогенеза; Д – для линеаментов локального масштабного уровня с учетом II этапа тектогенеза; Е – для линеаментов локального масштабного уровня с учетом III этапа тектогенеза; Ж – для разномасштабных линеаментов с учетом I и II этапов тектогенеза; З – для разномасштабных линеаментов с учетом I и III этапов тектогенеза; И – для разномасштабных линеаментов с учетом I, II и III этапов тектогенеза. Значения процентов указывают на точность созданной модели. Синие стрелки – ориентировка оси максимального сжатия на определенном этапе тектогенеза

Полученные результаты легли в основу создания разномасштабных прогнозно-поисковых моделей полезных ископаемых территории с учетом выявленных этапов тектогенеза (рисунок). Установлено, что наибольшую роль в локализации металлического оруденения сыграли первый и второй этапы тектогенеза. В этом случае точность комплексной модели составила 94 %.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00218, https://rscf.ru/project/24-27-00218/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришков Г. А., Нафигин И. О., Устинов С. А., Петров В. А., Минаев В. А. Разработка методики автоматического выделения линеаментов на основе нейросетевого подхода // Исследование Земли из космоса. – 2023. – № 6. – С. 86–97.
2. Кац Я. Г., Полетаев А. И., Румянцева Э. Ф. Основы линеаментной тектоники. – М. : Недра, 1986. – 144 с.
3. Митрофанова Н. Н., Болдырев В. И., Коробейников Н. К., Митрофанов Г. Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-49 – Киренск. Объяснительная записка. – СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 607 с.
4. Петров В. А., Леспинас М., Полуэктов В. В., Устинов С. А., Минаев В. А. Масштабный эффект в сети флюидопроводящих разрывов // Геология рудных месторождений. – 2019. – Т. 61, № 4. – С. 3–14.
5. Hancock P. L. Brittle microtectonics: principles and practice // Journal of Structural Geology. – 1985. – V. 7, № 3/4. – P. 437–457.
6. Hawker L., Uhe P., Paulo L., Sosa J., Savage J. T., Sampson C. C., Neal J. C. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed // Environmental Research Letters. – 2022. – V. 17. – № 2. – 24016.
7. Hobbs W. H. Lineaments of the Atlantic Border Region // Geological Society. American Bulletin. – 1904. – V. 15. – P. 483–506.

Федоров Д. Т. (dtfedorov@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ТРЕНДЫ МИРОВОГО РЫНКА МЕДИ

Рассмотрены состояние и перспективы мирового рынка меди, динамика спроса и предложения. Дается ценовой прогноз в условиях ожидаемого роста добычи и потребления меди.

Ключевые слова: медь, производство, потребление, мировой рынок, цены, баланс рынка.

Ежегодно в мире используется более 27 млн тонн рафинированной меди, что делает ее, особенно с учетом курса на «зеленую» экономику, важнейшим промышленным металлом. При этом динамика рынка имеет высокую корреляцию с показателями мировой экономики. Высокая электропроводность, теплопроводность, пластичность и коррозионная устойчивость меди обусловили значительный объем ее применения в различных областях промышленности. Порядка трех четвертей всей выпускаемой в мире рафинированной меди используются в производстве электропроводников, включая различные виды кабелей и проводов.

В 2023 г. мировое потребление рафинированной меди составило 26,3 млн тонн, увеличившись на 3 % по сравнению с 2022 г., преимущественно за счет роста спроса в производстве кабельно-проводниковой продукции. Главным мировым потребителем меди оставался Китай, доля которого в 2023 г. выросла до 57 %, поскольку, преодолев последствия пандемии, страна активно восстанавливала свою экономику, увеличив внутренний спрос на 6 % до 14,5 млн тонн. При этом в Европе и Северной Америке потребление снизилось на 4–5 % г/г до 3,1 млн и 2,1 млн тонн соответственно. По предварительным оценкам, в 2024 г. мировое потребление вы-

росло на 4,5 % до 27,5 млн тонн, что было связано с восстановлением темпов роста мировой экономики. В 2025 г. прогнозируется рост на 4 % до 28,6 млн тонн, а в 2026–2027 гг. среднегодовой рост темпов мирового потребления составит около 3–4 %, что позволит ему преодолеть отметку в 30 млн тонн. Спрос на медь поддерживается правительственными инфраструктурными проектами (например, в Китае и США), а также экологическими инициативами и связанными с ними «зелеными» проектами, поскольку растет выпуск электромобилей, установок для солнечной и ветровой электрогенерации.

Производство рафинированной меди в мире в 2023 г. увеличилось на 5 % г/г, составив 26,4 млн тонн. Наибольший рост выпуска (на 9 %, до 11,5 млн тонн) продемонстрировал Китай, продолжающий расширять плавильные и рафинировочные мощности, и доля страны в мировом производстве достигла 45 %. Лишь около 20 % китайского производства обеспечиваеются собственной добычей, а остальное – за счет импорта медных концентратов и лома. По оценкам, в 2024 г. мировое производство выросло на 5,5 % до 27,9 млн тонн, в 2022 г. прогнозируется его рост на 4,6 % до 25,3 млн тонн, а в 2026–2027 гг. среднегодовой рост темпов производства составит около 2 %, до 30,5 млн тонн в 2027 г.

После сбалансированного предыдущего года в 2024 г., по предварительным оценкам, рынок находился в состоянии умеренного профицита (0,4 млн т), общие биржевые запасы к концу года выросли до 0,5 млн т, что соответствует чуть более чем семи дням мирового потребления. Предполагается, что в 2025–2026 гг. рынок будет находиться в состоянии профицита (0,2–0,5 млн т), а в 2027 г. вернется дефицит в 0,3 млн т. Опережающий рост спроса будет компенсироваться увеличением сбора и переработки медных ломов в условиях высоких цен, а также ростом добычи в результате дополнительного вовлечения в переработку относительно более бедных руд (забалансовых при низких ценах).

Начав 2024 г. с уровня $ 8400/т, цена на медь взлетела до своего годового максимума в $ 10 775/т в середине мая. Рост был вызван фундаментальными факторами, такими как ограниченные поставки концентрата, многочисленными прогнозами о неизбежном дефиците рафинированной меди и спекуляциями о сокращении ее производства в Китае. Новости о закрытии рудника Cobre Panama (~ 350 кт в год) в конце ноября 2023 г. и решение Anglo American сократить свои производственные планы по меди на 2024 и 2025 гг. вызвали опасения по поводу недостаточного предложения от рудников. С конца мая цена меди начала снижаться. Эта тенденция была обусловлена несколькими факторами, включая неопределенность со спросом в Китае, а также геополитической нестабильностью в мире и снижением экономической активности в Европе. К концу года цена установилась на уровне $ 8800/т. Средняя цена меди в 2024 г. составила 9145 долл. США за тонну.

Аналитики прогнозируют, что благодаря повышенному спросу на металл цена меди в ближайшие годы сохранится на высоком уровне и ее среднегодовые значения будут плавно расти от 9200 в 2025 г. до 9600 долл. США за тонну в 2027 г.

По предварительным оценкам, в 2024 г. мировая добыча меди выросла на 2 % до 22,7 млн тонн, а в 2025–2027 гг. среднегодовой рост темпов производства может составить 1,5–3 %. Ведущими мировыми производителями меди являются чилийская государственная компания Codelco, а также BHP и Freeport-McMoRan (более 1 млн т меди каждая в 2023 г.). В число крупнейших также входят Glencore, Southern Copper и китайская Zijin Mining. Крупнейшим медным рудником является чилийский рудник Escondida (1,1 млн т меди в 2023 г.), управляемый компанией BHP.

По данным Геологической службы США (USGS), суммарные запасы меди категории Proved & Probable Reserves в мире составляют по состоянию на 2024 г. около 1000 млн т, а прогнозные ресурсы (Measured & Indicated Resources) – порядка 2100 млн т. Таким образом, при текущем уровне добычи промышленность обеспечена запасами меди на 35 лет, а с учетом ресурсов – более чем на 75 лет. Крупнейшими запасами обладает Чили (около 190 млн т в пересчете на медь). За ней следуют Перу (120 млн т), Австралия (100 млн т), ДР Конго и Россия (по 80 млн т).

По расчетам аналитиков (доступным на настоящее время), после заметного (-24 %) снижения до 1,76 млрд долл. США в 2020 г. вследствие пандемии в 2021 г. затраты на разведку

месторождений меди в мире выросли на 32 % г/г и составили 2,31 млрд долл. США. Исторически за последние 15 лет максимальные затраты (4,7 млрд долл.) пришлись на 2012 г., а минимальные (1,58 млрд долл.) – на 2016 г. Отмечается высокая корреляция между ценами на медь и средствами, которые компании готовы выделять на поисково-разведочные работы. Максимальные затраты на поиски и разведку месторождений меди в 2021 г. приходились на Чили (400 млн долл. США), США (360 млн долл.), Австралию (300 млн долл.), Канаду (200 млн долл.) и Перу (150 млн долл.).

Растущий спрос будет стимулировать увеличение добычи меди 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 2023 г. [Электронный ресурс]. – URL: https://ar2023.nornickel.ru/strategic-report/commodity-markets/copper
2. Крушение надежд: дешевеющая медь намекает на затяжной спад мировой экономики – Forbes, 22 ноября 2024. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.forbes.ru/biznes/513223-doktor-med-daet-nadezdu-dorozausij-metall-predrekaet-rost-mirovoj-ekonomiki
3. Обзор рынка металлов ПАО «ГМК «Норильский никель» за дек. 2024 г. [Электронный ресурс]. – URL: https://nornickel.ru/investors/reports-and-results/commodity-research/
4. International Copper Study Group. Copper Market Forecast 2024/2025. Sep. 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://icsg.org/press-releases/
5. LME Copper Official Prices. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.lme.com/en/Metals/Non-ferrous/LME-Copper#Averages
6. Mineral Commodity Summaries 2024 by U.S. Geological Survey. [Электронный ресурс]. – URL: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024.pdf
7. S&P Global Market Intelligence. Copper global supply-demand balance, June 2023.

Филатова Л. К. (filatova.lk@mail.ru), Филатов Е. И.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КРЕМНЕКИСЛЫХ ВУЛКАНИТОВ КОЛЧЕДАНОНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ ФАНЕРОЗОЯ (НА ПРИМЕРЕ РУДНОГО АЛТАЯ)

Предпринята попытка рассмотреть общие черты вулканических образований кремнекислого состава палеотипных вулканов колчеданоносных формаций фанерозоя, сформированных в подводных условиях. Предложено обоснование принадлежности одного из типов риолитов к игнимбритам. Установлено отсутствие в составе девонской рудоносной контрастной базальт-риолитовой формации Рудного Алтая вулканитов промежуточного (андезитового) состава между базальтами и риолитами. Предлагается использование повышенной хлоритизации и серицитизации кислых стёкол в игнимбритах в качестве одного из поисковых признаков для обнаружения колчеданно-полиметаллической минерализации.

Ключевые слова: кремнекислые вулканиты, кислые стёкла, вулканические породы, риолиты, игнимбриты, рудоносная формация, газонасыщенные вулканиты.

Вулканиты – один из наиболее сложных объектов изучения в геологии, особенно это касается палеотипных вулканических комплексов, сформированных в подводных условиях, на которые практически не распространяется метод актуализма, основанный на сравнительном анализе вулканитов прошлых эпох с современными вулканитами, сформированными в подавляющем большинстве в наземных условиях.

В разных количествах кремнекислые вулканиты присутствуют практически во всех региональных геодинамических структурах (древние континенты и микроконтиненты, континен-

тальные плиты, континентальные окраины, островные дуги, окраинные моря, краевые вулканоплутонические пояса, коллизионные структуры, структуры внутриплитного магматизма). Однако рудоносными колчеданоносными формациями являются контрастные риолит-базальтовая и базальт-риолитовая (уральский и алтайский тип рудных районов), а также базальтовая, дацитсодержащая (кипрский тип) и последовательно дифференцированная базальт-андезит-дацит-риолитовая (тип куроко) [7]. Кислые вулканиты во всех типах колчеданоносных формаций имеют общие черты внутреннего строения и сходный петрографический состав. Отличия заключаются в их петро-геохимических свойствах [6].

Петрографическая, петрохимическая и геохимическая характеристика рудовмещающих кремнекислых вулканитов девонской продуктивной формации Рудного Алтая достаточно убедительно свидетельствует о правомерности выделения среди них двух разновидностей по степени газонасыщенности исходных расплавов: это производные высокотемпературной «сухой» вязкой магмы, обеднённой летучими компонентами, и производные флюидизированной подвижной магмы остаточных расплавов-рассолов. Наиболее важна и интересна группа вулканитов второго типа, отвечающая по всей совокупности петрографических и геологических признаков игнимбритам [2, 4, 5, 9]. Почти идентичные по химическому составу вулканиты обоих типов значительно отличаются по петрографическим признакам, что связано с составом летучих компонентов исходных магм и режимом их отделения от расплавов [3]. Породы этой группы (игнимбриты) распространены значительно шире, чем кислые вулканиты, производные вязких магм. Игнимбритовый магматизм носит черты подводных излияний и играет значительную роль в составе кремнекислых толщ колчеданоносных формаций [1]. Кремнекислые вулканиты формации относятся к пересыщенным кремнезёмом, обеднённым кальцием, титаном, глинозёмом (газонасыщенные – к тому же обогащены магнием и железом). По этим параметрам рассматриваемые вулканиты уступают недосыщенным этими окислами риолитам контрастных формаций колчеданоносных районов уральского типа. От них они также отличаются повышенным содержанием среди щелочей калия и пониженным – натрия, что сближает их с риолитами краевых вулканических поясов [6].

При анализе среднего химического состава риолитов рудоносной формации и гранитоидов среднего-верхнего девона устанавливается практически полная их совместимость, за исключением коэффициента железистости, который выше в вулканитах и указывает на степень их окисленности. Близки в них также отношения калия к рубидию, а также характер распределения главных породообразующих окислов. То есть исходный гранитный расплав можно рассматривать как гомогенный, послуживший источником для формирования разных по степени газонасыщенности расплавов, давших в итоге два типа кремнекислых вулканитов [9].

В разрезе контрастной формации отсутствуют вулканические породы промежуточного состава между кислыми и основными членами формации. Однако нередко интенсивная хлоритизация кислых стёкол в игнимбритах, не типичная для кремнекислых вулканитов, и присутствие в них фенокристаллов оливина и пироксенов служили основанием для отнесения этих вулканитов к породам повышенной основности (главным образом – андезитам) [10].

Замечено, что рудная минерализация обнаруживает пространственную приуроченность к площадям развития игнимбритов, характеризующихся повышенной степенью хлоритизации или серицитизации вулканического стекла. Последняя связана с диагенетической аллохимической (аддитивной по В. И. Чернову, 1974) девитрификацией, происходящей в газонасыщенных перлитовых стеклах, восприимчивых к реакциям замещения, и указывает на связь вулканических растворов, преобразовавших данные вулканиты, с рудным процессом [9].

Кремнекислые вулканиты являются обязательной составляющей рудоносных колчеданоносных формаций, непосредственная рудогенерирующая роль среди них, несомненно, принадлежит вулканитам второго типа (игнимбритам).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин В. В., Дороговин Б. А., Округин В. М. Признаки ликвации в среднедевонских вулканогенных породах (Лениногорский район, Рудный Алтай) // Вест. МГУ. Геология. – 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 // Вестн. 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. 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. Петрологический анализ девонских вулкано-плутонических ассоциаций колчеданоносных формаций Российской части Рудного Алтая // Материалы Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т. 1. – М., 2005.
10. Филатова Л. К. Геолого-петрографические особенности рудоносной базальт-риолитовой формации северо-западной части Рудного Алтая // Труды региональной конференции «Перспективы развития минерально-сырьевой базы Алтая». – Барнаул, 1990.
11. Филатова Л. К., Филатов Е. И. Кремнекислые вулканиты девонской базальт-риолитовой формации Рудного Алтая // Вестник РУДН. Инженерные исследования. – 2015. – № 1. – С. 37–43.

Филиппова С. С.[1] (s.philippova@ciklomen.eu), Сабанский А. Г.[2]
[1] ООО «Цикломен Балкан», г. Белград, Сербия; [2] Великий Майдан, г. Любовия, Сербия

СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРБИИ

Приведены данные о действующих свинцово-цинковых объектах Сербии.

Ключевые слова: месторождение Рудник, месторождение Великий Майдан, месторождение Сребреница, свинец, цинк.

Альпийско-Балканско-Карпатско-Динарский пояс является одним из старейших горнодобывающих районов мира, всегда игравших важную роль в истории европейских цивилизаций. История разработки некоторых месторождений началась в доисторические времена, задолго до пика греческой и римской цивилизаций и продолжается в наше время. Сегодня это главная европейская провинция Cu-Au месторождений (по запасам меди Сербия занимает 23-е место в мире и 3-е в Европе) и Pb-Zn-Ag месторождений.

Свинцово-цинковые месторождения некрупные, но весьма значительны для экономики страны. Подземный способ добычи на рудниках позволяет селективно отрабатывать рудные тела с минимальным разубоживанием. Поэтому несмотря на относительно небольшие объемы производства, эксплуатация их достаточно рентабельна за счет отработки руды с повышенным содержанием ценных компонентов.

Месторождения были образованы в альпийскую металлогеническую эпоху в два этапа: первый был вызван субдукцией и последующим образованием дуги в период с позднего мела до раннего эоцена, а второй – в период олигоцена–плиоцена – связан с постколлизионным магматизмом [1, 2]. Pb-Zn минерализация приурочена к осадочным породам, в основном карбонатным, и обусловлена палеоген-неогеновыми вулканоплутоническими событиями.

Месторождение Рудник находится в центральной Сербии, оно является одним из старейших горнорудных предприятий в мире. Начало добычи полезных ископаемых в Руднике от-

носится к палеометаллической эпохе, переходу от бронзового века к железному, более 3000 лет до нашей эры [3]. В настоящее время добыча происходит подземным способом, с дальнейшей подачей на обогатительную фабрику. Запасы месторождения Рудник оцениваются в 3 млн т руды, из них порядка 700 тыс. т категории A+B, 1100 тыс. т – категории C_1 и 1200 тыс. т – категории C_2. Содержания полезных компонентов в рудах составляют: свинца – до 2 %, цинка – до 2 %, меди – до 0,5 %, серебра – до 40 г/т. Годовая производительность предприятия 300 тыс. т руды в год.

Veliki Majdan – предприятие, расположенное на востоке Сербии возле города Любовия. Шахта была образована после Второй мировой войны в 1952 г., а в 1953 г. на ней началась разработка свинцово-цинковой руды и производство свинцово-цинкового концентрата. После распада Югославии вновь запущено в работу в 2007 г. Добыча происходит подземным способом, руда подается на флотационную фабрику. Запасы и ресурсы составляют только 200 тыс. т руды со средним содержанием Pb 6,93 %, Zn 4,37 % и Ag 219 г/т при мощности предприятия 50 тыс. т руды в год. Производит 3000 т богатого серебром свинцового и 3200 т цинкового концентратов в год.

BosilMetal – горный проект на стадии начала строительства добычного и перерабатывающего предприятия. Проект находится на юге Сербии возле города Босилеград. Добыча происходит подземным способом с последующей подачей на флотационную фабрику. Запасы составляют 3,15 млн т руды категории $A+B+C_1$ и 2 млн т руды категории C_2. Мощность предприятия 250 тыс. т руды в год. Планируется производить 8000 т свинцового, 10 000 т цинкового и 2000 т медного концентратов.

Gross – предприятие находится в Республике Сербской (БиГ) в районе города Сребреница. После распада Югославии вновь запущено в работу в 2006 г. Добыча происходит подземным способом, руда подается на флотационную фабрику. Запасы составляют 4 млн т руды, ресурсы – 4 млн т руды. Мощность предприятия 320 тыс. т руды в год. Производит 8500 т свинцового и 15 500 т цинкового концентратов в год.

Kazani – геологоразведочный проект с балансовыми запасами, готовый к отработке. Находится в непосредственной близости к предприятию Gross и является дополнительной его ресурсной базой. Открытый способ добычи. Запасы составляют 200 тыс. т руды, ресурсы 800 тыс. т руды. Мощность 100 тыс. т руды в год. За период 1986–1989 гг., когда происходила открытая эксплуатация, из Казани было добыто около 145 тыс. т руды, и этот период связан с наибольшими объемами добычи при работе рудника. Среднее содержание около 4 % Pb, 7 % Zn и 57 г/т Ag.

Ravnaja – геологоразведочный проект с балансовыми запасами, готовый к отработке. Находится в непосредственной близости к предприятию Veliki Majdan и является дополнительной его ресурсной базой. Предполагается как отработка карьером, так и подземный способ добычи. Запасы составляют 500 тыс. т руды + ресурсы 200 тыс. т руды. Мощность 50 тыс. т руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Janković S. The Carpatho-Balkanides and adjacent area: a sector of the Tethyan Eurasian Metallogenic Belt // Miner. Depos. – 1997. – V. 32. – P. 426–433.
2. Heinrich C. A., Neubauer F. Cu–Au–Pb–Zn–Ag metallogeny of the Alpine–Balkan–Carpathian–Dinaride geodynamic province // Mineral. Depos. – 2002. – V. 37. – P. 533–540.
3. Popović R., Umeljić G. Metalogenija planine Rudnik (pozicija u vremenu i prostoru). – Beograd, 2015. – 224 p.

Фридовский В. Ю. (fridovsky@diamond.ysn.ru)
ФГБУН ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОЛОТА ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИХ ОРОГЕННЫХ ПОЯСОВ ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОГО КРАТОНА

Рассматривается металлогения аккреционных и коллизионных орогенных систем Аи восточной окраины Сибирского кратона. Решающее значение для металлогении Яно-Колымского и Охотско-Корякского орогенов имело обогащение субкоровой литосферной мантии при субдукции слэба океанической коры на конвергентных окраинах кратона.

Ключевые слова: металлогения золота, коллизия, субдукция, восточная окраина Сибирского кратона.

На юго-западной, южной и восточной периферии Сибирского кратона известны самые крупные орогенные золоторудные месторождения России. Они приурочены к орогенным поясам и тесно связаны с их развитием, начиная с этапа осадконакопления на пассивных окраинах кратона, диагенеза и последующих складчато-надвиговых деформаций, метаморфизма и магматизма. Обычно с аккреционным / коллизионным орогенезом связан один импульс развития региональных орогенных золоторудных систем. В Енисейском кряже образование золото-кварцевых месторождений (Советское, Эльдорадинское и др.) коррелируется с завершением в раннем неопротерозое коллизии, развитием шарьяжно-надвиговых структур и метаморфизма [2]. В Байкало-Патомском поясе (месторождение Сухой Лог и др.) основной объем прожилково-вкрапленных руд формировался в позднем ордовике–силуре синхронно с гранитоидами мамского комплекса и аккреционно-коллизионными процессами в южном обрамлении Сибирского кратона [1, 3]. Проявлен также поздний этап ремобилизации, связанный с герцинской тектоно-магматической активизацией и образованием гранитоидов Ангаро-Витимского батолита [3]. На восточной окраине Сибирского кратона в коллизионном Яно-Колымском и аккреционном Охотско-Корякском орогенных поясах с позднеюрскими-раннемеловыми тектоно-металлогеническими событиями ассоциируют несколько этапов формирования орогенных золоторудных месторождений [4]. Несмотря на появление моделей многоэтапной орогенной золотой минерализации, связанной с одним региональным тектоническим событием [7], ее контроль и связь с геодинамическим развитием и глубинными геологическими процессами остается дискуссионной.

Орогенные золоторудные месторождения восточной окраины Сибирского кратона имеют как общие, так и специфические характеристики рудообразующих систем, обусловленные тектоническим режимом и условиями металлогенеза. Определяющими являются различные геодинамические обстановки (субдукционно-аккреционная и коллизионная) и особенности корово-мантийного взаимодействия в поздней юре–раннем мелу на Палео-Арктической и Палео-Тихоокеанской конвергентных окраинах Сибирского кратона [5, 6].

Орогенные золоторудные месторождения Яно-Колымского пояса (Дражное, Мало-Тарынское, Хангаласс, Бадран и др.) локализуются в протяженных транскоровых разломах (Адыча-Тарынский, Чай-Юрьинский) или оперяющих их разломах второго / третьего порядка. Имеющиеся данные изотопного датирования руд месторождений образуют титонский и валанжинский кластеры, которые согласуются со временем остывания гранитных плутонов. Ранние и поздние орогенные месторождения имеют сходный минералого-геохимический состав. Обычны вкрапленные мышьяковистый пирит и арсенопирит с невидимым золотом, кварцевые жилы с самородным золотом, сульфидами и сульфосолями Fe, Pb, Zn, Cu. Проявлена наложенная Ag, Sb и реже – Hg минерализация. Оруденение контролируется компрессионными структурами, сформированными при ЮЗ транспорте пород. Изотопно-геохимические данные (S, O) характерны для метаморфических и субкоровых рудообразующих систем. Модель формирования этих месторождений предполагает решающее значение обогащения субкоровой литосферной мантии при субдукции слэба Оймяконского малого океанического бассейна для позднеюрской-раннемеловой металлогении ЯКО

Титон-аптское орогеное золотое оруденение Аллах-Юньской зоны Охотского-Корякского орогена ассоциирует с тектоно-термальными компрессионными событиями в тылу Удско-Мур-

гальской вулкано-плутонической дуги. Здесь проявлены ранне- и позднеорогенные золоторудные месторождения, связанные с двумя дискретными орогенными минерализационными событиями [4]. Позднеюрские раннеорогенные месторождения с согласными стратифицированными жилами в каменноугольных отложениях контролируются пластическими деформациями шеар зон и сопровождаются ранним зеленосланцевым дислокационным метаморфизмом (Булар, Оночолах, Хотунское, Дуэт, Юр и др.). Они характеризуются наиболее простым минеральным составом. В составе жил преобладает кварц (95 %) с примесью альбита и карбонатов. Количество сульфидов не превышает 1 %. Среди них наибольшее значение имеет арсенопирит, заметно меньшее – пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда и золото. Для раннеорогенных золоторудных месторождений предполагается участие в рудообразовании фертильной сублитосферной мантии.

Позднеорогенные месторождения (Нежданинское, Задержнинское, Маринское и др.) формировались в апте субсинхронно с крупными надсубдукционными гранитоидными массивами и поздним дислокационным метаморфизмом. Они локализуются в каменоугольно-пермских отложениях и контролируются хрупкими разломами. Вещественный состав этих месторождений обычно сложный. Это связано с наложением на золото-сульфидно-кварцевый этап минералообразования посторогенного серебро-полиметаллического и золото-висмутового этапов. Флюиды позднеорогенных месторождений были обогащены рудными элементами при астеносферном апвеллинге в тылу активной континентальной окраины. Месторождения формировалось в условиях компрессии и западного транспорта пород при смене тектонической обстановки на восточной активной континентальной окраине Сибирского кратона, вероятно, связанной с изменением в начале аптского века динамики плит в северной части Палео-Пацифики.

Полученные результаты позволяют лучше понять металлогению пространственно перекрывающихся аккреционных и коллизионных орогенных систем Au на конвергентных окраинах кратонов, что важно для оценки их потенциала.

Базовое финансирование поддержано государственным заданием ИГАБМ СО РАН (проект FUFG-2024-0006), анализ раннемеловой металлогении поддержан РНФ (грант № 23-47-00064).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорин Ю. А., Мазукабзов А. М., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Пресняков С. Л., Сергеев С. А. Силурийский возраст главных складчатых деформаций рифейских отложений Байкало-Патомской зоны // ДАН. – 2008. – Т. 423, № 2. – С. 228–233.
2. 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.
3. Chugaev A. V., Larionova Y. O., Chernyshev I. V., Rassokhina I. V., Oleinikova T. I., Budyak A. E., Tarasova Y. I., Travin A. V., Gareev B. I., Batalin G. A. 40AR-39AR and Rb-Sr age constraints on the formation of Sukhoi-Log-style orogenic gold deposits of the Bodaibo district (northern Transbaikalia, Russia) // Ore Geology Reviews. – 2022. – V. 144. – P. 104855.
4. Fridovsky V. Yu. Structural control of orogenic gold deposits of the Verkhoyansk-Kolyma folded region, northeast Russia // Ore Geol. Rev. – 2018. – V. 103. – P. 38–55.
5. Fridovsky V., Polufuntikova L., Kryazhev S., Kudrin M., Anisimova G. Geology, fluid inclusions, mineral and (S-O) isotope chemistry of the Badran orogenic Au deposit, Yana-Kolyma belt, Eastern Siberia: implications for ore genesis // Frontiers in Earth Science. – 2024. – V. 12. – P. 1340112.
6. Goryachev N., Fridovsky V. Overview of Early Cretaceous gold mineralization in the orogenic belt of the eastern margin of the Siberian craton: geological and genetic features // Frontiers in Earth Science. – 2024. – V. 11. – P. 1252729.
7. Yang L., Wang Q., Groves D. I., Lu S., Li H., Wang P., Deng J. Multiple orogenic gold mineralization events in a collisional orogen: insights from an extruded terrane along the southeastern margin of the Tibetan Plateau // Journal of Structural Geology. – 2021. – V. 147. – P. 104333.

Фридовский В. Ю. (fridovsky@diamond.ysn.ru), Кудрин М. В. (kudrinmv@mail.ru), Полуфунтикова Л. И. (pli07@list.ru)
ФГБУН ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

КРИТЕРИИ КРУПНООБЪЕМНОЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ЯНО-КОЛЫМСКОМ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОМ ПОЯСЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК ЯКУТИИ)

Выделены региональные и локальные критерии орогенных золоторудных месторождений Яно-Колымского металлогенического пояса. Региональные критерии определяются особенностями позднеюрско-раннемелового геологического развития и металлогении вмещающего коллизионного орогена, локальные – средой рудоотложения, параметрами и эволюцией рудообразующей системы.

Ключевые слова: критерии, орогенные месторождения золота, вкрапленная минерализация, «невидимое» золото, Яно-Колымский металлогенический пояс.

Яно-Колымский металлогенический пояс (ЯКМП) с количеством добытого и учтенного в ресурсах золота более 8300 тонн является одним из крупнейших в России и мире [7]. Основной вклад в минерально-сырьевую базу региона вносят крупные валанжинские орогенные золоторудные месторождения (ОЗМ) Наталка, Павлик, Дегдекан, Дражное, Бадран и другие. В ОЗМ золото проявлено в самородной «видимой» форме в кварцевых жилах/прожилках минерализованных зон дробления и «невидимой» форме (твердый раствор Au+ или нано-/микрочастицы Au0) во вкрапленном пирите и арсенопирите. Наличие золотоносной вкрапленной минерализации во вмещающих метасоматитах является ключевой для крупнообъемных месторождений. Появление технологий переработки упорных руд с «невидимым» золотом стимулировало поиски новых и переоценку известных золото-кварцевых месторождений.

Проведены комплексные исследования орогенных золоторудных месторождений центральной (Бадран, Хангалас, Базовское, Мало-Тарынское, Сана) и западной (Вьюн, Шумный) части Яно-Колымского металлогенического пояса. Изучены структурные условия локализации и формирования месторождений, минералого-геохимическая и изотопно-геохимическая характеристики жильных и вкрапленных руд, литохимия вмещающих пород и метасоматитов, физико-химические параметры рудообразующего флюида, связь оруденения орогенных месторождений золота с тектоно-термальными событиями и магматизмом [1–6]. Полученные результаты являются фундаментальной основой для определения региональных и локальных критериев и построения прогнозно-поисковой модели ОЗМ ЯКМП, изложенных ниже.

Региональные критерии ОЗМ определяются, прежде всего, особенностями позднеюрско-раннемелового геологического развития и металлогении Яно-Колымского орогенного пояса.

1. Связь ОЗМ с позднеорогенными событиями на восточной континентальной окраине Сибирского кратона. Положение ОЗМ в тылу сопряженных позднеюрских Уяндино-Ясачненского вулканического и Главного батолитового поясов.

2. Приуроченность к зонам транскоровых продольных разломов – Адыча-Тарынского, Чай-Юрьинского и др., являющихся путями транзита региональных флюидных потоков и магмаконтролирующими структурами.

3. Умеренное развитие в рудных районах магматических образований комплекса малых интрузий, остывание которых субсинхронно эпизодам тектоно-термальных событий формирования орогенного оруденения.

4. Проявление признаков корово-мантийного взаимодействия при эволюции рудообразующих систем.

5. Постметаформическая природа позднеорогенных золоторудных месторождений.

Локальные критерии определяются средой рудоотложения, параметрами и эволюцией рудообразующей системы.

1. Сочетание систем региональных продольных разломов и разломов 2–3 порядков с поперечными зонами повышенной проницаемости, выраженных сгущением тектонической трещиноватости, локальными разломами и роями даек комплекса малых интрузий.

2. Длительное многоэтапное развитие рудолокализующих структур, характерны структуры прогрессивных деформаций.

3. Региональный компрессионный режим рудного этапа и локальное проявление транспрессионного режима, благоприятные для вскрытия нижнекоровых флюидных систем.

4. Значительный вертикальный и латеральный (до 5–6 км) размах оруденения с редуцированной или отсутствующей минералого-геохимической и изотопно-геохимической зональностью.

5. Развитие широких (до первых сотен метров) зон кварц-серицит-карбонатных метасоматитов с импрегнированными пиритом и арсенопиритом, пространственно связанных с разломами, обычно с системами межпластовых и лестничных жил, а также штокверков.

6. Повышенная (до первых сотен г/т) золотоносность вкрапленных пирита и арсенопирита из метасоматитов при общей сульфидизации до 5–8 %. Преобладающей формой золота в сульфидах является «невидимая» структурно-связанная Au+.

7. Золотосодержащие вкрапленные арсенопирит и пирит имеют нестехиометрический состав. Для арсенопирита характерно обогащение серой (As/S от 0,77 до 0,99), наличие примесей Sb, Co, Ni и Cu общей концентрацией не более 0,15 мас. %. Пирит содержит те же элементы (общая концентрация до 3,71 %), реже Pb, обеднен S и обогащен As (до 3,16 мас.%).

8. Проявление полного ряда золото-сульфидно-кварцевых минеральных ассоциаций ряда – пирит-арсенопирит-кварцевая метасоматическая, пирит-арсенопирит-кварцевая жильная, золото-полисульфидно-кварцевая и сульфосольно-карбонатная.

9. Мезотермальные температуры минералообразования, низко- и умеренносолёные рудообразующие флюиды от водно-углекислотного (H_2O–CO_2) до водно-углекислотно-метанового (H_2O-CO_2-CH_4) состава.

10. Наличие высококонтрастных геохимических аномалий As, Sb, Au, Ag, Pb, Zn.

Новые результаты исследований, сведения о происхождении и золотоносности вкрапленной минерализации из метасоматитов, а также региональные и локальные критерии ОЗМ позволили определить положение участков, перспективных на обнаружение крупнообъемных ОЗМ западного и центрального секторов Яно-Колымского металлогенического пояса.

Финансирование поддержано государственным заданием ИГАБМ СО РАН, тема FUFG-2024-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамянин Г. Н., Фридовский В. Ю., Викентьева О. В. Благороднометалльная минерализация Адыча-Тарынской металлогенической зоны: геохимия стабильных изотопов, флюидный режим и условия рудообразования // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 10. – С. 1586–1605.
2. Кряжев С. Г., Фридовский В. Ю. Флюидный режим формирования орогенных золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 118–130.
3. Кудрин М. В., Фридовский В. Ю., Полуфунтикова Л. И., Кряжев С. Г., Колова Е. Е., Тарасов Я. А. Орогенное золоторудное месторождение Хангалас, Яно-Колымский металлогенический пояс (Северо-Восток России): структура, минеральный и изотопный (O, S, Re, Os, Pb, Ar, He) состав руд, флюидный режим и условия рудообразования // Геология рудных месторождений. – 2024. – Т. 66, № 5. – С. 432–463.
4. Полуфунтикова Л. И., Фридовский В. Ю., Горячев Н. А. Геохимические особенности руд и вмещающих пород орогенного Мало-Тарынского золоторудного месторождения (Верхояно-Колымская складчатая область, Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. – 2020. – Т. 39, № 5. – С. 41–55.
5. Fridovsky V. Y. Structural control of orogenic gold deposits of the Verkhoyansk-Kolyma folded region, northeast Russia // Ore Geology Reviews. – 2018. – T. 103. – P. 38–55.
6. Fridovsky V. Y., Polufuntikova L. I., Kudrin M. V. Origin of disseminated gold-sulfide mineralization from proximal alteration in orogenic gold deposits in the Central Sector of the Yana–Kolyma metallogenic belt, NE Russia // Minerals. – 2023. – T. 13, № 3. – P. 394.
7. Goryachev N. A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia // Ore Geology Reviews. – 2014. – V. 59. – P. 123–151.

Хазиахметов Э. И. (edgar.hazi@yandex.ru), Якубчук А. С.
МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА МЕДНО-ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО РУДНОГО УЗЛА МАЛМЫЖ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Уточнена гидротермальная зональность Малмыжского рудного узла с использованием современного метода инфракрасной спектрометрии. Дана оценка эрозионного среза порфировых центров участков Центральный, Долина и Свобода.

Ключевые слова: медно-порфировая система, Малмыж, гидротермальная зональность, эрозионный срез, инфракрасная спектрометрия.

Малмыжская золото-медно-порфировая система находится в западной части Журавлевско-Амурского террейна (нижнемеловые турбидиты) и Западно-Сихотэ-Алинской складчато-надвиговой зоне, на которую наложены в различной степени эродированные вулкано-плутонические образования Восточно-Сихотэ-Алинской вулканического пояса (рис. 1). Кроме Малмыжа вдоль пояса также выявлены Понийское, Тырское и другие медно-золото-порфировые проявления, находящиеся в стадии разведки.

Khanchuk [et al.] (2016) выделяет несколько этапов тектонической эволюции Сихотэ-Алиня от субдукции океанической плиты под континентальную окраину Азии к левостороннему трансформному перемещению вдоль Главного Сихотэ-Алинского разлома. Согласно имеющимся датировкам (99,27 ± 2,13 и 96,2 ± 1,9 Ма, [1]), образование Малмыжского месторождения пришлось на окончание развития трансформной окраины (~ 95 Ма, [2]), практически синхронно с расположенными в 80 км к северу известными месторождениями олова Комсомольского рудного района.

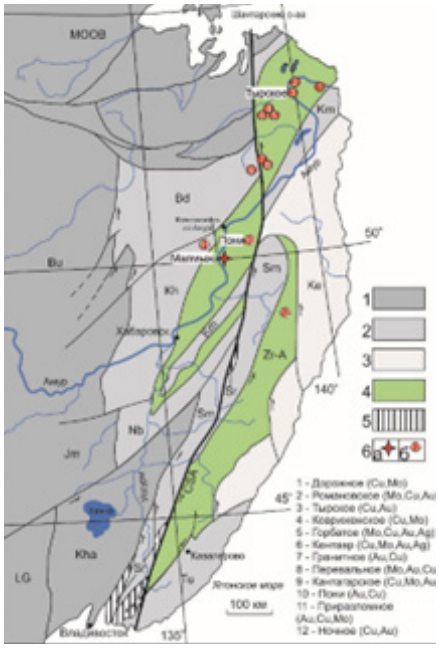


Рис. 1. Террейны Сихотэ-Алинского складчатого пояса. По [2] с дополнениями:
1 – террейны и супертеррейны орогенных поясов: Bu – Бурейский, Jm – Цзямуси, Kha – Ханкайский (раннепалеозойские), LG – Лаоелин-Гродековский (триасовый), МООВ – Монголо-Охотский орогенный пояс (юрский); 2 – террейны юрско-меловой аккреционной призмы: Bd – Баджальский, Nb – Наданьяхада-Бикинский, Sm – Самаркинский, Kh – Хабаровский, Tu – Таухинский, Km – Киселевско-Маноминский; 3 – террейны баррем-раннеальбской островной дуги: КЕ – Кемско-Удыльский; 4 – террейны раннемелового турбидитового бассейна: Zr-A – Журавлевско-Амурский; 5 – Sr – Сергеевский террейн палеозойских континентальных аллохтонов на террейне юрской аккреционной призмы; CSA – Центральный Сихотэ-Алинский разлом; 6 – а) месторождения и б) рудопроявления порфирового типа.

В геологическом строении Малмыжский рудный узел в плане имеет форму овала, вытянутого в северо-восточном направлении. Штоко- и дайкообразные порфировидные диориты, кварцевые диориты и гранодиориты контролируются Малмыжской зоной разломов северо-восточного простирания. Порфировые тела прорывают осадочные породы нижнемеловой горнопротокской свиты. В пределах узла выделяют 14 перспективных участков. Общие запасы в них составляют 8,3 млн т Cu при 0,35 % и 347 т Au при 0,2 г/т, однако более половины из них сосредоточены в трех интрузиях: Центральный, Долина и Свобода.

Одним из основных составляющих компонентов медно-порфировых систем являются гидротермальные изменения. Они являются хорошим индикатором масштабности оруденения и уровня эрозионного среза месторождения. Порфировые месторождения, как правило, характеризуются однотипным набором зональных изменений [5], однако они также могут значительно отклоняться от общепризнанных моделей в силу различных условий. Поэтому неправильная оценка гидротермальной зональности может привести к неверному пониманию месторождения и, как следствие, к неправильной оценке распределения полезных компонентов и потенциальных ресурсов [7].

В широком приближении гидротермальные изменения на Малмыжском месторождении имеют схожую зональность с [5]. Высокотемпературные калиевые изменения расположены в центрах порфиров и вдоль контакта с осадочными породами, при этом пропилитовые зоны обрамляют калиевые по периферии. Кварц-хлорит-серицитовые и серицит-кварц-пиритовые (филлизиты) изменения телескопируются поверх калиевых и слагают обширные поля в пределах рудного узла.

Для изучения гидротермальной зональности был применен метод инфракрасной спектрометрии отражения в диапазоне 350–2500 нм VIS-NIR-SWIR (ультрафиолет-видимый свет-ближне-инфракрасная область) на отобранных образцах из керна участков Центральный, Долина и Свобода. Метод позволяет идентифицировать минеральные группы светлых слюд и хлорита, которые являются наиболее распространенными минералами в средне-низкотемпературных изменениях.

Анализ идентифицируемых минералов и их спектральных параметров (глубина поглощения, длина волны, кристалличность иллита) позволил выделить различия в группе светлых слюд и проследить зональность на выбранных участках.

Светлые слюды выделяются в две популяции, основанные на изменении длины волны в области поглощения Al-OH (2200). Первая характеризуется центрами полос в диапазоне 2200–2206 нм и считается связанной с более поздней стадией филлизитизации. Вторая популяция выделяется в диапазоне 2206–2216 нм и связана с ранней филлизитизацией. На различие популяций также указывает индекс кристалличности иллита, основанный на индексе Куэблера, активно применяемый при рентгенодифрактометрических исследованиях, но также имеющий хорошую сходимость в спектральном анализе [6].

Для идентификации хлоритов в спектрометрии использовались две области поглощения: Fe-OH (2242-2262 нм) и Mg-OH (2325-2355 нм). В обоих диапазонах чем выше содержание Fe в хлоритах, тем больше длина волны. Считается, что соотношение магния и железа в хлорите обычно увеличивается по направлению к центру медно-порфировой системы. Полученные данные схожи с теми, которые описывались в статье [3].

Для разреза V-10 участка Долина была построена модель гидротермальной зональности с учетом новых данных бурения (после 2020 г.) и инфракрасной спектрометрии (рис. 2). Наиболее богатые рудные тела (> 0,4 % Cu) приурочены к зонам перехода калиевых изменений к ранним хлорит-серицитовым филлизитам. Наличие относительно неглубоких зон филлизитов может указывать на средне-глубокую (500–1000 м или около 50 %) эродированность порфировой системы на участке Долина. Наблюдается наклон гидротермальной зональности, что увязывается нами с поздне- или пострудными надвиговыми смещениями вдоль Малмыжской зоны разломов с образованием западного висячего и восточного лежачего боков. При этом минерализация присутствует в обоих.

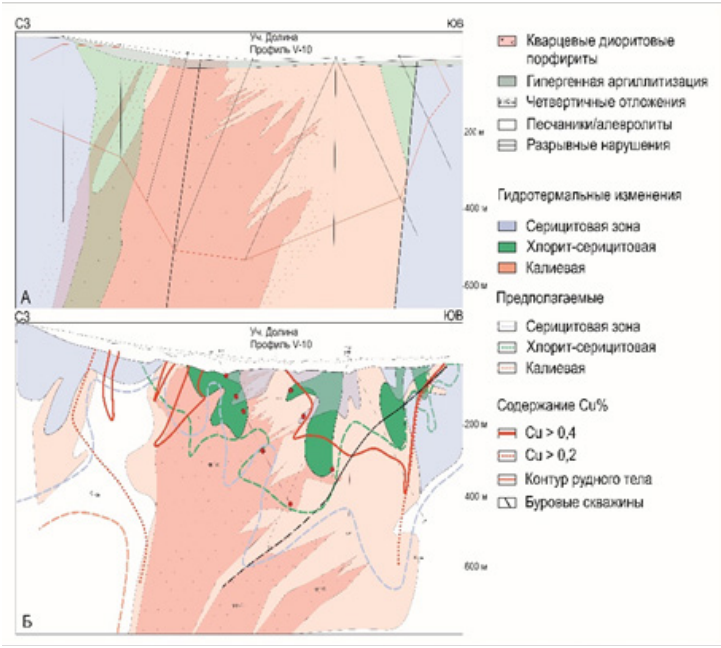


Рис. 2. Разрез с гидротермальными изменениями по профилю V-10 участка Долина:
А – по данным [4]; Б – авторская

Подобные разрезы были построены для участков Центральный и Свобода. Для них также был определен уровень эрозионного среза, который оказался неодинаковым. Наименее эродированным является участок Свобода в северо-восточной части узла, залегающий большей частью в лежачем боку разломной зоны, а наиболее глубокий эрозионный срез имеет участок Центральный на юго-западе, в висячем боку. Основываясь на этом, мы считаем, что сохранность порфировых систем Малмыжского рудного узла увеличивается с юго-запада на северо-восток. Для более уверенных выводов необходимо проверить все оставшиеся порфировые штоки и проследить, как меняется уровень эрозионного среза в них.

Таким образом, можно предполагать наличие хорошо сохранившихся порфировых систем с юго-восточной стороны от Малмыжской зоны разломов. Данные магниторазведки позволяют наметить четыре субширотных тренда, контролирующих порфировые кластеры, которые секутся более поздней зоной северо-восточных Малмыжских разломов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Буханова Д. С. Минералого-геохимические особенности Малмыжского золото-меднопорфирового месторождения, Хабаровский край : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук. – Петропавловск-Камчатский : ДВГИ РАН, 2020. – 200 с.
2. Khanchuk A. I., Kemkin I. V., Kruk N. N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data // Journal of Asian Earth Sciences. – 2016. – Vol. 120. – P. 117–138.
3. Neal L. C., Wilkinson J. J., Mason P. J., Chang Z. Spectral characteristics of propylitic alteration minerals as a vectoring tool for porphyry copper deposits // Journal of Geochemical Exploration. – 2018. – № 184. – P. 179–198.
4. Newall P. NI 43-101 Technical Report om the Initial Mineral Resource Estimate for the Malmyzh Copper-Gold Project. Report. – Khabarovsk : Wardell-Armstrong International Ltd. For Eurasian Minerals Inc. and IG Copper LLC. – 2015. – 160.
5. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems // Economic Geology. – 2010. – Vol. 105, № 1. – P. 3–41.
6. Uribe-Mogollon C., Maher K. White mica geochemistry: Discriminating between barren and mineralized porphyry systems // Economic Geology. – 2020. – № 115(2). – P. 325–354.
7. Yakubchuk A. S. Porphyry Deposits of Northern Eurasia: Practical Aspects of Tectonic Control, Structural Features and Estimates of Depth of Erosion from the Urals to the Pacific // Geology of Ore Deposits. – 2024. – Vol. 66, № 3. – P. 3–20.

Хасанов И. М.[1, 2] (aumaglan@yandex.ru), Михалицына Т. И.[2] (tim_66@mail.ru), Макарова Д. В.[2] (dianka.zeta.22@mail.ru)

[1] ООО «Золотодобывающая Корпорация»; [2] ФГБУ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ СИСТЕМ ЧАЙ-ЮРЬИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (БЕРЕЛЕХСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

В работе приводятся результаты анализа различных трансформаций магнитного (МП), гравитационного (ГП), сейсмического и геоэлектрического полей минерагенических зон. Выявлены основные глубинные прогнозные критерии рудоносных площадей – региональные (на примере Берелехского рудного района) и локальные (на примере Чай-Юрьинского рудного узла).

Ключевые слова: рудный район, рудный узел, трансформанты, магнитное поле, гравитационное поле, сейсмическое и геоэлектрическое поля, минерагеническая зона, граница Мохо, глубинные прогнозные критерии оруденения.

Целью исследований является обобщение имеющегося (Карелин Ю. П. Отчет «ГДП-200» P-55-XV-XVI (Арга-Юряхская площадь) за 2006–2009 гг. – ОАО «Магадангеология», 2009 г.; Сальников А. С. Отчет о результатах работ по объекту «Создание опорного геолого-геофизического профиля 3-ДВ (Северо-Восточный участок)». Государственный контракт № 5/2012 от 26.03.2012 г. В 7 книгах и 2 папках. – ФГУП «СНИИГГиМС» г. Новосибирск, 2014 г.; Сидоров В. А. Прогнозно-поисковые работы в северо-западной части Аян-Юряхского антиклинория с применением аэрогеофизических технологий (Магаданская область). – ОАО «Магадангеология» 2009 г.; Хасанов И. М. и др. Отчет о производстве структурно-геофизических работ по созданию объемной физико-геологической модели глубинного строения Центрально-Колымского района для целей ГДП-00. – Магадан : ФГУП «Магадангеология», 2002, 145 с.), а также авторского геолого-геофизического материала [1] и на его основе создание перечня глубинных критериев прогноза, характерных для золото-кварцевых месторождений Центрально-Колымского региона. Основной используемый метод – интерпретация сейсмических и геоэлектрических данных, магнитного и гравитационного полей с применением методологии трансформации геофизических полей.

Площадь исследований охватывает юго-восточную часть Яно-Колымского орогенного пояса и расположена на границе сочленения двух региональных структур: Аян-Юряхского антиклинория с юго-запада и Иньяли-Дебинского синклинория – с северо-востока. Эти структуры разделены глубинным Чай-Юрьинским разломом сложной кинематики, который сопровождается одноименной зоной смятия.

По металлогеническому районированию объекты Чай-Юрьинского рудного узла относятся к Берелехскому рудному району Иньяли-Дебинской рудной зоны Яно-Колымского металлогенического пояса [2].

В геологическом строении территории принимают участие терригенные и вулканогенные нижнеюрские отложения кадыкчанской свиты (аргиллиты, туфоаргиллиты, пепловые туфы, песчаники, туфопесчаники, прослои гравелитов), терригенные среднеюрские отложения мяундженской свиты и в небольшом объеме, на границе с Аян-Юряхским антиклинорием, верхнетриасовые (песчаники, алевролиты, гравелиты). Все осадочные породы прорваны дайками и мелкими интрузиями гранитов, гранит-порфиров, гранодиоритов, гранодиоритовых порфиритов, диоритов и диоритовых порфиритов, объединенных в нера-бохапчинский, басугуньинский и тас-кыстабытский комплексы поздней юры – раннего мела.

Известные в пределах площади золоторудные месторождения и проявления относятся к малосульфидной золото-кварцевой формации и связаны с гидротермальной деятельностью, сопровождавшей тектоногенез и магматизм позднеюрского-раннемелового возраста.

В результате анализа потенциальных геофизических полей и их трансформант, а также глубинных опорных разрезов золоторудных территорий выявлены основные глубинные прогнозные критерии рудоносных площадей.

Региональные критерии на примере Берелехского рудного района

1) Главным тектоническим элементом территории является Чай-Юрьинский разлом глубинного заложения, который сопровождается зоной интенсивного смятия. Разлом имеет северо-западное простирание. Прочие разрывные нарушения представлены синскладчатыми, оперяющими разломами, а также поперечными разломами северо-восточного и субширотного простирания. Эти разломы имеют определяющее значение при формировании тектонических структур, благоприятных для локализации оруденения. Чай-Юрьинский разлом уверенно отображается зонами значительных градиентов магнитного и гравитационного полей, подчеркивается линиями нарушения корреляции и сменой характера поля эксцесса и асимметрии гравитационного поля. Данный критерий прогноза золотого оруденения можно отнести к формированию как рудного района, так и рудных узлов, примыкающих к разлому.

2) Разрывы сплошности поверхности Мохо (мантийные «окна») и широкие вертикальные мантийные осложнения, трактуемые как участки транзита мантийных магм в земную кору.

3) Деструкция земной коры, фиксирующаяся на сейсмическом разрезе областью повышенной однородности волнового поля, обусловлена проработкой коры мантийными магмами.

4) Электропроводные зоны по геоэлектрическим данным (МТЗ), уходящие корнями в мантию и отождествляемые с мощными разломами коро-мантийного заложения, которые в период тектоно-магматической активизации служили путями проникновения мантийных расплавов, флюидов и рудных компонентов из подкорового пространства. Транскоровые разломы, интерпретируемые как источники транзита мантийных магм в земную кору.

5) Кольцевая региональная зона градиента гравитационного поля, связанная с зоной повышенной проницаемости земной коры, соответствует глубинным разломам коро-мантийного заложения, разграничивающим блоки с различным составом средней – верхней коры. Она подчеркивается линейными и дугообразными локальными аномалиями повышенной дисперсии и эксцесса ГП, уверенно прослеживается на плане региональной составляющей ГП, что указывает на глубинный и «глобальный» характер контакта различных по составу блоков.

6) Положительные аномалии асимметрии (0,2–0,8 усл. ед.) и области минимальных значений градиента (менее 0,0004 усл. ед.) гравитационного поля, а также более глубокое заложение гравитирующих масс как наблюденного поля (16 км на фоне 10–11 км), так и его локальной составляющей (5,4 км на фоне 4,4 км).

7) В трансформантах магнитного поля рудный район характеризуется повышенными значениями дисперсии (5000–20 000 усл. ед.) и нулевым значением асимметрии.

8) По параметрам гравитационного и магнитного полей рудный район фиксируется «пестрым» составом классов, что указывает на его интенсивную проработку магматогенными процессами относительно окружающей геологической среды.

Локальные критерии на примере Чай-Юрьинского рудного узла

1) Надапикальные зоны невскрытых эрозией гранитных массивов, отражающиеся отрицательными локальными аномалиями силы тяжести, являются более перспективными по сравнению с теми, где таковые не установлены.

2) Линейные положительные аномалии магнитного поля, фиксирующие зоны пирротинизации терригенных пород, а также малые и средние интрузивные тела могут являться благоприятной средой для формирования золото-кварцевого оруденения.

3) Наличие в разрезе на глубинах 10–30 км крупных очагов повышенной проводимости, сопровождающихся проводящими геоэлектрическими каналами вплоть до земной поверхности. Существует некая единая система тепломассопереноса, которая представляется в геоэлектрическом разрезе в виде взаимосвязанной структуры: верхнемантийный проводящий слой – коровый проводящий слой – субвертикальные проводящие зоны. В рамках этой системы имеются механизмы формирования условий, способствующие образованию геологической среды, перспективной для концентрации рудной минерализации.

4) Узлы пересечения Чай-Юрьинского разлома и сопровождающих его субпараллельных разломов северо-западного простирания с поперечными северо-восточными и субмеридиональными разрывами, фиксирующиеся линиями нарушения корреляции аномалий магнитного, гравитационного полей и их трансформант.

5) Большая часть крупных и средних месторождений золота приурочена к обширным слабоградиентным и положительным аномалиям гравитационного поля. Эти аномалии соответствуют блокам терригенных пород, локализованным в краевых частях гранитных массивов либо на некотором удалении от них. Повышенная плотность этих блоков связана с метаморфическими преобразованиями горных пород (базификация), являющимися благоприятными для формирования рудных тел золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формаций.

Таким образом, в результате обобщения и интерпретации фондовых и опубликованных материалов на основе статистических методических приемов обработки комплекса геофизических данных предложены глубинные геолого-геофизические прогнозные критерии золотого оруденения в иерархической последовательности «рудный район – рудный узел».

Авторы выражают благодарность руководству ООО «Золотодобывающая Корпорация» в возможности проведения полевых работ на исследуемой площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайдай Н. К., Хасанов И. М., Горячев Н. А., Гошко Е. Ю. Структурные особенности глубинного строения Юго-Востока Яно-Колымского орогенного пояса (по результатам комплексных геофизических данных). – DOI : 10.5800/GT-2020-11-4-0501 // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – V. 11. – Iss. 4. – P. 697–709.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. /под ред. А. И. Ханчука. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 1033 с.

Холматов У. А. (ubaydulla.xolmatov@gmail.com), Халилов Ф. Ф. (furqat_imr@mail.ru), Аблакулов И. У. (ablakulovibadilla@gmail.com), Абидова Н. А.(nigoraaa8586@gmail.com)
ГУ «ИМР», г. Ташкент, Республика Узбекистан

ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ОПРОБОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯНГИ ДАВОН (ЗАПАДНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

Рассматриваются вопросы достоверности данных опробования месторождения золота Янги Давон. Для выявления избирательного истирания проведены экспериментальные исследования по методике, разработанной в ГУ «ИМР». Выявлено, что на представительность бороздового опробования отрицательно влияют изменчивость параметров оруденения, избирательное выкрашивание полезных компонентов в процессе ручного отбора проб (способ отбора пробы), наличие в руде золота крупных классов, схема обработки проб (подготовка проб к анализам).

Ключевые слова: контрольное опробование, представительность опробования, достоверность, избирательное истирание, оценка запасов, золото, месторождение Янги Давон, Западный Узбекистан.

Опробование, осуществляемое при разведке золоторудных месторождений, составляет комплекс работ, который позволяет качественно и количественно оценивать оруденение и выяснять характер его распределения по простиранию и падению рудных тел, выделять границы промышленных руд и проводить на основе его данных подсчет запасов [3, 4].

Изучение достоверности опробования особенно актуально для золоторудных месторождений Западного Узбекистана, которые по размерам и формам рудных тел, изменчивости их мощности, внутреннего строения и особенностям распределения золота имеют высокую изменчивость, и вследствие этого являются сложными [2].

Золоторудное месторождение Янги Давон расположено в пределах северо-восточных склонов Зиаэтдинских гор на территории Пахтачийского района Самаркандской области (рис. 1).

Для оценки представительности и достоверности опробования на месторождении Янги Давон проведены контрольно-заверочные работы и изучение степени влияния избирательного истирания керна на достоверность результатов кернового опробования [1]. По минеральному составу руды месторождения Янги Давон относятся к золото-сульфидно-кварцевой формации, по содержанию в них сульфидов (до 2,5–5,0 %) – к убого-малосульфидным. Коэффициенты вариации линейных запасов золота в пределах 200–250 %.

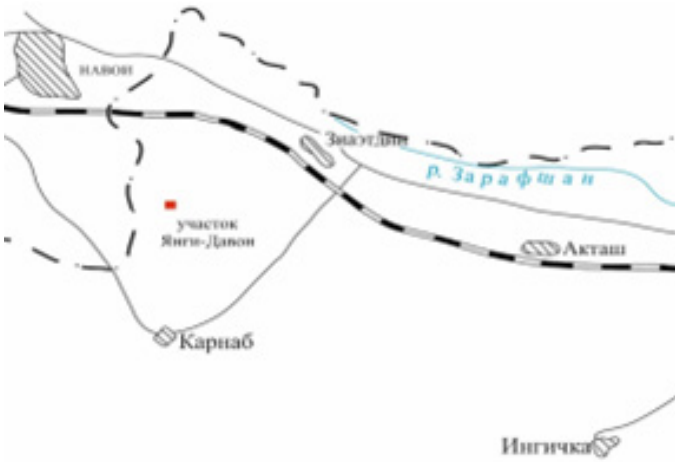


Рис.1. Обзорная карта района работ

Полученные данные позволяют отнести месторождение к 4-й группе сложности для разведки, коэффициент вариации содержания золота по рядовым пробам составляет до 250 %, а по контрольным – до 170 %.

Разновидности пород в рудных телах и минерализованных зонах представлены жилами и прожилками кварца, кварцевыми, кварц-сланцевыми брекчиями и контактирующими с ними окварцованными сланцами, окварцованными метасоматически измененными эффузивами основного состава, окварцованными карбонатизированными известковистыми доломитами, дайковыми телами гранодиорит-порфиров, диоритовых порфиритов, лампрофиров. Жильные тела кварца, кварц-сланцевых, кварцевых брекчий часто линзуются и в промежутках между ними отмечается разноориентированное прожилковое окварцевание вмещающих пород. Контакты рудных тел с вмещающими породами проведены по данным опробования.

Исследования по достоверности опробования на месторождении Янги Давон проведены по данным одной штольни и 11 рассечек. Полученные результаты сводятся к следующему. В целом месторождение Янги Давон характеризуется высокой изменчивостью подсчитанных параметров, распределение содержаний и линейных запасов золота подчиняется логнормальному закону. На представительность бороздового опробования отрицательно влияют изменчивость параметров оруденения, избирательное выкрашивание полезных компонентов в процессе ручного отбора проб (способ отбора пробы), наличие крупного золота в руде, схема обработки проб (подготовка проб к анализам).

В результате опробования подземных горных выработок установлены интервалы с высокими содержаниями золота, что является следствием избирательного выкрашивания полезного компонента в руде (значение содержания в отдельной рядовой пробе до 25,4 у. е.). При контрольном опробовании данного интервала (номер контрольной пробы № ЯДЭ-12) данные резко отличались, причем в меньшую сторону – 0,6 у. е.

Экспериментальными исследованиями по изучению избирательного истирания керна и его влияния на представительность кернового опробования по методике С. И. Денисова и др. [1] установлено, что на месторождении Янги Давон наибольшая часть золота – в I фракции, что составляет 25 % от общего количества проб (рис. 2).

По результатам сопоставления данных контрольного опробования бороздой разного сечения с результатами рядовых проб, выявлено, что борозда сечением 10 × 5 см при соблюдении методики отбора проб является оптимальной, так как отклонения между рядовым и контрольным бороздовым опробованием находятся в целом в допустимых пределах расхождения.

Применение методики с предварительным извлечением металла на концентрационном столе с промывкой водой показало, что на данном месторождении присутствует мелкое и тонкодисперсное золото, которое при промывке водой частично теряется и уходит в промпродукт и хвосты – пробы №№ ЯД-7, ЯД-40, ЯД-43, ЯД-76, ЯД-178, ЯД-181, ЯД-239, ЯД-253, ЯД-258 и др. (рис. 2).

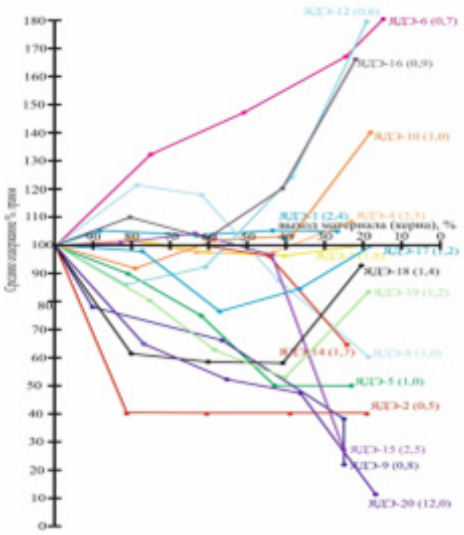


Рис. 2. Графики зависимости содержания золота от выхода керна месторождения Янги Давон

Результаты исследований данных опробования месторождения Янги Давон показали высокую изменчивость параметров оруденения для разведки.

Для устранения факторов, отрицательно влияющих на представительность бороздового опробования, необходимо применение секционного бороздового опробования с использованием механизированных пробоотборников, при минимальном воздействии на опробуемый интервал; после обработки проб сохранять хвосты бороздовых проб. Хвосты интервалов, по которым выделяются рудные пересечения, необходимо измельчить до фракции -0,5 мм, сгруппировать в единую пробу (при этом максимальный размер безрудных прослоев не более 2,0 м) и обработать по схеме предварительного извлечения металла; результаты рядового опробования обязательно сравнить с результатами групповых проб; при подсчете запасов на месторождении Янги Давон рекомендовано принять во внимание сравнительные данные рядового и контрольного опробования, при этом особо обратить внимание на результаты объединенных (групповых) проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов С. А., Калиничев Д. А. Методические рекомендации по производству контрольных экспериментальных исследований для оценки представительности и достоверности данных опробования рудных месторождений, используемых при подсчете запасов. – Т. :САИГИМС, 1982. – 43 с.
2. Зималина В. Я. Исоков М. У. [и др.] Геолого-промышленные типы, оценка и разведка золоторудных месторожденийУзбекистана (Методические рекомендации). – Т : ГП «НИИМР», 2008.
3. Исоков М. У., Зималина В. Я., Тилляева Г. С. Опыт геологического изучения и оценки запасов на примере золоторудного месторождения Кокпатас. – Т. : ГП «НИИМР», 2014.
4. Снетков В. И., Соловьев А. А. Методический подход к оценке достоверности данных разведки и опробования на примере рудного месторождения золота // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – С. 288–296.

Холмуродов Т. Т.[1] (kholmurodovtt@gmail.com), Султонов П. С.[2] (P_Sultanov@mail.ru)
[1] ГУ «ИМР», г. Ташкент, Республика Узбекистан,
[2] ГУ «УГН» г. Ташкент, Республика Узбекистан

ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОР КУЛЬДЖУКТАУ

В последние годы горы Кульджуктау служат одним из важных объектов изучения геологов-исследователей. В регионе имеется ряд золоторудных объектов, в формировании которых играли роль различные факторы, такие как структурный, тектонический, литологический и метаморфический. Изучение влияния этих факторов на рудообразование является основой для разработки поисковых критериев для данной территории.

Ключевые слова: Кульджуктау, таушанская свита, разломы, метаморфизм, песчаник, метаалевролит, метасоматит.

Интерес к геологии горы Кульджуктау начался с 1920-х гг. На сегодняшний день проведены большие научные и геологоразведочные работы по изучению гор Кульджуктау. В результате созданы научные разработки о палеозойских и мезо-кайнозойских отложениях гор Кульджуктау и их вещественном составе, тектонических процессах, происходивших на территории и связанных с ними разломов, процессах магматизма и интрузивных образованиях различного состава, являющихся их результатом. В результате геологоразведочных работ в регионе были обнаружены рудопроявления, рудные точки и ореолы драгоценных, редких, цветных и других металлов: Au, Ag, U, Cu, Pb-Zn, W, Ni, Co, U, REE, Al.

В палеозойском разрезе Кульджуктауской горы участвуют отложения от кембрийского до карбонового возраста. В составе палеозойского комплекса выделяются вулканогенно-терригенные и частично карбонатные образования ордовика, карбонатные формации силура, девона, нижнего карбона, вулканогенно-терригенная и молассовая толщи среднего и верхнего карбона [1].

Рудовмещающими породами являются терригенно-осадочные отложения таушанской свиты ($C_2m–C_3tš$) – глыбовые конгломераты (олистостромы), алевролиты, песчаники, гравелиты и магматические изверженные породы основного состава. Породы эпигенетически изменены. Процессы изменения привели к преобразованию и перекристаллизации осадочных пород и образованию сланцев различного состава [3].

В горах Кульджуктау локализованы несколько золоторудных проявлений: Актосты, Геохимическое, Адылсай, Кыркчирта. Запасы их по сравнению с рудными объектами центральной части Кызылкумов незначительны.

Исследователи, изучавшие минерализацию золотоносных объектов горы Кульджуктау, полагают, что на процесс минерализации оказали влияние несколько факторов. В том числе крутопадающие тектонические нарушения северо-запад-субширотного направления, север-северо-западные рудоконтролирующие разломы и гидротермальные процессы [2, 5, 6], структурные – экраны и барьеры, обеспечивающие благоприятные условия для осаждения рудоносных растворов и формирования промышленно значимых скоплений, зоны рассланцевания и дробления, шарьяжно-надвиговые позиции и контакты терригенных толщ с интрузивами гранитов и габброидов Таушанской площади [4, 8].

Рудная зона Таушанского месторождения, одного из главных месторождений золота, расположенного в горах Кульджуктау, представлена дроблением, окварцеванием и сульфидизацией углеродисто-кремнистых сланцев и метаалевролитов с кварц-полевошпатовыми (альбит, микроклин) и березит-лиственитовыми метасоматитами. Она сложена главным образом пиритом, арсенопиритом, пирротином, реже халькопиритом и другими сульфидами, размещенными в зонах дробления и окварцевания пород, и приурочена к крутопадающим тектоническим нарушениям северо-запад-субширотного направления.

Согласно геохимическим исследованиям, проведенным в регионе, значения золотого оруденения, равные 1,0 г/т и выше, соответствуют метасоматитам и зонам дробления, а низкий уровень золотого оруденения – в сланцах, алевропесчаниках, алевролитах, песчаниках, известняках, гранитах и углеродистых породах. Однако, несмотря на то, что их количественная до-

Таблица.

Тип руд	Жильно-прожилково-вкрапленные руды в секущих зонах тектонических и метасоматических преобразований вулканогенных, вулканогенно-осадочных и вулканогенно-терригенных комплексов пород
Критерии	Описания поисковых критериев
Литолого-стратиграфический	Таушанская свита (C_2m–C^3tš) и слагающие ее породы: метасоматиты, магматические породы и алевролиты, песчаники и сланцы.
Структурно-тектонический	Интенсивные тектонические изменения горных пород – зоны трещиноватости и брекчирования.
Гидротермально-метасоматический	Зоны березитизации и лиственитизации: золото обычно связано с зонами березитов и лиственитов, которые образуются в результате гидротермальных процессов. В этих зонах широко распространены кремний, карбонаты и сульфиды.
	Окварцованные породы: золото встречается в кварцитовых зонах, особенно в углеродисто-кремнистых сланцах и породах, измененных серицитом.
Геохимический и минералогический	Золото встречается в высоких концентрациях, в основном в метасоматитах (1,0 г/т) и породах зоны разломов (0,75 г/т).
	Зоны дробления являются приоритетным объектом изучения золотого оруденения.

ля в таушанской свите значительно выше, чем в породах зоны дробления и метасоматитах, в них не сформирована благоприятная среда для процесса оруденения как в породах зоны дробления и метасоматитах [7].

Гора Кульджуктау представляет собой важный объект геологических исследований благодаря разнообразию осадочных, вулканогенных и магматических пород, а также наличию рудных проявлений. Стратиграфическая позиция вулканогенно-осадочных пород потенциально рудоносных комплексов, их геохимические особенности, а также особенности тектонического и метасоматического преобразования могут рассматриваться в качестве критериев прогноза и поиска месторождений золото-кварц-сульфидных руд в геологических условиях рассматриваемого региона (таблица). Основной вклад в процессы оруденения вносят тектонические, структурные и гидротермальные факторы, что требует дальнейшего изучения и оценки для перспективного освоения региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айсанов Я. Б., Егоров А. И. Геологическое строение и основные черты минерагении палеозойских образований гор Кульджуктау. – Т. : Фан, 1978. – 120 с.
2. Джурабоев А. Б. и др. Особенности локализации и вещественный состав золотого оруденения месторождения Таушан (Кульджуктау) // Горный вестник Узбекистана. – 2020. – № 2.
3. Миркамалов Р. Х. [и др.] Геологическое строение гор Кульджуктау (Центральные Кызылкумы) // Геология и минеральные ресурсы. – 2021. – № 3. – С. 8–17.
4. Миркамалов Р. Х. [и др.] Республиканская научная и научно-техническая конференция по теме «Актуальные проблемы геологического образования в Республике и перспективы развития наук о Земле» 3–4 апреля 2020 года. – Ташкент.
5. Разиков О. Т., Шарипов Ш. Ф., Нуртаев Б. Х. Структурный анализ гор Кульджуктау на базе дешифрирования космических снимков // Горный вестник Узбекистана. – 2023. – № 1.
6. Холмуродов Т. Т., Гоипов А. Б., Беркинов Н. А. Геолого-структурные условия размещения золоторудных объектов гор Кульджуктау // Вестник Университета геологических наук. – 2024. – № 3. – С. 44–49.
7. Холмуродов Т. Т., Султонов П. С. Taushan svitasidagi oltin ma’danlashuvining geokimyoviy xususiyatlari (Quljuqtov tog‘i). “O‘zbekiston respublikasining barqaror rivojlanishida geologik muammolarning fundamental, amaliy va Innovatsion yechimlari” Respublika ilmiy-amaliy anjuman. 7-8 ноябрь Ташкент. – С. 452–456.
8. Узгеолфонд. Геологический отчет №36980. – 2020.

Хубанов В. Б.[1] (khubanov@mail.ru), Елбаев А. Л.[2], Хубанова А. М.[1]
[1] ФГБУН ИФЗ РАН, г. Москва; [2] ФГБУН ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

ВОЗРАСТ PZ_3-MZ РУДНО-ПОРФИРОВЫХ ГРАНИТОИДОВ И ИХ СООТНОШЕНИЕ С МОЩНОСТЬЮ КОРЫ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

В Западном Забайкалье выделены три этапа становления гранитоидов, вмещающих рудно-порфировую полезную минерализацию.

Ключевые слова: гранитоиды, рудно-порфировые месторождения, мощность коры, Западное Забайкалье

В Западном Забайкалье имеют распространение гипабиссальные гранит-порфиры и лейкограниты, с которыми связана экономически значимая медно-молибденитовая и молибденитовая минерализация. До последнего времени возрастное положение этих гранитов, как и собственно оруденения, оставалось не совсем ясным. Следует отметить, что традиционно данные гранит-порфиры и лейкограниты относились к гуджирскому комплексу, петротипом которого являются меловые граниты Первомайского месторождения (Джидинский рудный район) [1]. В сообщении представлены данные о возрасте формирования гранитоидов ряда рудно-порфировых месторождений и рудопроявлений Западного Забайкалья. С помощью U-Pb LA-ICP-MS датирования цирконов установлены не менее трех этапов становления рудоносных гранитоидов: (1) позднекарбон–раннепермский, (2) юрский и (3) меловой. Кроме того, будет рассмотрена вероятность пространственно-возрастной корреляции генерации рудоносных гранитоидных магм с эволюцией мощности коры региона в позднепалеозой–мезозойское время. Мониторинг мощности континентальной коры во времени основан на анализе геохимического состава и возраста обломочного циркона [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев И. В., Гольцман Ю. В., Баирова Э. Д., Иванова Г. Ф. Rb-Sr геохронология процессов последовательного формирования гранитов, грейзенизации и гидротермальной минерализации: Джидинское W-Mo месторождение, Западное Забайкалье // ДАН. – 1998. – 360 (4). – С. 537-540.
2. Tang M. [et al.] Reconstructing crustal thickness evolution from europium anomalies in detrital zircons // Geology. – 2020. – V. 49. – P. 76–80. – DOI : https://doi.org/10.1130/G47745.1

Черенков В. Г. (v.cherenkov@mfkarpinsky.ru), Корнилова В. П. (kornilova_v@mail.ru), Герасимова М. В. (m.gerasimova@mfkarpinsky.ru)
ФГБУ МФ ВСЕГЕИ

КИМБЕРЛИТЫ И КАРБОНАТИТЫ ПРИАНАБАРЬЯ (МАЙМЕЧА-КОТУЙСКАЯ, КУОНАМСКАЯ, УДЖИНСКАЯ ПРОВИНЦИИ)

Образования ультраосновного щелочного с карбонатитами состава и кимберлиты принадлежат к различным магматическим формациям, возникшим в различных средах и на разных уровнях глубинности. Конвергентность вещественного состава, высокая степень метасоматоза затрудняют их диагностику. Разделение этих формаций проведено в Прианабарье на основе изучения популяций типоморфных минералов этих пород, что позволило выделить среди магматитов Куонамской провинции два магматических комплекса: анабарский кимберлитовый и куонамский щелочных гипербазитов с карбонатитами.

Ключевые слова: кимберлит, карбонатит, Куонамская провинция, мантия, алмаз.

Западный и восточный склоны Анабарского сводового поднятия представляют собой область широкого развития пород ультраосновного щёлочного с карбонатитами, основного, щелочного состава и кимберлитов. Это весьма многочисленное (более 800 тел, различающихся

по генезису, составу пород и морфологии) сообщество магматитов, образующее три самостоятельные провинции: Маймеча-Котуйскую на западном, Куонамскую и Уджинскую – на восточном склоне поднятия. Первые две сформировались в первой половине мезозоя, Уджинская – видимо, в среднем палеозое. Характерной особенностью Куонамской, в меньшей степени – Маймеча-Котуйской провинций является тесная пространственная совмещенность проявлений магматитов разного химического состава и генезиса.

Маймеча-Котуйская провинция (МКП). Здесь развиты два магматических комплекса: массивов ультраосновных-щелочных пород с карбонатитами – маймеча-котуйский ийолит-карбонатитовый ($E\upsilon$-$\theta T_{2-3}mk$) – и далбыхский кимберлитовый (σTdl). Проявления ультраосновного щелочного карбонатитового магматизма (УЩК) образуют здесь около 20 интрузивных массивов, в том числе весьма крупных (массив Гули ~ 2000 км^2). Эти массивы представляют собой сложнопостроенные многофазные интрузивы так называемого «центрального типа», сложенные обширным комплексом пород – от дунитов до карбонатитов, сопровождаемые многочисленными дайками и трубками взрыва того же состава. С массивами ассоциирует серия стратифицированных эксплозивных, эффузивных и вулканогенно-осадочных образований близкого петрохимического состава, образующих толщу вулканитов от умеренно-щелочного основного до щелочного составов.

Кимберлиты в МКП имеют резко подчиненное развитие, образуя небольшое далбыхское поле. Содержат типичный для них комплекс минералов-индикаторов; опробованием в них обнаружены единичные мелкие алмазы.

Куонамская провинция (КП) характеризуется комплексом близких по составу образований, но с иными соотношениями составляющих ее генетических типов магматитов и форм их проявления. Здесь доминируют (370 тел) кимберлиты, выполняющие трубки взрыва, изредка – дайки с присущей им популяцией индикаторных минералов, в том числе алмазов, обычно в незначительных концентрациях. В единичных случаях содержания алмазов приближаются к промышленным (трубка Малокуонамская).

Проявления ультраосновного щелочного магматизма в Куонамской провинции менее многочисленны (150 тел), ограничены в основном эксплозивной фацией – это мелкие трубки взрыва, дайки, штоки. Сложены карбонатитами, реже – ультрабазитами; обнаружено также несколько небольших (до 6 км^2 – Мальджангарка) интрузивных массивов карбонатитов.

Различия, существующие между этими провинциями, объясняются главным образом тем, что процесс формирования интрузивов в МКП характеризовался более высокой энергетикой, вследствие чего плутоны УЩК при подъёме в земной коре продвинулись на более высокий уровень, вплоть до приповерхностного. Это предположение подтверждается также формированием мощных толщ вулканических эффузивных и пирокластических образований близкого состава – от арыджангской до коготокской свит.

Состав ассоциации магматитов этих провинций позволяет считать, что их формирование связано с процессами повторного платформенного рифтогенеза, охватившего западный и восточный склоны Анабара в начале мезозоя.

Уджинская провинция (УП) расположена в пределах рифейской палеорифтовой структуры, реактивированной, видимо, в палеозое. В неё входят четыре интрузивных массива центрального типа, сложенных образованиями раннепалеозойского уджинского ийолит-карбонатитового комплекса, и обширная ассоциация тел-сателлитов чимаро-уджинского комплекса (дайки, жилы, штоки и трубки взрыва), тесно связанных с массивами, слагающих ореол диаметром около 40 км.

Массивы имеют площадь до 250 км^2, зонально-кольцевое строение, сложены последовательными сериями пород, сформировавшимися в несколько дискретных магматических фаз. Их формирование, начавшееся с гипербазитов, завершилось фоскоритами и карбонатитами. Последние образуют заключительную магматическую фазу комплекса, слагая центральные штокообразные тела, а также дайки и жилы, сложенные породами альнёит-тингуаитовой и альнёит-пикритовой формаций.

Систематизация обширной, весьма разнообразной по составу пород и их генезису, часто совмещённой в пространстве и по возрасту, ассоциации фанерозойских магматитов западного и

восточного Прианабарья обсуждается уже достаточно длительное время, но пока остаётся в значительной мере дискуссионной. В общем случае диагностика пород не должна бы вызывать затруднений, поскольку каждая из них обладает определенными типоморфными особенностями петрографии и химизма. Но этого нельзя сказать о КП, где, несмотря на длительность изучения и обилие фактического материала, сохраняются серьезные расхождения при идентификации кимберлитов и часто близких к ним по составу карбонатитов. Это связано как с высокой вариативностью петрографических характеристик и химизма, так и с интенсивным воздействием процессов метасоматоза и гидротермальных изменений обеих групп пород, часто искажающих их исходные свойства. Кроме того, проблема осложняется тем, что до настоящего времени отсутствуют общепризнанные представления, объясняющие происхождение карбонатитовых, в меньшей мере – кимберлитовых магм, равно как и их генетических соотношений.

В некоторых работах утверждается, что между кимберлитами и карбонатитами существует генетическое родство и им свойственна связь с единым мантийным источником, несмотря на различия ассоциаций типоморфных минералов, химизма и условий образования. Эти различия объясняются разными направлениями эволюции и уровнями дифференциации глубинных ультраосновных расплавов. Но в результате кристаллизации «карбонатитовой ветви расплава», отделившейся на мантийном уровне, неизбежно должна была бы возникнуть ассоциация минеральных фаз, отвечающая мантийным условиям среды минералообразования, притом отсутствующая в конечных продуктах эволюции – массивах УЩК и их сателлитах. Эта идея отражена и в последней редакции легенды Анабаро-Вилюйской серии ГК-1000, в которой эти магматиты объединены в единый «куонамский кимберлит-карбонатитовый комплекс» (!), что представляется нам необоснованным.

При диагностике этих групп пород, часто близких по петрографическим характеристикам и минеральному составу, основная роль принадлежит не столько породообразующим минералам, сколько акцессориям, характеризующим условия среды их минералообразования. Для кимберлитов это популяция МИК (МСА), которые определяют *PT*-параметры среды, соответствующие мантийным, и никогда не встречаются в карбонатитах. В то же время типоморфные акцессории карбонатитов указывают на их генетическую связь с породами УЩК, формировавшимися в *PT*-условиях, отвечающих верхней части земной коры. Эта связь подчёркивается и обычно находимыми в карбонатитовых брекчиях ксенолитами фенитов, образующихся в экзоконтактовой зоне интрузий щелочных гипербазитов, но отсутствующих в брекчиях кимберлитовых.

Существуют менее очевидные петрохимические особенности, отличающие кимберлиты от других представителей группы лампрофиров. Но именно на эти показатели больше всего влияют процессы метасоматоза, искажая все генетические построения.

Из этого следует одно из главных генетических отличий карбонатитов от кимберлитов: они представляют собой наиболее поздние фазы эволюции ультраосновной-щелочной магмы или боковые, обычно эксплозивные дериваты формировавшихся на сравнительно небольшой (до 3–8 км по разным оценкам) глубине массивов щелочных ультрабазитов или карбонатитов, Это легко заметить на примере и Куонамской провинции с ее карбонатитовыми массивами (Мальджангарка и др.) и серией ассоциирующих с ними тел интрузивных и эксплозивных карбонатитов и гипербазитов.

Что касается генезиса глубинных ультраосновных щелочных магм, то нам представляется наименее противоречивым и лучше всего объясняющим все многообразие известных фактов предположение Х. Эккермана (1958), в соответствии с которым их источником следует считать нижний базальтовый слой земной коры, где происходит зарождение этих магм и сопутствующих им карбонатитов. Тесная связь карбонатитов с базальтоидным магматизмом отчётливо проявляется на примере многих карбонатитовых провинций, формировавшихся непосредственно вслед за главным периодом активности базальтового магматизма. Это подтверждается также отчетливой связью карбонатитовых провинций с зонами рифтогенеза и крупными поднятиями, сопровождавшимися активизацией базальтоидного магматизма. Предположение об отделении карбонатитовой магмы на уровне базальтового слоя представляется предпочтительным по сравнению с расщеплением кимберлитовой и карбонатитовой магм на значительно более глубоких горизонтах мантии, поскольку устраняет возникающее в этом случае необъясни-

мое противоречие – отсутствие в карбонатитовых комплексах высокобарических силикатов и оксидов, неизбежно возникших бы в этих условиях.

Сложность проблемы генетической идентификации магматитов Куонамской провинции объясняется как неопределенностью их типологических свойств, так и недостаточной изученностью проблемы. Однако комплексное изучение этих образований, проведенное по единой методике на большей части провинции группой Н. Е. Морозовой и обобщившее все ранее полученные данные, позволяет решить эту проблему вполне удовлетворительно. Результаты этого изучения позволили нам разделить куонамские магматиты на два самостоятельных комплекса: анабарский кимберлитовый и куонамский карбонатитовый.

В Куонамской провинции обособляются участки относительного сгущения тел, традиционно рассматриваемые в ранге поля. Анализ расположения проявлений магматитов различного генезиса позволил выявить существенные различия структурно-тектонического контроля размещения кимберлитов и карбонатитов. Особенно наглядно это видно на примере Стародеченского, Ары-Мастахского и Дюкенского полей, в которых тела кимберлитов распределены на всей их площади относительно равномерно, в то время как карбонатиты/гипербазиты образуют небольшие по площади, отчётливо выраженные сообщества изометричной, реже – линейной формы с более высокой плотностью тел, расположенные в краевых, иногда – в центральных частях полей кимберлитов. Особенности пространственного положения ассоциаций кимберлитов и карбонатитов и их внутренней структуры объясняются, видимо, тем, что они формировались за счет деятельности различных магматических очагов, располагавшихся на разных глубинах.

Группировка тел кимберлитов и карбонатитов, подчиняющаяся столь ясно выраженным и при этом резко отличным контролирующим факторам, подтвердила правомерность систематики и возможность их достаточно уверенной идентификации при дальнейшем изучении этого района. Значимость этой проблемы определяется различной минерагенической специализацией этих образований, имеющей одинаково важное практическое значение.

Черных А. И. (chernykhai@polyus.com)
УК «Полюс», г. Москва

ВОЗРАСТНЫЕ ЭПОХИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

На основе комплексного анализа геологических и изотопно-геохронологических данных выделены и охарактеризованы позднерифейско-вендская, ранне-среднекембрийская, средне-позднекембрийско-ордовикская, позднесилурийско-раннедевонско-девонская, позднедевонско-раннекарбоновая и пермско-триасовая металлогенические эпохи формирования золотого и золотосодержащего оруденения Алтае-Саянской складчатой области.

Ключевые слова: Алтае-Саянская складчатая область, металлогения, металлогеническая эпоха, золото.

Выполнен комплексный анализ геологических и изотопно-геохронологических данных возраста рудогенерирующих и рудовмещающих комплексов пород, рудоносных метасоматитов и руд золота южной и западной частей Алтае-Саянской складчатой области (АССО). Создана и проанализирована база данных из 410 изотопных датировок, полученных разными исследователями, в том числе автором. Использовались преимущественно U-Pb (SHRIMP-II), а также Sm-Nd, Rb-Sr, Ar-Ar, (U,Th)-He и Re-Os данные. Проведено сопоставление изотопных датировок по породным комплексам внутри рудных районов и узлов между собой и с геологическими материалами. Наибольшее количество изотопно-геохронологических данных использованы из материалов Г. А. Бабина, А. С. Борисенко, Е. В. Ветрова, А. Г. Владимирова, А. И. Гусева, Н. И. Гусева, Ю. А. Калинина, Н. Н. Крука, Е. А. Наумова, С. Н. Руднева, А. И. Черных и др., полученных при проведении геологосъмочных и научно-исследовательских работ.

Обоснованы выводы о дискретном во времени распределении эндогенного золотого и золотосодержащего оруденения и выделении шести металлогенических эпох, отвечающих разным геодинамическим этапам эволюции региона. В границах АССО выделена Алтае-Саянская металлогеническая провинция (АСМП), в которой обособляются герцинско-каледонские Алтае-Салаирская, Алатауссско-Кузнецкая и Западно-Саянская субпровинции. Кроме того, выделяется Кузнецкая металлогеническая зона, золотое оруденение которой имеет пермско-триасовый возраст и накладывается на более древние складчатые комплексы. Каждая субпровинция отличается последовательностью смены геодинамических режимов, составом и масштабами магматизма и, как следствие, разной степенью проявленности металлогенических эпох и металлогенической специализацией (рисунок). Для каждой эпохи характерен свой набор ведущих типов золотого и золотосодержащего оруденения, сочетание металлогенических факторов и закономерности локализации руд.

1. Позднерифейско-вендская эпоха характеризуется незначительным распространением золотого и золотосодержащего оруденения, что во многом обусловлено ограниченным распространением позднерифейских метаморфических и магматических комплексов на изученной территории. Формирование позднерифейских толщ предполагается в надсубдукционных условиях на окраинах Палеоазиатского океана. Образование вендских терригенно-карбонатных пород связывается с океаническими поднятиями (симаунтами). Позднерифейские метаморфические породы слагают небольшие линейные тектонические блоки, а вендские терригенно-карбонатные – крупные блоки, вытянутые цепочкой с запада и востока от Кузнецко-Алтайского глубинного разлома, разделяющего Алтае-Салаирскую и Алатауссско-Тувинскую субпровинции.

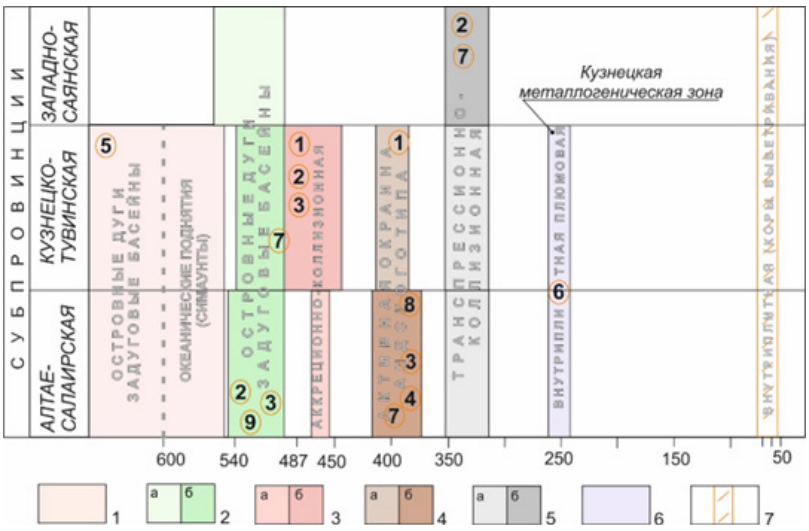


Рисунок. Металлогенические эпохи золотого и золотосодержащего оруденения разных субпровинций Алтае-Саянской складчатой области, их степень проявленности и основные типы:
металлогенические эпохи: 1 – позднерифейско-вендская, 2 – ранне-среднекембрийская (а – менее проявлена, б – более проявлена), 3 – средне-позднекембрийско-ордовикская (а – менее проявлена, б – более проявлена), 4 – позднесилурийско-раннедевонско-девонская (а – менее проявлена, б – более проявлена), 5 – позднедевонско-раннекарбоновая (а – менее проявлена, б – более проявлена), 6 – пермско-триасовая, 7 – мел-палеогеновая эпоха формирования золотоносных кор выветривания.
Типы золотого и золотосодержащего оруденения (цифры в эллипсах), без привязки к субпровинциям: 1 – золото-кварцевый (IR), 2 – золото-судьфидно-кварцевый (IR, OR), 3 – золото-скарновый (IRsk), 4 – золото-серебряный (ET), 5 – золото-(кварц)-сульфидный в углеродистых терригенных комплексах (OR), 6 – золото-(кварц)-сульфидный в углеродистых терригенно-карбонатных комплексах (CT), 7 – золотосодержащий (молибден)-меднопорфировый (PT), 8 – золотосодержащий скарново-железорудный (Irsk), 9 – золотосодержащий колчеданно-полиметаллический (VMS)

Особенностью данной металлогенической эпохи является генетическая связь золотого оруденения с углеродистыми вулканогенно-осадочными и терригенно-карбонатными толщами, отличающимися на отдельных участках повышенным содержанием Au, As, U, V. Углеродистые породы рассматриваются как осадочные «коллекторы» для накопления металлов, которые совместно с мантийными источниками рудного вещества при более поздних тектоно-магматических событиях мобилизовывались и концентрировались. Для металлогенической эпохи характерно формирование золото-(кварц)-сульфидного оруденения OG (Orogenic gold) и ассоциация Au с As, Cu, Pb, Zn.

2. Золотоносность **ранне-среднекембрийской эпохи** определяется широким развитием вулканогенных и интрузивных комплексов пород энсиматической островодужной и задуговой офиолитовой природы. На основании изотопно-геохронологических данных предполагается, что становление надсубдукционных комплексов в Западно-Саянской и Алтае-Салаирской субпровинциях началось в позднем венде на границе с кембрием. Однако наиболее масштабно островодужный и задуговый магматизм проявились в раннем–среднем кембрии.

Ранне-среднекембрийские вулканогенно-осадочные породы имеют сидеро-халькофильную специализацию и, по крайней мере на отдельных участках, повышенное содержание золота. Это связано с образованием вулканогенно-осадочных пород в бассейнах, сопряженных с областями примитивного островодужного и задугового (междугового) океанического магматизма. Разрезы ранне-среднекембрийских комплексов отличаются частой сменой петрографических разностей пород, обладающих различиями в физико-механических свойствах. Это определило их как благоприятную среду для возникновения зон трещиноватости и проницаемости для гидротермальных растворов при последующих складчатых и тектонических деформациях. Большая часть коренных и россыпных золоторудных объектов АСМП пространственно ассоциирует именно с ранне-среднекембрийскими вулканогенно-осадочными породами. В полихронных рудных районах и узлах продуктивность золотого и золотосодержащего оруденения более молодых эпох во многом определяется наличием или отсутствием ранне-среднекембрийских пород с признаками золотоносности.

Для этой металлогенической эпохи характерно преобладание оруденения золото-сульфидно-кварцевого IR (Intrusion Related), реже золото-скарнового типа (IRsk) и золотосодержащего колчеданно-полиметаллического (VMS). В последние годы появляется все больше данных о формировании золотосодержащего молибден-медно-порфирового оруденения Cu-PT (Cu Porphyry-type) на заключительных этапах островодужного магматизма, при переходе к режиму аккреции отдельных сегментов дуги к континентальной окраине. Для данной металлогенической эпохи типична ассоциация Au с Fe, Mn, Pb, Zn, Cu.

3. Золотое оруденение **средне-позднекембрийско-ордовикской эпохи** на данный момент имеет наибольшее промышленное значение. Отличительной особенностью данной эпохи является значительный объем магматизма габбродиорит-гранодиорит-гранитоидного состава в пределах всей Алатаусско-Тувинской субпровинции АСМП. Массивы диоритоидного и гранитоидного составов служили источниками тепла и гидротермальных растворов, и с их становлением связано наиболее масштабное перераспределение золота в позднерифейских, вендских и кембрийских комплексах. Участки с максимальной золотоносностью наблюдаются в узлах, в которых распространены средне-позднекембрийско-ордовикские габбро-диорит-гранодиоритовые массивы, интрудированные в интенсивно дислоцированные при аккреционно-коллизионных событиях вулканогенно-осадочные породы с признаками золотоносности, сформированными в более ранние эпохи. Чаще всего золоторудные объекты приурочены к эндо- и экзоконтактовым зонам интрузий и участкам смятия, метаморфизма, рассланцевания кембрийских вулканогенно-осадочных пород. Золотая минерализация сопровождается зонами линейных и площадных метасоматитов лиственит-березитового ряда. Именно пространственное совмещение золотоносных пород островодужного и аккреционно-коллизионного этапов развития региона определяет большой масштаб золотого оруденения.

Средне-позднекембрийско-ордовикская эпоха отличается широким распространением месторождений, в том числе крупных, золото-кварцевого (IR), золото-сульфидно-кварцевого (IR, OR) и золото-скарнового типов (IRsk), а также золото-сульфидно-кварцевых объектов типа

RIRG (Reduce Intrusion Related Gold). Для оруденения этой металлогенической эпохи характерна ассоциация Au с Fe, Cu, Mo, W.

4. Золотое и золотосодержащее оруденение **позднесилурийско-раннедевонско-девонской эпохи** наиболее широко проявлено в пределах Алтае-Салаирской субпровинции. Оруденение связано с фрагментированными девонскими вулкано-плутоническими поясами, формирование которых происходило в условиях активной континентальной окраины андского типа. На современном эрозионном срезе вулкано-плутонические пояса представлены отдельными грабенами, прогибами и вулкано-структурами на кембрийско-силурийском складчатом фундаменте. Масштаб золотоносности этой эпохи в различных рудных районах и узлах во многом определяется наличием и степенью вовлеченности в рудообразующие процессы кембрийских вулканогенно-осадочных островодужных и офиолитовых комплексов каледонского складчатого основания.

С вулканогенными и субвулканическими породами эпохи связано образование оруденения эпитермального золото-серебряного типа низко-, средне- и высокосульфидизированных подтипов EP LS, IS, HS (Epithermal type) с гранитоидными комплексами пород золото-скарнового и золотосодержащего скарновожелезорудного типов (IRsk), реже золото-кварцевого типа IR, в том числе RIRG. Кроме того, выделяются мелкие объекты медно-молибденпорфирового типа (MoPT) с низким содержанием золота. Для золотого оруденения металлогенической эпохи типична ассоциация Au с Ag, Cu, Fe, Pb, Zn.

5. Наибольшее количество признаков золотого и золотосодержащего оруденения **позднедевонско-раннекарбоновой эпохи** на данный момент установлено в пределах Западно-Саянской субпровинции. Золотое оруденение связано с транспрессионно-коллизионным этапом эволюции региона. В это время предполагается активизация ранее сформированных региональных разломов и заложение новых, в связи с коллизией Казахстано-Байкальского составного континента с Сибирским кратоном. В результате вдоль наиболее крупных разломов, преимущественно сдвиговой и взбросо-сдвиговой природы, формируются локальные зоны растяжения, которые маркируются девонскими дайками и небольшими массивами основного и кислого составов.

Позднедевонско-раннекарбоновая металлогеническая эпоха характеризуется развитием признаков штокверкового и жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения (OG) вдоль линейных наиболее крупных зон складчато-разрывных дислокаций. В отдельных локальных структурах pull-apart образуются центры магматизма (небольшие штоки и дайки), часто средне-кислого субщелочного состава, с которыми может быть связано возникновение медно-порфирового оруденения, иногда с высоким содержанием золота Cu-Au PT (Cu-Au Porphyry type). Максимальная золотоносность наблюдается на участках, где сульфидно-кварцевые прожилки прорывают золотоносные поздневендско-раннекембрийские островодужные и задуговые вулканогенно-осадочные отложения. Для данной эпохи типична ассоциация Au с As, Cu, Te, Bi.

6. Формирование золотого оруденения **пермско-триасовой металлогенической эпохи** связано с внутриплитным плюмовым магматизмом. Оно локализуется в зонах разломов и маркируется поясами даек долеритов, реже массивов гранитоидов и низкотемпературных метасоматитов. На отдельных участках, приуроченных к бортам Кузнецкого прогиба, отмечается повышенная золотоносность позднедевонско-раннекарбоновых терригенных и карбонатно-терригенных пород. Предполагается, что эти отложения, наряду с мантийными источниками металлов, могли служить основой для образования более позднего золотого оруденения пермско-триасовой эпохи. Повышенное содержание золота в позднедевонско-раннекарбоновых толщах основания прогиба, возможно, связано с размывом золотоносных кембрийских пород в его обрамлении.

Для пермско-триасовой эпохи характерно развитие эпитермальной минерализации золото-(кварц)-сульфидного типа в углеродистых терригенно-карбонатных толщах CT (Carlin type) в ассоциации с ртутной, сурьмяной и флюоритовой минерализацией. Золотое оруденение этой эпохи ассоциирует с As, Sb, Hg, Ba.

Таким образом, на основе анализа вновь полученных и ранее известных изотопно-геохронологических и геологических данных обоснован вывод о том, что формирование коренного

золотого и золотосодержащего оруденения АСМП происходило в позднерифейско-вендскую, ранне-среднекембрийскую, средне-позднекембрийско-ордовикскую, позднесилурийско-раннедевонско-девонскую, позднедевонско-раннекарбоновую и пермско-триасовую металлогенические эпохи. Каждая эпоха отличается особенностями золоторудной специализации, возрастом и составом рудогенерирующих и рудовмещающих комплексов пород, геодинамическими условиями их становления. Разнообразие условий образования геологических комплексов АСМП и неоднократная тектоно-магматическая активизация определяют полихронность и полигенность формирования золотого оруденения, при этом для каждого рудного района выделяется эпоха, с которой связаны максимальные масштабы проявления золотого оруденения и определенный набор его типов.

Чесалов Л. Е. (chesalov@specgeo.ru), Рыбаков А. М. (rybakov@msnr.ru)
ФГБУ «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ», г. Москва

ОПЫТ ФГБУ «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ» ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрен опыт применения современных ГИС-технологий для широкого спектра задач геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы, с учетом особенностей мониторинга состояния недр. Предложена ГИС-архитектура, рассмотрен функционал и отдельные элементы целевой инфраструктуры. Определены задачи и последовательность действий.

Ключевые слова: мониторинг, ГИС, архитектура, информационные системы.

Требования к информационной инфраструктуре и геоинформационным технологиям определяются задачами организации – текущими и перспективными. Для ФГБУ «Гидроспецгеология» характерно разнообразие задач, от мелкомасштабного картографирования до мониторинга локальных объектов. Масштабы работ варьируется от сводно-обзорного 1 : 2 500 000 до локальных участков 1 : 2000. Важным фактором является территориальная распределенность деятельности организации (9 филиалов). Разнообразием задач и некоторыми требованиями заказчиков обусловлена значительная обособленность производственных подразделений.

Текущее состояние информационного обеспечения работ:

- эксплуатируются несколько развивающихся независимо информационных систем, в том числе устаревших;
- большое количество подрядчиков. Развит автоматизированный и ручной сбор первичной информации;
- активно развивается технология Web-ГИС, порталов и т.п. Необходимо использование опыта на других направлениях деятельности;
- часть работ выполняется на локальных информационных системах (ГИС Панорама). Сейчас они работают изолировано, но можно организовать обмен данными и доступ к необходимым ресурсам по сети (для открытой информации)
- большое значение имеет система фондов организации: сделана карта изученности, начата работа по созданию электронных каталогов.

В рамках работ по развитию информационного обеспечения и импортозамещению выполнены следующие работы:

Развернуты ГИС сервера (NextGIS Web, Geoserver) с подключением ко внутренним и внешним источникам данных.

Начата миграция пространственных данных из стека ПО ESRI на линейку ПО из реестра Минцифры (Postgres (+PostGis)).

Идет адаптация под web и размещение готовых карт на платформе NextGIS Web с предоставлением доступа к геосервисам этих карт сотрудникам в локальной сети.

Продолжается создание системы сбора и накоплениях данных с пунктов наблюдения, оборудованных автоматическими датчиками.

Проведена апробация ручного полевого сбора данных на мобильных устройствах с передачей информации в Веб-ГИС предприятия.

Целевая инфраструктура должна включать:

- внешние ресурсы, файлы, СУБД, ГИС-серверы, ГИС-порталы, разные клиенты;
- документацию, включая порядки сбора, хранения и ведения;
- средства разграничения доступа и мониторинга использования;
- средства безопасности и резервного копирования.

Предлагается определить центром производственной ГИС инфраструктуры специализированные фонды, которые приобретают новые задачи и функции:

- сбор и хранение всех материалов, в т.ч. цифровых. Ведение электронного каталога и карты наличия материалов. Каталог и карты изученности доступны во внутренней сети организации (в части открытой информации);
- заказ материалов во внешних организациях (Росгеолфонд, Роскадастр, Роскосмос и др.) по заявкам всех подразделений;
- предоставление цифровых материалов (для бумаги уже есть). Для карт – в виде сервисов, доступных для всех используемых ГИС (с учетом прав доступа).

Определен следующий план работ на ближайшее время:

1. Продолжение работ по миграции пространственных данных из ArcSDE в Postgis.
2. Продолжение работ по размещению (публикации) тематических карт в web ГИС с предоставлением подразделениям организации доступа к геосервисам.
3. Налаживание устойчивого информационного взаимодействия между вновь внедренными элементами ГИС инфраструктуры и существующими ИАС в контуре предприятия.

Успешная реализация новой информационной инфраструктуры требует следующих действий:

- разработка и утверждение регламента информационного взаимодействия подразделений в составе организации;
- принятие организационных решений о составе и задачах информационных подсистем организации, включая порядок и способы импортозамещения;
- разработка архитектуры и технического проекта ГИС инфраструктуры организации и взаимосвязи ее компонентов с уже эксплуатирующимися в организации системами;
- координация действий подразделений, вывод из эксплуатации дублирующих функции друг друга подсистем, доработка и ввод новых при необходимости;
- получение доступа к необходимым внешним ресурсам (карты из ВСЕГЕИ, данные по лицензиям, МСБ и отчетности из Росгеолфонда, данные по загрязнениям из Росприроднадзора, топоосновы, ООПТ и др.);
- организация доступа к web-ресурсам, представляющим интерес для различных подразделений;
- доработка нормативных и технических требований, согласование с Роснедра.

Чечко В. А. (che-chko@mail.ru)
ФГБУ ИО РАН, г. Москва

ИЗУЧЕНИЕ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ РОССЫПЕЙ В ЮГО-ВОСТОСНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Изучен гранулометрический и минеральный составы россыпей тяжелых минералов (темных песков) на пляжах береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря (Калининградское побережье). Представлены особенности их распространения на пляжах Куршской и Вислинской кос, а также в северной и западной половине Самбийского полуострова, отмечено их значение как естественных индикаторов вдольбереговых потоков наносов.

Ключевые слова: минералогия, темные пески, Балтийское море, ильменит-магнетит-гранатовые пляжевые россыпи.

Под россыпями понимаются скопления рыхлого обломочного материала, содержащие в больших количествах ценные аллотигенные минералы в концентрациях, представляющих интерес для их извлечения [9]. Они формируются в результате выветривания коренных пород, транспортировки, перемыва и переотложения продуктов их разрушения, приводящих к обогащению осадков устойчивыми полезными минералами [5].

Широко распространены прибрежно-морские россыпи, образующиеся в прибрежной части морей и океанов под влиянием волнения и течений на подводном береговом склоне или на приурезовой полосе пляжа. Исследованиям прибрежных россыпей тяжелых минералов в юго-восточной части Балтийского моря посвящен ряд работ [1, 2, 4, 10]. В них рассмотрены условия концентрации тяжелых минералов, особенности строения, морфологии и современной динамики морских россыпей на подводном береговом склоне в этой части Балтийского моря.

Результаты изучения минерального состава пляжевых россыпей на Куршской косе представлены в работе [7]. В ней авторы также обосновывают расположение вероятных источников поступления тяжелых минералов в пляжевые отложения. Следует отметить, что образование достаточно обширных (до 1 км в длину и 15 м в ширину) ареалов «темных песков» на пляже Куршской косы довольно частое явление, в отличие от пляжевой полосы западной половины Самбийского полуострова и Вислинской косы.

Настоящая работа посвящена изучению россыпи тяжелых минералов, выявленной на пляже западной половины Самбийского полуострова в 2024 г. (рис. 1). Ареал россыпи представлял собой вытянутую вдоль берега узкую полосу, удаленную от уреза на 3–5 м, длиной 75 м и шириной от 2 до 4 м (рис. 2). Мощность (толщина) отложений составляла 5–25 см. Россыпь резко отличалась от обычных пляжевых отложений своими цветовыми свойствами, которые менялись от сиренево-фиолетовых до темных, почти черных оттенков.



Рис. 1. Район исследований:
1 – локализация пляжевой россыпи; 2 – местоположение входных молов Калининградского морского канала

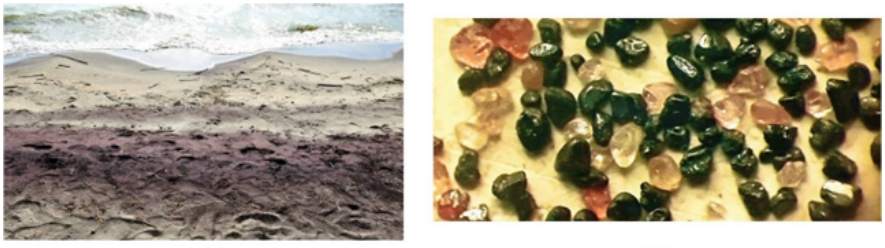


Рис. 2. Пляжевая россыпь (А) и состав ильменит-магнетит-гранатовой россыпи (Б)

В песках темного цвета сконцентрированы и доминируют хорошо окатанные зерна черных рудных минералов (ильменита, магнетита), в более светлых, сиренево-фиолетовых песках их доля сокращается, но увеличивается содержание минералов группы граната, преимущественно альмандина (см. рис. 2). Основная масса минералов приурочена к среднезернистому (0,5–0,25 мм) и мелкозернистому песку (0,25–0,10 мм).

Несмотря на высокие концентрации ильменита, магнетита и граната в пляжевых отложениях Калининградской прибрежной зоны, перспективы их промышленных разработок маловероятны из-за их нерегулярного и эпизодического появления при незначительных по площади очагов распространения. Однако они могут быть интересны с точки зрения естественных индикаторов результирующих вдольбереговых потоков наносов. Согласно [6, 7, 10] источниками черных рудных минералов могут быть неогеновые и палеогеновые породы на побережье Самбийского полуострова, а граната – озерно-ледниковые отложения плейстоцена на дне моря. Например, по данным В. Р. Бойнагряна [3], только за счет размыва коренных берегов Самбийского полуострова во вдольбереговой поток наносов ежегодно поступает около 3200 м^3 полезных компонентов.

В таком случае довольно регулярные выбросы и образования существенных по площади ильменит-магнетит-гранатовых россыпей на пляже Куршской косы подтверждают существование вдольберегового потока (наиболее мощного и протяженного на всей Балтике), направленного от мыса Таран на восток и затем (в соответствии с конфигурацией берега) на север. В то же время поток наносов, направленный от мыса Таран на юг и юго-запад, более слабый, и его действие не приводит к формированию пляжевых россыпей в масштабах, сопоставимых с россыпями на Куршской косе.

На транспортировку вдоль берегов осадочного материала определенное влияние оказывают береговые гидротехнические сооружения. Показано [8], что выдвинутые в море входные молы Калининградского морского канала стали препятствием для вдольберегового перемещения песчаных наносов с севера на юг, что привело к образованию на подводном склоне севернее молов обширного поля песчаных отложений. Безусловно, это касается и тяжелых минералов. Ильменит-магнетитовые линзы регулярно наблюдаются на пляже севернее молов, в непосредственной близости от них. В то же время южнее молов (на пляже Вислинской косы) научно-подтвержденных скоплений тяжелых минералов до настоящего времени не выявлено.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИО РАН, тема № FMWE 2024-0025.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Богданов Н. А. Прибрежно-морское редкометалльное россыпеобразование: краткий очерк состояния проблемы и детальные исследования в Юго-Восточной Балтике // Рациональное освоение недр. – 2018. – № 2. – С. 48–58.
2. Богданов Н. А., Айбулатов Н. А., Шараков В. П. Степень устойчивости современной россыпи в верхней части береговой зоны моря // Литология и полезные ископаемые. – 1985. – № 4. – С. 37–46.
3. Бойнагрян В. Р. Абразия берегов Самбийского полуострова как источник материала для потока наносов // Развитие морских берегов в условиях колебательных движений земной коры. Сборник трудов. – Таллин : Валгус, 1966. – С. 61–66.
4. Болдырев В. Л. Шуйский Ю. Д., Кочетков Б. В. О строении и формировании прибрежных россыпей Восточной Балтики // Океанология. – 1971. – Т. 2, № 2. – С. 245–255.
5. Патык-Кара Н. Г., Беневольский Б. И., Быховский Л. З. [и др.] Россыпные месторождения России и других стран СНГ. – М. : Научный мир, 1997. – 479 с.
6. Харин Г. С., Блажчишин А. И. Неогеновые и палеогеновые осадки и породы как источники питания россыпей Юго-Восточной Балтики // Изучение условий формирования подводных россыпей. – Рига: ВНИИМОРГЕО, 1972. – С. 79–83.
7. Харин Г. С., Жуковская И. П., Исаченко С. М., Ерошенко Д. В. Рудные пески в осадках Куршской косы (Балтийское море) // Океанология. – 2021. – Т. 61, № 1. – С. 132–140.

8. Чечко В. А., Чубаренко Б. В., Болдырев В. Л., Бобыкина В. П., Курченко В. Ю., Домнин Д. А. О динамике береговой зоны моря в районе оградительных молов Калининградского морского канала // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35, № 6. – С. 681–691.
9. Шило Н. А. Основы учения о россыпях. – М. : Наука, 1985. – 400 с.
10. Шуйский Ю. Д. Болдырев В. Л., Кочетков Б. В. Об условиях и особенностях прибрежно-морских россыпей восточной части балтийского моря // Доклады Академии наук СССР. – 1970. – Т. 94, № 1. – С. 187–190.

Чижова И. А., Волков А. В., Шелястина Е. В.
ИГЕМ РАН, г. Москва

ЛОГИКО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ТИПИЗАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Подготовлены логико-информационные модели, позволяющие проводить надежную идентификацию формационного типа золоторудных месторождений и подтипа Au-Ag эпитермальных месторождений. Созданные модели были применены для экспресс-оценки новых рудопроявлений золота Чукотского автономного округа.

Ключевые слова: Северо-Восток России, Чукотка, Au-Ag эпитермальные месторождения, золоторудные месторождения, логико-информационные модели, экспресс-оценка, формационный тип.

Правильное определение типа оруденения имеет важнейшее практическое значение для последующего выбора эффективной методики дальнейших геологоразведочных работ и, в конечном итоге, минимизации сроков их проведения и финансовых затрат.

Для рудообразующих систем, распространенных на Северо-Востоке России, установлены различные формационные типы месторождений золота, отличающиеся друг от друга индикаторным набором микроэлементов.

Логико-информационное моделирование на базе машинного обучения позволяет выделить множество информативных признаков (элементов), с указанием их разделяющих весов и диапазонов изменения значений (интервалов-индикаторов), типичных для месторождений золота конкретного формационного типа. Методика их решения на основе расчетно-логических решающих правил позволяет автоматизировать процесс и строить расчетные *.xlsx модули для проведения экспресс-оценки перспективных площадей. В качестве объекта исследования рассматриваются описания эталонных и перспективных площадей в системе геохимических признаков. Использовались результаты геохимических анализов штуфных проб на 52 элемента: Li, Be, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U, Au, Cu.

Подготовлены логико-информационные модели (ЛИМ) [2] для золоторудных месторождений пяти формационных типов: 1. Au-Ag эпитермального; 2. Au-кварцевого; 3. Au-сульфидного (вкрапленных руд); 4. Cu-Mo-Au-порфирового; 5. колчеданно-полиметаллического, обогащенного Au и Ag. Были разработаны правила для идентификации формационного типа новых объектов (43 ошибки из 289 проб из 95 месторождений, качество распознавания = 0,85).

Учитывая важность исследования Au-Ag эпитермальных месторождений, этот тип был изучен более детально. Разработаны ЛИМ для 11 подтипов месторождений Au-Ag эпитермального типа по классификации, предложенной А. В. Волковым [1], позволяющие проводить надежную идентификацию подтипа (шесть ошибок из 146 проб из 26 месторождений, качество распознавания = 0,96).

По предложенной схеме типизации разработана экспертная система Es-Aurum в виде электронной таблицы формата *.xlsx, использование которой позволяет провести автоматизированную типизацию и оценку новых рудопроявлений золота. В случае отнесения объекта к Au-Ag эпитермальному типу система позволяет надежно идентифицировать подтип эпитермальных месторождений.

На первом этапе проводится оценка проб по геохимическим данным на принадлежность к указанным выше формационным типам, распространенным на Северо-Востоке России (рисунок). Для определения рудно-формационного типа нового рудопроявления по штуфным пробам по результатам геохимического анализа на 52 элемента рассчитывался его информационный вес (значение функции принадлежности проб к анализируемым группам эталонов) как суммарный вес индикаторных данных проб последовательно для каждой модели ЛИМ (суммируются разделяющие веса тех элементов, для которых значение в пробе попадает в интервал-индикатор соответствующего рудно-формационного типа). Оцениваемый новый объект относится к тому рудно-формационному типу, для которого суммарный вес индикаторных данных примет максимальное значение среди всех вычисленных суммарных весов по каждому рудно-формационному типу.

Аналогичное правило действует для определения подтипа рудно-формационного типа. Для этого необходимо использовать ЛИМ подтипов для оценки принадлежности пробы подтипу, если она была идентифицирована как проба с месторождения Au-Ag-эпитермального типа.

Использование расчетного блока позволило провести автоматизированную типизацию новых рудопроявлений золота. В случае отнесения объекта к группе месторождений Au-Ag эпитермального типа, блок позволяет надежно идентифицировать подтип эпитермальных месторождений.

Следует помнить, что оценки, полученные для новых объектов, верны только в случае использования данных по пробам из этих месторождений в автоматизированной системе в тех же единицах измерения содержаний элементов (ppm).

Для экспресс-оценки новых проявлений золота были представлены геохимические данные по 52 элементам с новых рудопроявлений и месторождений, собранные в БД ИГЕМ РАН в процессе исследований, выполненных в рамках проектов РФФИ и РНФ, а также из опубликованных источников.

Результат автоматизированного определения формационного типа золоторудных объектов, расположенных на Северо-Востоке России (Чукотский автономный округ: Арыкваам (4 пробы), Каенмываам (5 проб), Кыплатап (14 проб), Невенрекан (27 проб), Пепенвеем (12 проб), Телевеем (2 пробы), Тэлэвеем (8 проб), Эргувеем (16 проб)) представлен на рисунке. Из 88 проб 47 были идентифицированы как пробы Au-Ag эпитермального типа. Получено, что все новые площади относятся к Au-Ag эпитермальному типу. Поэтому для них был проведен второй этап оценки – определен подтип.

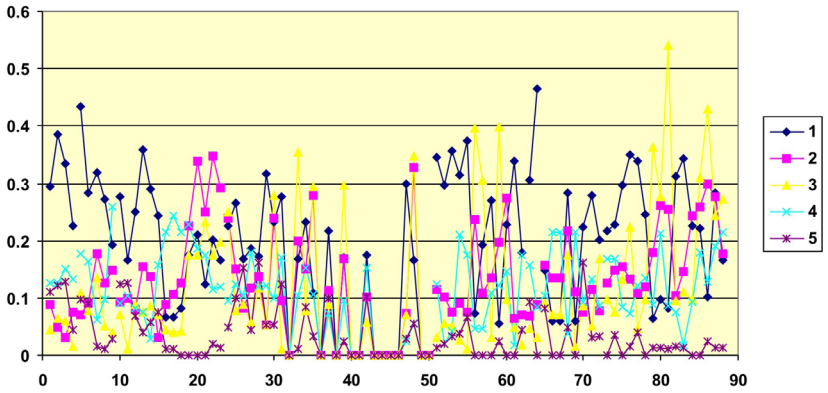


Рисунок. Типизация новых рудопроявлений и месторождений по рудно-формационным типам с помощью ES-Aurum:
рудно-формационные типы: 1 – Au-Ag эпитермальный, 2 – Au-кварцевый, 3 – Au-сульфидный (вкрапленных руд), 4 – Cu-Mo-Au-порфировый, 5 – колчеданно-полиметаллический, обогащенный Au и Ag. По горизонтальной оси указаны номера проб экспертируемых объектов: Арыкваам (1–4), Каенмываам (5–9), Кыплатап (10–23), Невенрекан (24–50), Пепенвеем (51–62), Телевеем (63–64), Тэлэвеем (65–72), Эргувеем (73–88), по вертикальной оси указан информационный вес проб

Определение подтипа новых перспективных Au-Ag эпитермальных рудных площадей

№ подтипа	Формационный тип	Рудообразующая система	Тектоно-металлогеническая обстановка	Примеры эталонных месторождений в базе данных	Итоговая оценка подтипа экспертируемых площадей
3	LS Au/Ag = 1/3–1/10	Cu-Mo-Porph	Кедонский средне-палеозойский вулканический пояс, Омолонский кратонный террейн	Ольча	Каенмываам отнесен к подтипу 3
6	LS Au/Ag = 1/3–1/10	Cu-Mo-Porph	Анадырский сектор ОЧВП, Олойский островодужный террейн	Купол, Морошка, Телевеем	Арыкваам отнесен к подтипу 6
9	IS Au/Ag > 1/100	Sn-Porph	Балыгычан-Сугойский рифтогенный прогиб, ОЧВП	Дукат, Лунное, Теплое	Невенрекан отнесен к подтипу 9
10	LS Au/Ag = 1/10–1/100	Sn-Porph	Анадырский сектор ОЧВП, террейн пассивной континентальной окраины	Пепенвеем, Эргувеем*	Кыплатап, Тэлэвеем отнесены к подтипу 10

Примечание.* – для повышения достоверности прогноза пробы из эталонной выборки (Пепенвеем (5 проб), Эргувеем (6 проб)) были включены в выборку для экспресс-оценки этих месторождений (Пепенвеем (12 проб), Эргувеем (16 проб)).

Следует отметить, что по данным по месторождению Невенрекан, полученным из публикаций, 11 проб не идентифицировались, поскольку не у всех элементов диапазоны изменения содержания попали в зону изменений содержаний по эталонной выборке, так как пробы не являлись рудными, и достоверных результатов нельзя получить. Поэтому они были исключены из дальнейшего анализа.

Результат экспертизы с помощью ES-Aurum, разработанной в ИГЕМ РАН, представлен в таблице. Результаты не противоречат оценке экспертов-геологов. Для оценки подтипа Телевеема требуются дополнительные данные.

Работа выполнена в рамках госзадания ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А. В., Сидоров А. А., Савва Н. Е., Колова Е. Е., Чижова И. А., Мурашов К. Ю. Геохимические особенности вулканогенного рудообразования в северо-западном сегменте Тихоокеанского рудного пояса // Вулканология и сейсмология. – 2017. – № 6 (11). – С. 3–20. DOI: 10.7868/S0203030617060013.
2. 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.

Шадчин М. В. (mshadchin@sfu-kras.ru), Мартынова А. Д. (anna1301z@mail.ru)
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ЦИРКОНОВ АКСУГСКОГО ИНТРУЗИВНОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

В статье представлены актуальные данные U-Pb датирования (LA-ICP-MS) магматических цирконов аксугского интрузивного комплекса, связанного с крупным одноименным Au-Mo-Cu-порфировым месторождением и рядом рудопроявлений, на примере Аксугского мас-

сива. Исследования позволили уточнить возраст формирования фаз массива и актуализировать накопленную геохронологическую информацию.

Ключевые слова: U-Pb возраст, циркон, Ак-Суг, Au-Mo-Cu-порфировые месторождения.

Аксугский интрузивный массив и одноименное Au-Mo-Cu-порфировое месторождение Ак-Суг расположены в Центрально-Азиатской части России на северо-востоке республики Тува (Алтае-Саянская складчатая область). Геодинамическая позиция массива отвечает фрагменту Хамсаринской венд-раннекембрийской островной дуги Таннуольско-Хамсаринской островодужной системы. Структурная локализация Аксугского интрузивного массива и оруденения в нем определяется положением массива в месте сочленения зон крупных разломов. Зона Ак-Сугского разлома имеет субширотное направление и ограничивает интрузию с севера, Челдезрикский разлом связан с формированием Даштыгойского грабена девонского возраста и обрамляет массив с северо-западного направления. Строение массива и локализованного в его породах месторождения определяется структурой куполовидной полифазной интрузии аксугского комплекса со следующими разновидностями пород: 1-я фаза – габбро, диориты, кварцевые диориты; 2-я фаза – тоналиты и плагиограниты, в том числе слабопорфировидные; 3-я фаза центральной части массива представлена тоналит- и плагиогранит-порфирами, с которыми пространственно и парагенетически связано Au-Mo-Cu оруденение штокверковых рудных зон с вкрапленной и прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией [8].

Первые упоминания о строении Аксугского массива относятся к середине XX века, когда геологами экспедиции ВИМСа Г. В. Махиным и Н. Е. Костиным в 1952 г. при проведении поисков масштаба 1 : 100 000 было открыто Ак-Сугское медно-порфировое месторождение. В пояснительной записке [3] к ГГК-200 первого поколения приводятся сведения о раннедевонском возрасте массива, относимого к буеджульскому (сютхольскому) комплексу. Возраст аргументируется секущим положением тел по отношению к ранне-среднекембрийскому маинскому (ныне таннуольскому) комплексу габбро-гранодиорит-плагиогранитного состава и перекрытием массива вулканогенно-осадочными толщами толтаковской свиты среднего девона. Определения абсолютного возраста гранитоидов K-Ar и U-Th-Pb методами показали возрастной диапазон 277–400 млн лет ($D_1 – P_1$). Впоследствии датирование интрузивных пород массива, рудной минерализации и метасоматических образований Ак-Сугского месторождения неоднократно проводилось различными научными коллективами и аналитическими методами (Ar-Ar, U-Pb, Re-Os).

Возраст интрузивного магматизма, связанного с формированием Аксугского массива и парагенетически связанного с ним оруденения, до настоящего времени остается предметом споров и многочисленных дискуссий. Некоторые исследователи [3–6] указывают на девонский возраст его формирования, ряд других исследователей [1, 2, 10] придерживаются точки зрения о кембрийском возрасте магматизма и рудообразования. Согласно последним опубликованным данным [2], определенный U-Pb методом по цирконам возраст порфировых пород центральной части массива, в которых сосредоточена основная масса Au-Mo-Cu оруденения, составляет для тоналит-порфиров 500,4 ± 5,9 млн лет, для плагиогранит-порфиров 499,2 ± 6,3 млн лет. Хронологические рамки формирования рудной минерализации на Ак-Сугском Au-Mo-Cu-порфировом месторождении оценивались предшественниками с применением Re-Os изотопного датирования по молибдениту и составили 511 ± 2, 516 ± 2, 518 ± 2 млн лет, по данным [1] и 517,3 ± 3 и 517,4 ± 3 млн лет, согласно данным [10]. Также в опубликованной литературе отмечается, что эндогенная активность на этапе формирования малых интрузий и оруденения проявлялась в интервале ~ 404–324 млн лет, что подтверждается данными Ar-Ar датирования [7].

Для получения новых данных и актуализации накопленной информации авторами была поставлена задача проведения изотопно-геохимических исследований. U-Pb изотопное датирование по цирконам вмещающих пород Аксугского массива было проведено для пяти образцов горных пород из керна технологических скважин.

Образцы 1-й фазы по химическому (мас.%) и минеральному (об.%) составу отвечают кварцевому диориту ((11-11т/118,2) SiO_2 – 63,5; TiO_2 – 0,3; Al_2O_3 – 14,5; Na2O –1,6; K_2O – 4,0; $Pl_{20–45}$ – 60–70; Hbl – 15–30; Qz – 8–12; Bt – 5–10) и кварцевому диорит-порфириту ((7-6т/148,5) SiO_2 –

64,0; TiO_2 – 4; Al_2O_3 – 15,2; Na_2O – 2,8; K_2O– 3,2; $Pl_{20–45}$ – 65–70; Hbl – 15–20; Qz – 10–15; Bt – 5–10).

Образец 2-й фазы ((8а-8т/93,0) SiO_2 – 70,5; TiO_2 – 0,3; Al_2O_3 – 14,3; Na_2O – 3,3; K_2O – 2,9; $Pl_{10–40}$ – 55–65; Qz – 25–30; Chl – 5–10; Fsp – 3–5) соответствует слабопорфировидному плагиограниту.

Из пород 3-й фазы были проанализированы тоналит-порфир ((5а-1т/696,4) SiO_2 – 67,8; TiO_2 – 0,2; Al_2O_3 – 13,8; Na_2O – 2,2; K_2O – 2,2; Pl40–50 – 45–50; Qz – 20–25; Kfs – 10–15; Hbl + Bt – 7–15) и плагиогранит-порфир ((6-3т/182,2) SiO_2 – 72,1; TiO_2 – 0,2; Al_2O_3 – 13,8; Na_2O – 0,5; K_2O – 4,2; $Pl_{10–40}$ – 40–45; Qz – 30–35; Kfs – 10–15; Bt(Musc) + Hbl – 2–8).

Цирконы из рассматриваемых интрузивных пород различных фаз аксугского комплекса представлены средне-длиннопризматическими прозрачными кристаллами желто-коричневой окраски с частой ритмичной зональностью ближе к каймам. Также отмечаются крупные обломки или фрагменты кристаллов со слабой неравномерной или практически отсутствующей зональностью. Размеры кристаллов циркона варьируют от 50–70 до 300 мкм со средним размером ядра порядка 30–50 мкм в поперечнике. Конкордантный возраст цирконов из образцов кварцевых диоритов 1-й фазы аксугского комплекса с периферии месторождения составляет 525 ± 8 и 528 ± 7 млн лет. Возрасты единичных зерен в описываемом случае варьируют в диапазоне от 486 до 568 млн лет. Возраст внедрения слабопорфировидных плагиогранитов 2-й фазы аксугского комплекса составил 527 ± 5 млн лет. Возраст единичных зерен цирконов из данного образца изменяется от 502 до 555 млн лет. Возраст интрузивных пород 3-й фазы, связанной с формированием промышленного Au-Mo-Cu оруденения, определен по обеим описанным разностям горных пород – тоналит-порфирам и плагиогранит-порфирам. Средний возраст цирконов из тоналит-порфиров составляет 523 ± 7 млн лет. Возраст единичных зерен варьирует в диапазоне от 498 до 553 млн лет. Возраст внедрения тел плагиогранит-порфиров оценивается в 521 ± 6 млн лет с единичными возрастами цирконов пробы от 494 до 546 млн лет.

Опираясь на актуальные результаты U-Pb датирования цирконов, возраст становления массива оценивается в 528–521 млн лет, соответствуя раннему кембрию. Согласно опубликованным данным [9], островодужный интрузивный магматизм Восточной Тувы был представлен двумя стадиями с хронологическими рамками 570–560 и 540–520 млн лет. Более молодые из упомянутых островодужных образований представлены ультрабазит-базитовыми и гранитоидными ассоциациями Хамсаринского батолита с возрастами 532 ± 3 и 523 ± 4 млн лет, коррелирующими с породами аксугского комплекса габбро-диорит-гранодиорит-гранитного состава, подтверждая приуроченность формирования пород аксугского комплекса к одному из этапов островодужного интрузивного магматизма Восточной Тувы.

Ряд полученных результатов имеет не только фундаментальное применение, расширяя спектр геохронологической информации о магматических комплексах Алтае-Саянской складчатой области, но также может быть применим в целях эффективного прогнозирования и поисков порфирового оруденения, локализованного в пределах полифазных гранитоидных массивов раннепалеозойских вулканических дуг Северо-Восточной Тувы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берзина А. Н., Берзина А. П., Гимон В. О. Cu-Mo-порфировое месторождение Аксуг (Северо-Восточная Тува): хронология процессов магматизма и рудообразования (U-Pb, Re-Os изотопные данные), металлогенические следствия // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60 (9). – С. 1330–1349.
2. Берзина А. Н., Берзина А. П., Гимон В. О. Cu-Mo-порфировая рудно-магматическая система Ак-Суг (Северо-Восточная Тува): источники и процессы формирования рудоносной магмы. – DOI 10.15372/GiG2020175 // Геология и геофизика. – 2021. – № 4. – С. 549–556.
3. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000 (первое поколение). Серия Восточно-Саянская. Лист N–47-XIX. Объяснительная записка. – Ленинград, 1976. – 78 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Восточно-Саянская серия. Лист N–47-XIX (Ак-Суг). Объяснительная записка. – М. : МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 214 с.

5. Добрянский Г. И., Сотников В. И., Берзина А. Н., Яровой С. А. Особенности магматизма Ак-сугского медно-молибденового месторождения // Магматизм и металлогения рудных районов Тувы: Сб. науч. тр. – Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1992. – С. 49–62.
6. Забелин В. И. Элементы геолого-генетической модели Ак-Сугского медно-молибденового месторождения // Магматизм и металлогения рудных районов Тувы. – Новосибирск : Наука, 1992. – С. 92–103.
7. Пономарчук В. А. Геохронологические (40Ar-39Ar и Rb-Sr) и изотопно-геохимические (87Sr/86Sr, δ34S, δ13C) параметры Cu-Mo-порфировых рудных систем: Сибирь, Монголия : дис. д-р. геол.-минерал. наук : 25.00.11. – ИГМ СО РАН, Новосибирск, 2005. – 300 с.
8. Макаров В. А., Шадчин М. В., Шведов Г. И., Макеев С. М., Муромцев Е. А., Глушков Ю. В. Ак-Сугское месторождение – эталонный медно-порфировый объект Восточно-Саянской металлогенической провинции. – Красноярск : Сибирский федеральный университет; Институт цветных металлов, 2024. – 174 с.
9. Руднев С. Н. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и озерной зоны западной Монголии : дис. д-р. геол.-минерал. наук : 25.00.04. – ИГМ СО РАН, Новосибирск, 2010. – 521 с.
10. Pollard P. J., Pelenkova E., Mathur R. Paragenesis and Re-Os molybdenite age of Cambrian Ak-Sug porphyry Cu-Au-Mo deposit, Tyva Republic, Russian Federation // Economic Geology. – 2017. – V. 112 (4). – P. 1021–1028.

Шатилова Л. В.[1] (shatilova@tsnigri.ru), Столяренко В. В.[1] (stolyarenko@tsnigri.ru), Алферова В. А.[1] (alferova@tsnigri.ru), Минаева С. В.[1] (minaeva@tsnigri.ru), Минаков А. В.[2] (min.aldan@mail.ru)

[1] ФГБУ «ЦНИГИ», г. Москва; [2] Алданское ОП, АО «Якутскгеология», г. Алдан

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТИПОМОРФНЫМ ОСОБЕННОСТЯМ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ЭЛЮВИАЛЬНО-ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ЯКОКУТСКОЙ ВУЛКАНОСТРУКТУРЫ

Представлены результаты совместных работ ГУ ГГПРС(Я) «Якутскгеология» и ФГБУ «ЦНИГРИ» по оценке золотого оруденения Якокутской вулканоструктуры и ее обрамления. По совокупности полученной геолого-геофизической и минералого-геохимической информации в пределах площади были выделены участки с характерными для них признаками золотого оруденения различных минералого-геохимических типов. Предварительно выделена «сквозная» золоторудная зона, выполненная локальными субвертикальными зонами дробления, являющаяся продуцентом рудного золота на трех смежных участках.

Ключевые слова: Якокутская вулканоструктура, разломы, самородное золото.

Методика исследования. В 2012–2015 гг. и 2017–2019 гг. силами ГУ ГГП РС(Я) «Якутскгеология» и ФГБУ «ЦНИГРИ» были выполнены поисковые работы по оценке золотого оруденения Якокутской вулканоструктуры и ее обрамления, в результате которых в пределах площади были выделены три перспективных участка – Юрбетский, Дальний и Узкий – с характерными для них признаками золотого оруденения.

Методика и методы исследования. Материал получен в результате проводимых группой ФГБУ «ЦНИГРИ» работ в период с 2013 по 2019 гг. На площади Якокутской вулканоструктуры и ее обрамления проводилось шлиховое опробование из зон дробления, вскрытых канавами, отмывка протолочных проб по канавам, а также из элювиально-делювиальных отложений из глубокого копуши (≥ 0,8 м), по бортам ручьев Дикий, Узкий и Дальний, пересекающих те или иные изучаемые потенциально рудоносные тектонические зоны, с шагом 100 м.

Геологическая характеристика площади. Якокутская вулканоструктура находится в Центрально-Алданском рудном районе, в южной части Лебединского рудного узла и располагается на северо-западной границе Верхне-Якокутского грабена, охватывая крайние южные выхо-

ды венд-нижнекембрийских образований Среднеленской моноклизы и структуры мезозойской тектономагматической активизации (ТМА). Вулканоструктура в плане имеет форму почти правильного эллипса размером 6 × 4 км. Ее длинная ось ориентирована на СВ, согласно простиранию крупноамплитудных сбросов Томмотского-Эльконского регионального разлома. Своим восточным флангом массив примыкает к зоне Якокутского регионального разлома.

Исходя из этапов геологического развития территории в пределах рассматриваемой площади можно выделить следующие типы геологических структур (структурные этажи): структуры раннедокембрийского кристаллического фундамента (I-й структурный этаж), платформенные структуры (II-й структурный этаж), структуры мезозойской тектономагматической активизации (III-й структурный этаж) и структуры неотектонической активизации (IV-й структурный этаж).

Раннедокембрийский кристаллический фундамент представлен гнейсами, гранитами и плагиогранитами и в пределах Якокутской вулканоструктуры не обнажается. Породы платформенного чехла с резким угловым несогласием залегают на породах фундамента и представлены венд-нижнекембрийскими карбонатными породами. В крайней южной и локально в северной части Якокутской площади на размытой поверхности нижнекембрийских карбонатных отложений с региональным несогласием залегает терригенно-осадочная толща нижней юры. Щелочные вулканогенные образования средней и верхней юры наблюдаются в кальдере Якокутского вулкано-плутона. Все ранние стратифицируемые отложения прорываются щелочными мезозойскими магматическими породами ороченского, томмотского, верхнесегдарского, алданского и лебединского комплексов.

На ранних этапах развития площади были сформированы региональные зоны дофанерозойских разломов. Из их числа Томмот-Эльконский и Якокутский являются основными рудоконтролирующими структурами Центрально-Алданского района. К ним приурочено большинство известных в данном регионе месторождений рудного золота. Эпиплатформенная активизация вызвала подновление практически всех зон древних разрывных нарушений.

Региональные разломы представляют собой протяженные (до первых сотен км) и мощные (до 10 км) зоны большого числа отдельных сближенных крутопадающих разрывов, которые сопровождаются перекристаллизацией, метасоматическими изменениями и динамометаморфизмом вмещающих пород и часто сопряжены с дайками мезозойских субщелочных пород. Региональные зоны разломов сопровождаются густой сетью оперяющих мелких разноориентированных структур, что создает зоны повышенной проницаемости, наиболее благоприятные для проявления магматической и, как следствие, гидротермальной деятельности. Рудные тела при этом представлены линейными субвертикальными минерализованными зонами дробления, кулисообразно сменяющими друг друга по простиранию.

В частности, к оперяющим разломам, на южном фланге Якокутской вулканоструктуры, в юрских терригенно-осадочных толщах песчаников приурочена выявленная золоторудная Юрбетская зона, состоящая из серии жил Юрбет I, II, III, IV. Зона прослеживается на север до минерализованных зон дробления в псевдолейцитовых порфиритах и фонолитах томотской свиты (зоны Дальняя I и Дальняя II), являющихся продолжением Юрбетских жил. В свою очередь зоны Дальние протягиваются далее к северу до зоны Узкая, локализованной в псевдолейцитовых порфиритах и фонолитах томотской свиты, и субщелочных сиенитах лебединского комплекса.

Таким образом, с высокой долей вероятности выявленная рудная зона Юрбет-Дальняя-Узкая в Якокутском рудном поле представляет единую субмеридиональную структуру. Общая ширина зоны порядка 700–1000 м, протяженность около 4,5 км. Подтверждением этого является сходное строение зон всех трех участков.

Зоны субмеридионального направления зачастую сложены метасоматитами лимонит-калишпат-карбонат-кварцевого состава и часто трассируются дайками субщелочных пород разного состава и различной ориентировки. К дайкам, сопровождающим зоны дробления, и их контактам также приурочено золотое оруденение. Породы в зонах брекчированы, окварцованы, проработаны лимонитовыми охрами, рассечены кварц-лимонитовыми и кварц-лимонит-пиритовыми прожилками и в ряде случаев сопровождаются кварцево-сульфидными жилами. При

этом, если мощность кварцево-сульфидных жил составляет порядка 1 м, мощность зон брекчирования достигает 50–90 м.

Типоморфные особенности самородного золота. Золото зоны дробления участка Юрбетский мелкое, не превышает 0,8 мм по длинной оси, в основном мельче 0,5 мм. Выделения правильных форм (кристаллы и реже их сростки) составляют около 20 %. Преобладает золото неправильных морфологических типов – комковидные, комковидно-ячеистые, цементационно-губчатые и интерстициальные частицы, при этом трещинно-прожилковидные частицы весьма редки (до 10 %). Также невелика роль гемиидиоморфных выделений. Для кристаллов и кристаллических выступов смешанных выделений характерны округленные формы.

Пробность, по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), в пределах отдельных золотин варьирует от 696 до 986 ‰. Среди элементов-примесей постоянно отмечается повышенное содержание Te, спорадически – Cu, Zn, Pd, Sb, Bi, Pb, Hg.

Результаты сканирующей электронной микроскопии (далее СЭМ) также показывают, что средняя пробность поверхности весьма мелкого золота отличается значительными вариациями – от 676 до 843 ‰. Из элементов-примесей отмечается спорадическая примесь Cu.

Золото участка Дальний более мелкое, чем на участке Юрбет, размер частиц не превышает 0,4 мм по длинной оси. Наиболее часто (49 %) встречается золото неправильных форм – комковидно-ячеистые и интерстициальные частицы, при этом трещинно-прожилковидные выделения отмечаются в виде единичных знаков. Также широко распространены правильные выделения (округленные кристаллы, реже их сростки), которые в целом по площади участка составляют около 40 %, при вариациях в отдельных пробах от 20 до 70 %. Гемиидиоморфные золотины составляют около 11 %. Средняя пробность поверхности, определенная методом СЭМ, варьирует от 697 до 970 ‰. На поверхности часто фиксируется примесь Cu.

Золото участка Узкое сходно по размерам с золотом участка Юрбетский, встречаются единичные выделения до 1,1 мм по длинной оси. Соотношения морфологических характеристик золота участка близки золоту участков Юрбетский и Дальний. Здесь также преобладают (58 %) выделения комковидно-ячеистые и интерстициальные, широко распространены (29 %) плохо ограненные округленные кристаллы, встречаются частицы смешанных форм. Средняя пробность поверхности золотин изменяется от 675 до 950 ‰ и фиксируется примесь Cu.

В целом золото всех трех участков Юрбетский, Дальний и Узкое мелкое и весьма мелкое, размером до 0,8–1,0 мм. Наиболее мелкое золото (до 0,4 мм) характерно для участка Дальний. На всех участках наибольшим распространением пользуются золотины неправильных форм – комковидно-цементационные и интерстициальные, доля которых составляет на разных участках от 48 до 62 %. При этом трещинные выделения весьма редки. Гемиидиоморфные частицы на всех участках встречаются в одинаковых количествах (11–13 %). Весьма широко распространены кристаллы и их сростки (20–40 %). Для кристаллических и гемиидиоморфных выделений всех участков типичны округленные грани.

Пробность золота всех трех участков характеризуется значительными вариациями. На участке Юрбетский, по данным РСМА и СЭМ, преобладает золото относительно низкопробное и средней пробности. На участках Дальний и Узкое в заметных количествах присутствует золото с высокой и весьма высокой пробностью поверхности. Для поверхности золота всех участков характерна спорадическая примесь Cu.

На участке Юрбетский предыдущими работами были установлены два этапа отложения золота в единой структуре. Рудообразование первого этапа протекало на глубинах порядка 2 км и при температурах порядка 410–230 °С. Золото второго этапа, эпитермального, отлагалось на глубинах порядка 1 км и при температурах 200–180 °С (Росгеолфонд, фонды ЦНИГРИ, № 12948, 2021. Л. 299).

Сходство типоморфных признаков самородного золота всех трех участков (гранулометрический состав, соотношение морфологических разновидностей, пробность) позволяют предполагать, что золото отлагалось в сходных условиях единой рудной зоны Юрбет-Дальняя-Узкая.

Щукин В. С.[1] (vlad.shchukin@mail.ru), Агашева Е. В.[2] (helenashchukina@gmail.com)
[1] ООО «Арктикгеопоиск», г. Архангельск; [2] ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ АЛМАЗОВ НА СЕВЕРЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Выполнен комплексный анализ геолого-геофизических материалов по северу Восточно-Европейской платформы, уточнены границы основных структурных единиц кристаллического фундамента. Распространение находок алмаза и минералов-индикаторов кимберлита (МИК) по площади и в разрезе платформенного чехла указывает на множественность их коренных источников и их широкий возрастной диапазон. Поисковые работы на алмазы рекомендуется концентрировать в пределах кратонов в районах их рассечения глубинными разломами.

Ключевые слова: кратон, срединный массив, кимберлит, лампроит, трубка взрыва, алмаз, пироп, пикроильменит, хромдиопсид, хромшпинелид, оливин, флогопит.

В настоящий момент находки алмазов, минералов-индикаторов кимберлита, обломков кимберлита в современных осадках и разновозрастных промежуточных коллекторах широко распространены на территории севера Восточно-Европейской платформы, что свидетельствует о многочисленности их коренных источников. Кимберлиты, лампроиты и другие родственные породы установлены в Финляндии, Карелии, на Кольском п-ве, на Онежском п-ве, в Зимнебережном алмазоносном районе, на Среднем Тимане и Южном Урале. Большая часть находок алмазов, обломков кимберлитовых пород, минералов-индикаторов кимберлитов и практически все проявления кимберлитового и родственного магматизма приурочены к древним ядрам кратонам и срединным массивам (рис. 1).

Приуроченность практически всех коренных месторождений кимберлитового типа к древним кратонам установлена давно, и это является основным региональным критерием прогнозирования новых месторождений алмаза. В пределах кратонов размещение кимберлитовых полей и отдельных трубок контролируется глубинными разломами, а именно зонами этих разломов. На севере Восточно-Европейской платформы размещение кимберлитовых и лампроитовых полей, а также отдельных кимберлитовых трубок контролируется линейными структурами субмеридионального простирания. Это подтверждается цепочечным расположением полей, отдельных трубок в их пределах и основным направлением удлинения большинства известных трубок. Как показали наши исследования, субмеридиональные структуры достаточно широко распространены на севере платформы, и с этими структурами связаны проявления основного-ультраосновного магматизма. Структуры данного направления слабо выражаются по материалам мелкомасштабных аэромагнитных съёмок, но достаточно четко проявляются по данным съёмок более крупного масштаба.

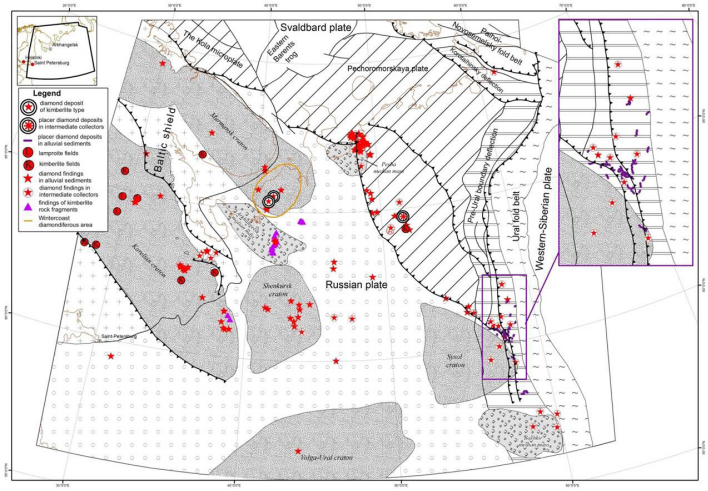


Рис. 1. Схема распространения кимберлитов, лампроитов, находок алмаза и обломков кимберлитовых пород на севере Восточно-Европейской платформы на тектонической основе

Комплексный анализ магнитных и гравитационных полей показал, что все проявления кимберлитового магматизма в Зимнебережном алмазоносном районе расположены на участке с положительными значениями выше указанных полей. Это может указывать на особое строение земной коры и верхней мантии на этой территории, что подтверждается результатами исследований Карен Смит, Елены Агашевой и др., которые установили особое строение мантии в районе трубки Гриба [2]. Такое сочетание геофизических полей может служить дополнительным критерием выделения перспективных площадей.

Установленные кимберлитовый и родственный ему магматизм на севере Восточно-Европейской платформы проявились в пять этапов, разделенных по времени сотнями миллионов лет: **I этап** – 2048–1764 млн лет; **II этап** – 1250–1100 млн лет; **III этап** – 759–570 млн лет; **IV этап** – 450–434 млн лет; **V этап** – 397–323 млн лет. В пределах Архангельской алмазоносной провинции кимберлитовый и родственный ему магматизм установлены в связи с III и V этапами. VI этап (250–197 млн лет) прогнозируется на основании общегеологических соображений (рис. 2, 3).

Сопоставление рисунков 2 и 3 показывает, что кимберлитовый и родственный магматизм на севере Восточно-Европейской платформы и магматизм в Российской Арктике синхронны по времени проявления. Это позволяет прогнозировать выявление новых, более молодых проявлений кимберлитов и родственных пород. Выделение нового, VI этапа кимберлитового магматизма пермско-триасового возраста в пределах платформы обосновывается большим количеством геологического материала, и его установление может состояться в самое ближайшее время. Возможность обнаружения кимберлитов юрско-мелового и палеоген-неогенового возраста необходимо учитывать при проведении поисковых работ на алмазы.

Кольский кратон. В пределах кратона установлены Ермаковское поле слабо алмазоносных кимберлитов и Зимнебережный алмазоносный район. Потенциал Кольского кратона полностью не раскрыт, потому необходимо возобновление поисковых работ в его пределах, особенно в его центральной части.

Зимнебережный алмазоносный район. Зоны разломов, контролирующие трубки Золотицкого поля и трубки им. В. 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 десятков километров.

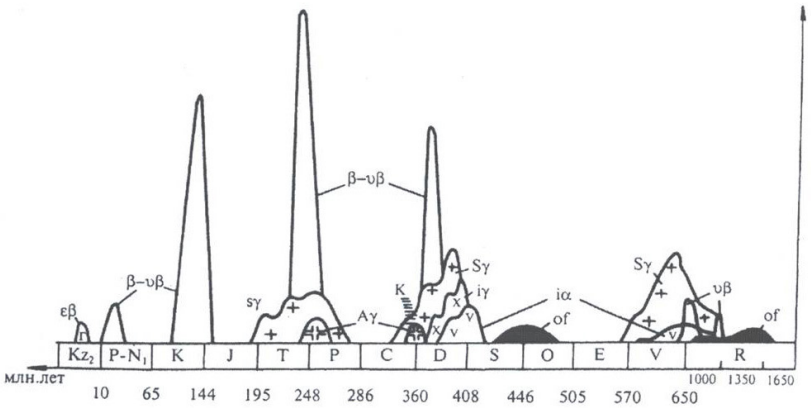


Рис. 2. Время проявления и относительная интенсивность магматической деятельности в Западном и Полярноуральском геоблоках Российской Арктики [1]

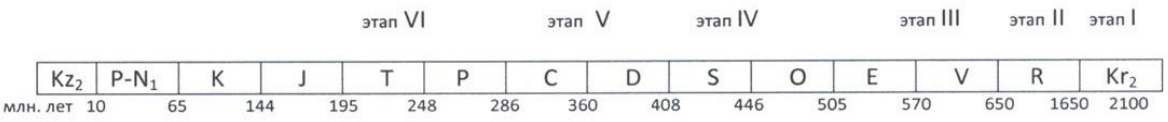


Рис. 3. Время проявления этапов кимберлитового и родственного магматизма на севере Восточно-Европейской платформы

Патракеевская площадь расположена в юго-западной части Зимнебережного алмазоносного района. Вся площадь рассечена зонами разломов, контролирующими размещение щелочных лампрофиров поздневендского возраста и известные месторождения алмазов. В пределах площади обнаружены обломки кимберлитов и пикритов, алмазы, большое количество минералов-индикаторов кимберлита с первичной поверхностью, в их числе пироп, хромдиопсид, пикроильменит, хромшпинелид, оливин, флогопит. По результатам высокоточной аэромагнитной съёмки масштаба 1 : 10 000 выявлен ряд локальных магнитных аномалий трубочного типа.

Козольская площадь расположена в восточной части Зимнебережного алмазоносного района. Вся площадь рассечена двумя мощными зонами разломов субмеридионального простирания. Вся площадь покрыта аэромагнитной съёмкой масштабов 1 : 5 000 (северная часть) и 1 : 10 000 (южная часть). Установлен ряд локальных магнитных аномалий (ЛМА) трубочного типа. Бурением заверено восемь ЛМА, установлено две трубки взрыва (ЛМА LD-40 и KL-01), на шести ЛМА вскрыты туфогенно-осадочные породы. Трубка KL-01 по своим минералогическим и петрохимическим признакам близка к высоко-алмазоносной трубке им. В. Гриба. В кратерной части трубки LD-40 установлены минералы-индикаторы кимберлита, в том числе ильменит с содержанием марганца (манганоильменит). Обе трубки содержат своеобразные образования – сферолиты.

Архангельский срединный массив. В пределах массива известны Онежское поле трубок взрыва некимберлитового состава и находка щелочных лампрофиров поздневендского возраста (Саблуков, устное сообщение). В восточной части массива в аллювиальных отложениях установлены алмазы, обломки кимберлитов и весь спектр минералов-индикаторов кимберлита.

Карельский кратон. В пределах кратона установлены кимберлитовые поля кимберлитов и лампроитов в Финляндии, кимберлиты и лампроиты в Карелии, находки алмазов и многочисленные находки минералов-индикаторов кимберлитов. Потенциал территории полностью не раскрыт.

Восточная часть Карельского кратона, Лачская площадь. В пределах площади обнаружены алмазы, обломки кимберлитов, сростки минералов мантийных пород, большое количество минералов-индикаторов кимберлита без признаков механического износа, среди которых пироп, хромдиопсид, оливин, пикроильменит, хромшпинелид, флогопит. Вся площадь закрыта аэромагнитной съёмкой масштаба 1 : 10 000, выявлен ряд ЛМА трубочного типа.

Шенкурский кратон. В пределах кратона в современных аллювиальных и четвертичных отложениях установлены алмазы с уникальными физическими свойствами и сотни тысяч минералов-индикаторов кимберлита. Выявлен промежуточный коллектор пермского возраста с ураганно высокими содержаниями пиропа. Все это свидетельствует о высоких перспективах территории на выявление нового алмазоносного района.

Другим положительным фактором является наличие Каргопольской зоны линейных структур субширотного простирания, которая рассекает восточную часть Карельского кратона, Шенкурский и Сысольский кратоны. Это достаточно широкая (около 200 км) и протяженная (около 1400 км) зона хорошо фиксируется не только в геомагнитных полях, но и в поле силы тяжести, что свидетельствует об особом строении земной коры и, вероятно, верхней мантии в её пределах. В сочетании с нарушениями субмеридионального простирания в пределах кратонов эта зона образует ряд структурно-тектонических узлов, благоприятных для проникновения кимберлитовой магмы.

Таким образом, поисковые работы на алмазы на севере Восточно-Европейской платформы должны проводиться с учетом широкого возрастного диапазона кимберлитового магматизма и быть сконцентрированы в пределах древних кратонов и срединных массивов. На Кольском, Карельском кратонах и Архангельском срединном массиве возможно обнаружение алмазоносных магматитов с возрастами от раннего протерозоя и до мезозоя. В пределах Шенкурского, Сысольского и Волго-Уральского кратонов и на Башкирском срединном массиве, с учетом довольно мощного платформенного чехла, поисковые работы должны быть ориентированы на вулканиты пермско-триасового возраста и моложе.

Изучение морфологии и химического состава минералов-индикаторов кимберлита проведено за счет гранта РНФ №20-77-10018.

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., 2002. – С. 238–251.
2. Karen V. Smit, Elena V. Agasheva, Sarah Woodland, D. Graham Pearson. Age and evolution of the lithospheric mantle beneath the Grib kimberlite (NW Russia). – DOI 10.1007/s00710-024-00879-w // Mineralogy and Petrology. – January 2025.

Юричев А. Н. (juratur@yandex.ru)
НИ ТГУ, г. Томск

ИНТЕРМЕТАЛЛИД $(Rh,Pt)_{2-3}Zn$ ИЗ БОРУССКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (ЗАПАДНЫЙ САЯН) – НОВЫЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД?

В деструктивных зернах хромшпинелида Борусского ультрамафитового массива Западного Саяна впервые выявлена и изучена на примере девяти зерен неназванная минеральная фаза (Rh, Zn, Pt) с содержанием Rh до 79,5 мас.%, отнесенная к интерметаллиду родия с формулой $(Rh,Pt)_{2-3}Zn$. Образование минерала связывается с наложенным прогрессивным антигоритовым этапом метаморфизма.

Ключевые слова: Западный Саян, офиолиты, Борусский массив, хромшпинелиды, минералы платиновой группы.

Крупнейший в Алтае-Саянской области Борусский ультрамафитовый массив располагается в пределах одноименной структурно-формационной зоны, представляющей собой область салаирской складчатости. Тело ультрамафитов занимает центральное положение в узкой полоске офиолитов шириной около 15 км, тектонически сочлененных с докембрийскими метаморфическими сланцами и метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами нижнего кембрия [4].

Большая часть массива сложена породами дунит-гарцбургитовой серии, среди которых преобладают гарцбургиты, в различной мере насыщенные жилообразными, шлировидными и линзовидными телами дунитов и в меньшей степени – пироксенитов. Породы интенсивно серпентинизированы и в зонах эндоконтактов превращены в серпентиниты. Проведенное изучение зон серпентинизации позволило выявить весьма сложный спектр метаморфических преобразований: серпентиниты от периферии к центру массива существенно обогащаются вторичным оливином с образованием серии метаморфитов от оливин-серпентиновых пород к серпентин-оливиновым породам – оливинитам [4]. С последней зоной связано Буланташское асбестовое месторождение [1, 3].

Несмотря на то, что Борусский массив является одним из наиболее крупных ультрамафитовых тел в Алтае-Саянской складчатой области, минералы платиновой группы (МПГ) в его составе ранее не диагностировались и не изучались, что, очевидно, обусловлено отсутствием в его составе хромититов.

Хромшпинелиды (Cr_2O_3 = 44,2–45,5 мас.%, FeO_{tot} = 13,6–20,0 мас.%; MgO = 14,7–15,1 мас.%, Al_2O_3 = 25,7–26,6 мас.%) в породах Борусского массива отмечаются преимущественно в виде акцессорной редкой вкрапленности в дунитах и гарцбургитах и значительно реже образуют средне-густовкрапленные скопления.

Автором были изучены образцы с повышенным содержанием хромшпинелидов из таких локальных участков. В процессе исследования в аншлифах диагностированы: миллерит (NiS), никелин (NiAs), герсдорфит (NiAsS), арсенопирит (FeAsS), сфалерит (ZnS), аргентит (Ag_2S), аваруит ($Ni_{2-3}Fe$), цинкистая медь (Cu,Zn), самородные медь, никель и цинк. Среди МПГ выявлен и охарактеризован только один неназванный интерметаллид родия $(Rh,Pt)_{2-3}Zn$.

Данный платиноид изучен на примере девяти зерен, диагностированных преимущественно в метаморфизованных деструктивных зернах хромшпинелидов (каверны, брекчированные

участки). Он формирует преимущественно гипидиоморфные зерна размером до 10 мкм, со своеобразной полосчатой, пористой поверхностью (рисунок). В химическом составе минерала иногда отмечается незначительная примесь железа (до 0,7 мас.%) (таблица).

Данные химического анализа позволяют сделать предположение, что выявленная минеральная фаза может являться интерметаллидом родия с формулой $(Rh,Pt)_{2–3}Zn$, которая по стехиометрии похожа на формулу аваруита $Ni_{2–3}Fe$.

В ранних работах [2, 10] имеются данные об образовании интерметаллидных фаз $Zn_{11}Rh_2$, $Zn_{13}Rh$ и ZnRh. Таким образом, стоит подчеркнуть, что несмотря на малую освещенность системы Zn–Rh в литературе из-за критически низкой растворимости цинка и родия друг в друге, объясняемую разностью кристаллических решеток, образование интерметаллидов и твердых растворов между этими металлами в природе возможно.

Образование нового интерметаллида родия $(Rh,Pt)_{2–3}Zn$ автор предварительно склонен связывать с наложенным прогрессивным этапом антигоритового метаморфизма [5, 6]. Об этом свидетельствуют морфология зерен и своеобразная губчато-пористая структура данного МПГ, его нахождение преимущественно в катаклазированных, брекчированных зернах хромшпинелидов, интенсивное развитие в интерстициях хлорит-кеммererит-магнетитового агрегата и присутствие антигорита во вмещающих породах.

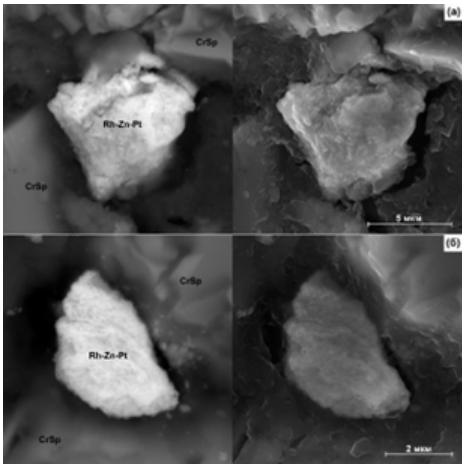


Рисунок. Микровключения неназванного интерметаллида родия $(Rh,Pt)_{2–3}Zn$ в жиле хромшпинелида из Борусского массива, Западный Саян. Микрофотографии в режиме обратнорассеянных электронов (режим BSE)

Таблица. Химический состав интерметаллида $(Rh,Pt)_{2-3}Zn$ из Борусского массива, мас.%

№ п/п	Образец	Rh	Zn	Pt	Fe	Сумма	Формула
1	Бр-131-1	65,12	22,01	11,64	0,52	99,29	$Rh_{0,61}Zn_{0,32}Pt_{0,06}Fe_{0,01}$
2	Бр-131-2	61,23	23,09	13,58	0,67	98,56	$Rh_{0,58}Zn_{0,34}Pt_{0,07}Fe_{0,01}$
3	Бр-131-3	63,58	21,51	12,93	0,66	98,68	$Rh_{0,60}Zn_{0,32}Pt_{0,07}Fe_{0,01}$
4	Бр-131-8	74,80	21,15	2,78	н.о.	98,73	$Rh_{0,68}Zn_{0,31}Pt_{0,01}$
5	Бр-131-9	73,99	22,63	2,35	н.о.	98,97	$Rh_{0,67}Zn_{0,32}Pt_{0,01}$
6	Бр-131-10	73,99	22,33	2,54	н.о.	98,86	$Rh_{0,67}Zn_{0,32}Pt_{0,01}$
7	Бр-131-12	78,75	17,58	3,52	н.о.	99,84	$Rh_{0,73}Zn_{0,25}Pt_{0,02}$
8	Бр-131-13	78,31	17,91	3,11	н.о.	99,34	$Rh_{0,72}Zn_{0,26}Pt_{0,02}$
9	Бр-131-14	79,53	16,87	3,61	0,13	100,14	$Rh_{0,74}Zn_{0,24}Pt_{0,02}$

Примечание. Исследование выполнено на электронном микроскопе Tescan Mira 3 LMU с энергодисперсионным детектором UltimMax100 (Oxford Instruments) в ЦКП «АЦ ГПС», НИ ТГУ (г. Томск). Измерения проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ, силе тока пучка электронов 4,5 нА и времени накопления спектра в точке 60 секунд в режиме «Point&ID» (2 000 000 импульсов). Диаметр пучка зонда 1–2 мкм. В качестве стандартов для Rh, Zn, Pt и Fe использовались чистые металлы. Аналитические линии: Lα для Rh и Pt; Kα для Zn и Fe.

Отнесение к данному метаморфическому этапу обнаруженного интерметаллида также подтверждается тем, что цинковые минералы, в том числе вюртцит и природная латунь (цинкистая медь), диагностируются именно в антигоритовых серпентинитах [6, 11]. При этом привнос цинка, вероятно, мог осуществляться и из зерен хромшпинелидов, где его содержание, по нашим данным, может составлять до 0,15 мас.%.

Определенный интерес представляет и то, что данный минерал был нами обнаружен в 2018 г. в хромититах Кемпирсайского массива (Южный Урал) и в 2023 г. в хромититах массива Рай-Из (Полярный Урал). Он характеризуется выдержанным химическим составом, очень похожим на состав борусского интерметаллида [7–9]. Изучение российской и зарубежной литературы по данному вопросу к настоящему времени обнаружить аналогичную минеральную фазу в других геологических объектах не позволило.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верхотурова Е. А. Состав асбеста Буланташского месторождения // Современные проблемы геохимии: Материалы конференции молодых ученых. – Иркутск : Изд-во Института географии СО РАН, 2006. – С. 20–24.
2. Гаркуль И. А. Двойные комплексные оксалаты Pd и Rh с 3d-металлами как предшественники биметаллических систем // Дисс. … канд. хим.н. – Новосибирск : 2023. – 135 с.
3. Глазунов О. М. Геохимия и рудоносность габброидов и гипербазитов. – Новосибирск : Наука, 1981. – 192 с.
4. Гончаренко А. И. Деформация и петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1989. – 404 с.
5. Макеев А. Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб. : Наука, 1992. – 197 с.
6. Макеев А. Б., Брянчанинова Н. И., Крапля Е. А. Геолого-минералогическая модель эволюции платиноносных альпинотипных ультрабазитов Урала // Платина России. Т. IV. – М. : Геоинформмарк, 1999. – С. 176–183.
7. Юричев А. Н. Платиноиды системы Rh–Zn–Pt из хромититов массива Рай-Из как новый минеральный вид (Полярный Урал) // Новое в познании процессов рудообразования: Двенадцатая Российская молодежная научно-практическая Школа : Сборник материалов. – М. : ИГЕМ РАН, 2023. – С. 257–260.
8. Юричева А. Н., Чернышов А. И. Платиноиды системы Rh–Zn–Pt из хромититовского ультрамафитового массива (Южный Урал, Казахстан) // Петрология магматических и метаморфических комплексов : Материалы X Всероссийской конференции с международным участием. – Вып. 10. – Томск : Изд-во Томского ЦНТИ, 2018. – С. 445–446.
9. Юричев А. Н., Чернышов А. И., Корбовяк Е. В. Минералы платиновой группы из хромититов Кемпирсайского ультрамафитового массива (Мугоджары, Казахстан): новые данные // Записки Российского минералогического общества. – 2019. – Т. 148, № 2. – С. 76–86.
10. Gross N., Kotzyba G., Künnen B., Jeitschko W. Binary Compounds of Rhodium and Zinc: RhZn, Rh2Zn11, and RhZn13 // Z. Anorg. Allg. Chem. – 2001. – V. 627. – P. 155–163.
11. Yang J., Meng F., Xu X., Robinson P.T., Dilek Y., Makeyev A.B., Wirth R., Wiedenbeck M., Cliff J. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals // Gondwana Research. – 2015. – V. 27, № 2. – P. 459–485.

Яковлев И. В. (YakovlevIgV@alrosa.ru), Мальковец В. Г. (MalkovetsVG@alrosa.ru), Гибшер А. А. (GibsherAA@alrosa.ru), Милаушкин М. В. (MilaushkinMV@alrosa.ru)
АК «АЛРОСА» (ПАО) г. Новосибирск

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ ПОД МИРНИНСКИМ КИМБЕРЛИТОВЫМ ПОЛЕМ ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВОВ ГРАНАТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ

Приведены результаты изучения составов 1902 гранатов из шести кимберлитовых тел Мирнинского кимберлитового поля (тр. Мир, тр. Спутник, тр. Интернациональная, тр. им. XXIII съезда КПСС, тр. Дачная, тр. Амакинская). Химический состав гранатов определен методом РСМА; содержание редких элементов в гранатах определялось методом LAM-ICPMS. По составам гранатов и соотношению парагенетических групп в выборках можно выделить две группы трубок: 1) тр. Мир, тр. Спутник, тр. Амакинская, для которых в той или иной степени характерны высокотитанистые (TiO_2 > 0,5 мас.%) мегакристовые гранаты (до 25 % от выборки), а также гранаты из деформированных лерцолитов (до 10 % от выборки); 2) тр. им. XXIII съезда КПСС, тр. Интернациональная, тр. Дачная, в выборках которых высокотитанистые гранаты практически полностью отсутствуют. При реконструкции палеогеотермы по рассчитанным P-T параметрам гранатов (с использованием термобарометра Griffin, 1995) плотность теплового потока варьирует от 35,4 до 36,7 мВ/м², а мощность литосферы от 215 до 240 км. При этом мощность алмазного окна (от границы графит–алмаз до нижней деплетированной границы литосферы) составила от 35 до 46 км.

Ключевые слова: кимберлит, литосферная мантия, геотерма, перидотитовый гранат, «алмазное окно».

В течение последних десятилетий поиск и оценка коренных алмазоносных месторождений стали одной из ключевых проблем в алмазодобывающей индустрии. Наблюдаемое сокращение числа вновь выявленных кимберлитовых тел, содержащих алмазы, свидетельствует о необходимости модернизации и совершенствования применяемых методик их поиска и оценки. Разработка более эффективных стратегий поиска и оценки таких месторождений требует как комплексного понимания геологических процессов, обуславливающих образование самих месторождений, так и условий формирования и изменения алмазов в литосферной мантии.

В качестве объекта исследования выбрано Мирнинское кимберлитовое поле, относящееся к Мало-Ботуобинскому району (Сибирский кратон). Поле расположено в пределах Ботуобинской седловины, разделяющей Вилюйскую и Тунгусскую синеклизы. В настоящее время в пределах поля известны семь трубочных кимберлитовых тел и две жилы. Кимберлитовые тела образуют две цепочки (куста), приуроченные к субмеридиональным разломам. Возраст кимберлитов Мирнинского поля определялся различными изотопными методами в разные годы. Полученные значения изотопных датировок варьируют от 333 до 450 млн лет, однако максимум их значений приходится на интервал 350–380 млн лет [1]. Таким образом возраст кимберлитов Мирнинского поля считается среднепалеозойским (D_3–C_1).

Геотермальный режим и мощность литосферной мантии под Мирнинским кимберлитовым полем ранее исследованы по составам минералов спутников алмаза трубок Мир, Интернациональная, Таежная и Амакинская [3], плотность теплового потока составляла в среднем 35 мВт/м², а мощность литосферы около 190 км. В работе [2] приводятся исследования с использованием более современной модели построения геотермы, для трубки Мир плотность теплового потока составила 37 мВт/м², а мощность литосферы – около 210 км.

В данной работе, по данным исследования составов гранатов, исследованы геотермальный режим, мощность литосферы и мощность «алмазного окна» под трубками Мир, Спутник, Интернациональная, им. XXIII съезда КПСС, Дачная, Амакинская. Трубки значительно отличаются по содержанию алмазов в кимберлитовом сырье, а также качеству этих алмазов.

Химический состав гранатов определялся методом РСМА на приборе Jeol JXA 8100 в ЦКП «Многоэлементных и изотопных исследований» ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Определение содержаний редких элементов в гранатах проводилось методом масс-спектрометрии с исполь-

зованием квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой XSERIES2 (Thermo Scientific) в НГУ. Для определения *P-T* условий образования гранатов использовались Ni-in-Gar геотермометр и Cr-in-Gar геобарометр [4].

Исследованы составы 1902 гранатов из концентрата тяжелой фракции протолочных проб трубок Мир (478), Спутник (354), Интернациональная (345), им. XXIII съезда КПСС (339), Дачная (138) и Амакинская (248).

Выборки гранатов по каждой трубке Мирнинского поля отличаются как по проценту гранатов алмазной ассоциации (по Соболев, 1997) от 4,2 до 16,8 % (для трубок Амакинская и им. XXIII съезда КПСС, соответственно), так и по процентному содержанию гранатов различных химико-генетических групп (по Schulze, 2003). Содержание гранатов лерцолитового парагенезиса варьирует от 30 до 65 % (для трубок им. XXIII съезда КПСС и Спутник соответственно), гарцбургитового парагенезиса от 11 до 52 % (для трубок Спутник и им. XXIII съезда КПСС соответственно). Для всех изученных кимберлитовых трубок Мирнинского поля (за исключением тр. Амакинская) характерны относительно высокие пропорции высококальциевых гранатов верлитового парагенезиса (до 10 % от всей выборки для трубки им. XXIII съезда КПСС). Присутствуют значительные отличия по содержаниям TiO_2 в гранатах из разных кимберлитовых трубок. Так, для трубок им. XXIII съезда КПСС, Интернациональной и Дачной в исследованных выборках гранатов практически полностью отсутствуют высокотитанистые мегакристовые гранаты и гранаты из деформированных перидотитов (с содержаниями TiO_2 > 0,5 мас.%), тогда как в трубках Мир, Спутник и Амакинская содержания мегакристовых гранатов варьируют от 8 до 25 % (для трубок Амакинская и Мир соответственно), а в трубке Мир, кроме того, около 10 % лерцолитовых гранатов содержат TiO_2 > 0,5 мас.% и могут быть отнесены к гранатам из деформированных лерцолитов.

По содержаниям Y (г/т) в гранатах и температуре их образования, полученной с помощью мономинерального гранатового термометра (Griffin, Ryan, 1995), можно сделать вывод, что положение основания деплетированной (относительно неизмененной) литосферы («Y край») находится в интервале глубин, соответствующих температурам 987–1099 °С, однако для трубок им. XXIII съезда КПСС, Интернациональная и Дачная такие выводы могут быть ошибочны, так как для них отсутствуют данные по гранатам, расположенным ниже этой границы, а также в выборке практически полностью отсутствуют высокотитанистые гранаты из катаклазированных перидотитов, отражающие преобразование пород литосферной мантии силикатными расплавами в основании литосферной мантии. Это может быть связано с практически полным отсутствием гранатсодержащих пород ниже данной границы в разрезе литосферной мантии под этими трубками.

Для модельной реконструкции палеогеотермы под кимберлитовыми трубками использовались данные по оценкам *P-T* параметров низкокальциевых гарцбургитовых гранатов (что связано с ограничениями и особенностями геобарометра, Griffin, 1995). Определение параметров палеогеотермы производилось в программе «Геохимия граната – эксперт» (АК АЛРОСА (ПАО), основанной на методике Mather [et al.], 2011 [5]. Значения плотности теплового потока составили от 35,4 до 36,7 мВ/м^2, а мощность литосферы от 215 до 240 км (для трубок Мир и им. XXIII съезда КПСС соответственно). При этом мощность алмазного окна (от границы графит–алмаз до нижней деплетированной границы литосферы) составила около от 35 до 46 км (для трубок Спутник и Дачная соответственно).

Можно отметить хорошую сходимость значений плотности теплового потока для разных трубок, несмотря на отличия в составах гранатов и пропорциях парагенетических групп. Мощность литосферы под трубкой Мир, а также плотность теплового потока, полученные по составам гранатов соответствует литературным данным [2], полученным более точным методом.

Источники финансирования: собственные средства АК «АЛРОСА» (ПАО).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зайцев А. И., Смелов А. П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. – Якутск : Офсет, 2010. – 107 с.

2. Dymshits A. M. [et al.] Thermal state, thickness, and composition of the lithospheric mantle beneath the Upper Muna Kimberlite Field (Siberian Craton) constrained by clinopyroxene xenocrysts and comparison with Daldyn and Mirny Fields // Minerals. – 2020. – V. 10, №. 6. – P. 549.
3. Griffin W. L. [et al.] The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton // Tectonophysics. – 1999. – T. 310, № 1–4. – P. 1–35.
4. Griffin W. L., Ryan C. G. Trace elements in indicator minerals: area selection and target evaluation in diamond exploration // Journal of geochemical Exploration. – 1995. – V. 53, № 1–3. – P. 311–337.
5. Mather K. A., Pearson D. G., McKenzie D., Kjarsgaard B. A., Priestley K. Constraints on the depth and thermal history of cratonic lithosphere from peridotite xenoliths, xenocrysts and seismology // Lithos. – 2011. – 125 (1–2). – P. 729–742.

Ли Э. А. Т. (Tidianely97@gmail.com)
Сибирский федеральный университет, Институт цветных металлов и материаловедения, г. Красноярск

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЛИТОВОГО ШЛАМА АГК (АЧИНСКИЙ ГЛИНОЗЕМНЫЙ КОМБИНАТ) В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПОЛУЧЕНИЯ ПИГМЕНТА ТИПА «ТАУП» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРАСКИ ТИПА «МУЛИНО»

В статье приведены состав и характеристики белитового шлама Ачинского глиноземного комбината (АГК). Шламохранилище АГК представляет собой очень крупное техногенное месторождение минерального красочного сырья, которое может быть использовано для производства красочного пигмента «ТАУП» и краски «Мулино».

Ключевые слова: Ачинский глиноземный комбинат, белитовый шлам, шламохранилище.

Ачинский глиноземный комбинат (АГК) был введен в эксплуатацию в 1973 г. Белитовый шлам – отходы производства глинозема – с тех пор наполняет шламохранилище, расположенное в пойме р. Чулым (рис. 1 и 2).

По данным АО «Русал Менеджмент» – «АО Русал Ачинск», площадь шламохранилища составляет 90 га, а высота отвала – более 100 м. Объем белитового шлама – более 256,24 млн т. Исследования свойств белитового шлама начались практически одновременно со временем начала работы комбината. С тех пор, по данным производства и различных исследователей [2, 4, 6], были установлены и частично реализованы достаточно широкие области применения белитового шлама: производство белитового цемента, содопродуктов, использование его в качестве мелиорантов (раскислителей почв), сорбентов-пермутитов, пищевых добавок в корма для птиц и др.



Рис. 1. Результаты дифракционного фазового анализа проб шлама



Рис. 2. Атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно-связанной плазмой, *n* ± Δ, мг/кг

Состав белитового шлама, по данным А. М. Сазонова, С. И. Леонтьева и др. [6]: двухкальциевый силикат $CaSiO_4$ и продукты его гидратации – 65–70 %, гранаты (гидрогранаты) – 5–19 %, карбонаты – 5–10 %, гидроксиды железа – до 5 %. Присутствуют примеси волластонита, сульфидов, стекла и техногенной железной стружки. Также стало известно, что шлам по своим размерам соответствует алевритистому песку на поверхности отвала, а ниже размеры его частиц возрастают.

В 2024 г. на кафедре «Геология месторождений и методика разведки» СФУ коллектив в составе профессора кафедры В. Г. Михеева, главного геолога АО «Русал» Н. В. Мухиной и студента выпускного курса Э. А. Т. Ли в результате исследования свойств белитового шлама – хвостов от производства (глинозема Al_2O_3) Ачинского глиноземного комбината – обнаружил, что *белитовый шлам АГК является минеральным красочным пигментом*. Это открытие позволяет нам рассматривать и изучать хвостохранилище белитового шлама в качестве весьма крупного по масштабам (сотни миллионов тонн, по классификации ГКЗ для природных месторождений минеральных красок) техногенного месторождения минерального красочного сырья. Также было установлено, что промышленный тип такого месторождения не может соответствовать ни одному из известных природных типов минерального красочного сырья [3], так как состав белитового шлама, поступающего в хвостохранилище, меняется в зависимости от сроков его хранения.

В целях исследования процессов старения (выветривания) нами были проведены исследования проб «старого» хранящегося шлама (карта № 1 –производственное обозначение), шлама среднего срока поступления в хранилище (карта № 2) и свежего шлама (карта № 3). В результате исследования (рентгенофазовый анализ проб) отмечается, что, несмотря на незначительные – 50 лет (в сравнении с геологическим временем) сроки хранения шлама, наблюдается значительное изменение его состава.

«Свежий шлам» (СВ1): Ca_2SiO_4 (ларнит) – 84,4 %; $CaCO_3$ (кальцит) – 9,33 %; $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$ (андрадит) – 6,26 %; С (углерод) – 1 %.

«Старый шлам» (СТ1): $CaCO_3$ (кальцит) – 79,1 %; SiO_2 (кварц) –9,29 %; Ca_2SiO_4 (ларнит) – 6,60 %; С (углерод) – 4,97 %.

Из-за входящего в состав минерала (ларнит) мы не в праве отнести белитовое красочное сырье АГК ни к силикатному, ни к карбонатному промышленному типу (по аналогии с природным красочным сырьем). Технологический тип по минеральным ассоциациям и физическим свойствам можно отнести к полиминеральному красочному сырью [3].

Изменение фазового состава указывает на деградацию ларнита со временем хранения при резком возрастании количества кальцита в белитовом шламе и при исчезновении гранатовой составляющей (см. рис. 1 и 2).

Процессы окисления белитового шлама в пределах 50 лет хранения в целом можно назвать его карбонатизацией, окварцеванием, альбитизацией и углеродизацией.

Возможно, при сохранении в мире имеющейся технологии получения глинозема из нефелинового сырья такой промышленный тип *техногенного пигмента* может быть назван *белитовым*.

Понятие *белитовый пигмент* пока не встречается в литературе. Под пигментами в XIX в. понимали минеральные аналоги красителей, предназначенные для выполнения колористических функций в красочных системах декоративного назначения, а обогащение палитры художественных красок было одним из основных стимулов для расширения ассортимента минеральных пигментов. Под пигментами понимались соединения определенного химического состава. Однако позже пришлось признать, что задачей пигментных производств является не получение химических соединений (хромат свинца и др.), а выработка технических продуктов, часто переменного состава, с определенной для каждого из назначений микро- и макроструктурой. Одновременно расширялась и сфера технического применения пигментов. Почти ни одно производство конструкционных и декоративных материалов и готовых изделий не может обойтись без их использования. По классификации групп белитовые пигменты, очевидно, относятся к группе 6. *Бесцветные вещества, содержащие примеси*. Как известно, цвет вещества определяется спектром его поглощения. Фотоны, поглощенные в пределах полосы поглощения,

вызывают переход электрона с основного уровня молекулы на другой, более высокий, уровень [5]. Цвет белитового пигмента в серовато-коричневых мотивах (коричневая окраска камней пустыни) обязан хромофору железа, поскольку спектр поглощения коричневой γ-FeOOH расположен между спектрами соединений α-F_2O_3 и α-FeOOH, т. е. переходный при превращении лепидокрокита в гетит [1, 5]. Такой цвет пигмента носит название тауп. Тауп (TOHP (toup) – это темно-коричневый с серым оттенком. Сложный цвет для описания, поскольку имеет легкую сиреневатость в отличие от просто серого. Темно-коричневый цвет варьирует от настоящего темно-коричневого до серовато-коричневого и коричневато-серого. Откалиброванный цвет соответствует образцу под названием темно-коричневый в книге «Словарь цвета» 1930 г. Оттенки и возможности комбинирования их чрезвычайно многообразны (Википедия). По имеющимся отзывам, тауп – элегантный нейтральный цвет, успокаивающий своей простотой, зрелостью и надежностью. В сочетание с красным, розовым и желтым цветом тауп создает гостеприимный эффект, а с зеленым и синим оттенками соответствует более прохладной современной эстетике. Тауп, неподвластный времени (по нашем данным течение 50 лет), сочетается практически с любым цветом и служит идеальным фоном для разнообразного оформления как фон, как рама-огранка, как мягкий акцентный элемент и в *гармонии* с белым цветом облагораживает интерьер в отделке и фрагментарно.

Изменения в фазовом составе белитового пигмента отразились и на изменении его свойств в течение окисления в хранилище следующим образом по имеющимся пробам шлама: СВ1 – проба свежего шлама; проба СР1 – проба шлама среднего возраста (около 25 лет хранения); СТ1 – проба шлама «старого» возраста – около 50 лет хранения (см. рис. 2) соответственно, по технологическим картам предприятия – карта 3, карта 2, и карта 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годовиков А. А. Минералогия. – М. : Недра, 1975. – С. 117–123.
2. Дворецкая Ю. Б. Влияние шламохранилища Ачинского глиноземного комбината (АГК) на состояние окружающей среды // Тезисы докладов V междунар. научн. симпозиума им. акад. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2003. – С. 605–606.
3. Дьячков И. В., Арютина В. П. Минеральное сырье. Краски минеральные // Справочник. – М. : Геоинформмарк, 1999. – 38 с.
4. Мелентьев Г. Б., Калиш Е. А., Давыдов Н. Ф. [и др.] Распределение редких и других рассеянных элементов в продуктах глиноземного производства на базе нефелинового сырья и перспективы их попутного получения Ачинским комбинатом // Методы изучения рассеянных металлов в глиноземном сырье и возможности их попутного получения. – М. : ИМГРЭ, 1988. – С. 79–94.
5. Пигменты (Введение в физическую химию пигментов) // Под. ред. Д. Паттерсона. Пер. с англ. – Л. : Химия, 1971. – 176 с.
6. Сазонов А. М., Леонтьев С. И. [и др.] Геология и золотоплатиноносность нефелиновых пород Западной Сибири. – Томск, 2000. – 248 с.

Нуржанов Г. Ж., Ниценко П. А., Гусев А. В. (Artem.Gusev@kazakhmys.kz)
ТОО «Казахмыс Барлау (Kazakhmys Barlau)», Республика Казахстан

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗВЕДКЕ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОКУРКОЙ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

Описан опыт применения комплексных геолого-геофизических исследований при изучении золото-медно-порфирового месторождения Сокуркой в северо-западной части Прибалхашья. Полученные результаты подтверждают эффективность комплексирования геофизических, геохимических и геологических данных для повышения точности моделирования рудных тел.

Ключевые слова: геолого-геофизическое моделирование, электроразведка, магниторазведка, золото, медь, гидротермальные брекчии, зона вторичного сульфидного обогащения.

Сокуркойское рудное поле, включающее месторождение Сокуркой, серию рудопроявлений и пунктов минерализации меди, золота, молибдена и полиметаллов, в административном отношении находится в пределах Карагандинской области в северо-западном Прибалхашье, в 80 км к юго-западу от г. Балхаш. В структурно-тектоническом плане рудное поле, приуроченное к палеовулканической постройке центрального типа, находится в юго-западном борту Кендык-Сарыдалинской интрузивно-вулканической структуры, одной из наиболее крупных в регионе [1].

Месторождение Сокуркой приурочено к ядерной части одноименной структуры; оно было открыто М. П. Русаковым в 1928 г. и в дальнейшем изучалось многими известными специалистами [5].

Последним значимым этапом в изучении объекта можно считать поисково-оценочные работы, выполненные ТОО «Центргеолсъемка» в 2012–2014 гг. В ходе данных исследований был выполнен подсчет запасов меди и золота по категории C_2 до глубины 200 м и оценены прогнозные ресурсы по категории P_1 на глубоких горизонтах и флангах месторождения. В ходе данных работ запасы были оценены на уровне 350 тыс. т меди (при среднем содержании 0,4 %) и 15,9 т попутного золота (при среднем содержании 0,2 г/т), что позволяет рассматривать объект в ранге среднего месторождения медно-порфирового типа с существенной золотой компонентой [2, 3].

Геолого-экономическая оценка рентабельности добычи подсчитанных запасов, выполненная с учетом показателей эксплуатационных затрат, взятых по усредненным значениям, сложившимся в Центральном Казахстане на момент завершения разведки, показала, что отработка сульфидных золото-медно-порфировых руд месторождения карьером рентабельна. Однако в силу ограниченности возможностей разведки 2014 г. существуют многочисленные факторы неопределенности, которые могут существенно повлиять на технико-экономические параметры его отработки.

В геологическом строении Сокуркойского рудного поля участвуют преимущественно осадочно-вулканогенные каменноугольные образования в разной степени гидротермально-метасоматически измененные. В центральной части локализованы интрузивные тела диорит-гранодиритового состава. Считается, что с их становлением связано образование золото-медного оруденения во вторичных кварцитах и пропилитах. Вторичные кварциты Сокуркойского рудного поля представлены алунитовыми, диккитовыми (наиболее распространены), серицитовыми и кварцевыми разностями.

Сокуркойское рудное поле в структурном отношении контролирует палеовулканическую постройку центрального типа размером 7–8 км, которую можно отнести к вулкано-купольным структурам. В центральной ее части обнажаются породы каледонского структурного этажа – нижне-силурийского возраста. Склоны постройки сложены вулканитами и субвулканическими образованиями карбона и прорванными интрузивными телами топарского комплекса.

Одной из отличительных особенностей объекта является развитие в его пределах частично редуцированного гипергенного профиля медного месторождения [6].

Медная минерализация с поверхности представлена малахитом, азуритом, хризоколлой и приурочена преимущественно к интенсивно лимонитизированным вторичным кварцитам. Медь присутствует в сотых долях процента, при этом основной объем выявленной золотой минерализации (со средними содержаниями более 0,6 г/т) локализован в верхней части профиля месторождения. Ниже располагается зона вторичного сульфидного обогащения, глубина кровли которой колеблется от 20 до 150 м, со средними содержаниями 0,4 % и участками обогащения более 1 %. Далее идут первичные руды, где на общем фоне содержаний меди 0,15–0,3 % имеются отдельные обогащенные участки с содержанием 0,4–0,5 %. Нижняя граница ее распространения не установлена.

Особенностью рудного поля является наличие в его структуре эруптивных брекчий, слагающих изолированные субвертикальные тела в форме перевернутого конуса. Брекчевидные тела малые (размером до 0,6 × 0,2 км) прорывают как осадочно-вулканогенные образования среднего карбона, так и интрузивные породы [2].

В ходе исторической разведки не были решены вопросы геолого-структурной позиции и морфологии месторождения, в том числе не разработана репрезентативная модель морфологии рудной залежи, не установлены перспективы развития рудной минерализации объекта на глу-

бину и по его периферии. Эти нерешенные вопросы не позволяют перейти к разработке месторождения.

ТОО «Казахмыс Барлау (Kazakhmys Barlau)» в течение 2023–2024 гг. был выполнен комплекс геологоразведочных работ, включающий в себя (магниторазведочные (1 : 10 000) и электроразведочные работы методом ВП-ДОЗ (профиля через 200 м) [4]), литогеохимическую съемку по ВОР (по сети 200 × 200 м) и бурение ограниченного объема колонковых скважин).

На основании проведенных работ был получен комплекс геолого-геофизических данных, при интерпретации которого особое внимание уделялось выявлению природы и установлению морфологии рудных тел для оценки целесообразности проведения дальнейших разведочных работ. Основными поисковыми задачами для проводимых работ были выбраны:

1. Установление зоны распространения золотой минерализации по периферии месторождения и на глубину.

2. Уточнение морфологии зоны вторичного сульфидного обогащения.

3. Выявление дополнительных тел эруптивных брекчий в структуре объекта.

Далее кратко рассмотрим полученные на текущий момент результаты.

На основании заверочного бурения и моделирования электроразведочных данных была установлена тесная связь между положением зоны вторичного сульфидного обогащения и кровлей зоны градиента поля сопротивления, что позволило смоделировать морфологию тела зоны обогащения, раннее интерпретируемую как субгоризонтальное тело. На текущий момент установлена его сводовая морфология с погружением крыльев в северо-западном и юго-восточном направлениях (рис. 1). Таким образом, морфология месторождения (по результатам ГРР 2023–2024 гг.) теперь соответствует геолого-структурной позиции его в палеовулканической постройке.

Кроме этого, в северной части месторождения в электрических полях поляризации и сопротивления были установлены дополнительные субвертикальные тела «секущей» морфологии, интерпретируемые как тела эруптивных брекчий.

На текущей момент подготовлена программа работ по заверочному бурению флангов выявленной литогеохимической аномалии золота и заверочного бурения субвертикальных тел пониженного сопротивления в северной части месторождения. Выполнение данного поискового комплекса планируется в 2025 г.

По результатам моделирования месторождения Сокуркой и анализа литогеохимических данных было установлено, что основной объем известной золотой минерализации приурочен к эродированной части сокуркойской структуры, которая практически полностью соответствует литохимической площади аномалии золота (>5 ppb). При этом в скважинах (на глубинах от 150 м) за пределами эродированной части, под лавовыми потоками андезитов, вскрытые минерализованные интервалы 0,3–0,5 г/т не проявляются в аномальном геохимическом поле, т. е. вторичные ореолы золота не фиксируют особенности геологического строения месторождения Сокуркой (рис. 2).

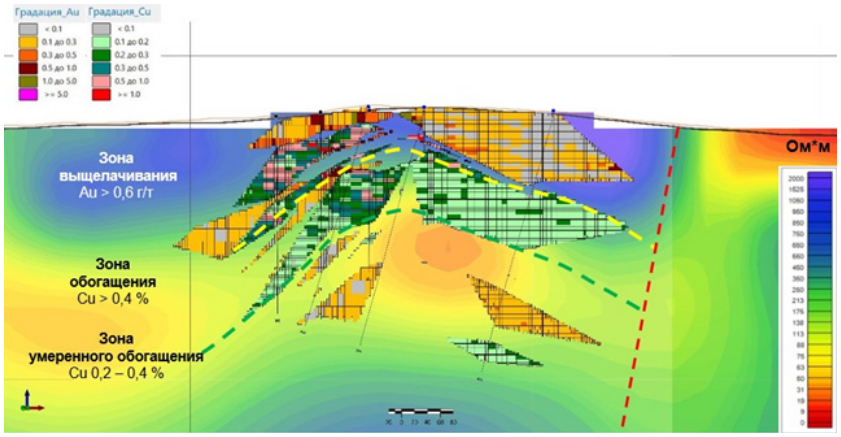


Рис. 1. Разрез вкрест простирания рудной зоны месторождения Сокуркой с указанием морфологии зон гипергенной зональности объекта (в качестве «подложки» использована модель поля сопротивления)

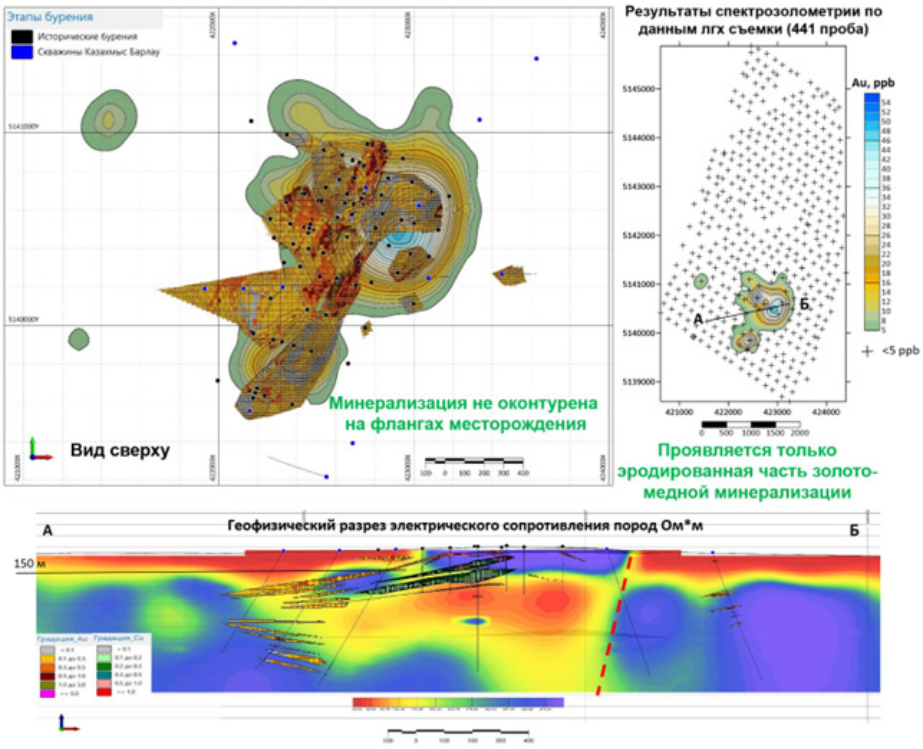


Рис. 2. Особенности аномального геохимического поля золота месторождения Сокуркой

В качестве гипотезы можно предположить, что после своего образования золото-медная минерализация была эродирована с разрушением верхних частей минерализованных зон первичных и вторичных ореолов рассеяния, а затем вновь перекрыта более молодыми лавовыми потоками, которые «скрывают» аномальное геохимическое поле золото-медной минерализации.

В сложившейся геологической ситуации для поиска дополнительной золотой минерализации предложено провести надежное датирование разреза месторождения Сокуркой с применением методов геохимической съемки, способных выявить подвижные формы металлов при постоянно протекающих физико-химических диффузионных процессах, например, ионно-сорбционный метод анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологические особенности и металлогения Тасарал-Кызыл-Эспинского антиклинория в Северо-Западном Прибалхашье. – Алма-Ата, 1973. – 164 с.
2. Гусев Н. М., Апенов З. С. [и др.] Отчет о результатах проведения поисково-оценочных работ на медь и золото на участке Сокуркой в 2012–2014 гг. – Караганда : ТОО «Центргеолсъемка», 2014.
3. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В. Медно-порфировые месторождения. Серия: Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 228 с.
4. Пустозеров М. Г. Геофизические технологии при поисках и оценке золоторудных месторождений // Золото и технологии. – 2023. – №1 (59). URL: https://zolteh.ru/technology_equipment/geofizicheskie_tekhnologii_pri_poiskakh_i_otsenke_zolotorudnykh_mestorozhdeniy/.
5. Сейтмуратова Э. Ю. [и др.] О результатах первых целенаправленных работ по доизучению и оценке эпитермального золото-серебряного оруденения Жонгаро-Балхашской складчатой системы // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геолого-технических наук. – 2015. – Т. 5, № 413. – С. 41–63.
6. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1951. – 324 с.

Макаров В. А. (vmakarov@sfu-kras.ru), Шадчин М. В. (mshadchin@sfu-kras.ru), Лосев В. И. (vovalosev98@gmail.com)
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

ГЕОЛОГО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ АК-СУГСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОРФИРОВЫХ ОБЪЕКТОВ В СТРУКТУРАХ ЗАПАДНОГО И ВОСТОЧНОГО САЯН

На основе геолого-генетической модели эталонного Ак-Сугского месторождения разработана геолого-поисковая модель медно-порфирового оруденения. Показаны перспективы выявления месторождений порфирового типа в зонах влияния Кандатского, Куртушибинского и Хемчикско-Азасского глубинных разломов.

Ключевые слова: медь, золото, перспективы, порфировый тип, Восточный и Западный Саян.

В последние годы в связи с завершением разведки и началом освоения Ак-Сугского медно-порфирового месторождения (северо-восточная Тува) интерес к поискам порфировых объектов в пределах Алтае-Саянской складчатой области (АССО) заметно вырос.

Ак-Сугское Au-Mo-Cu-порфировое месторождение расположено в Таннуольско-Хамсаринском районе АССО и на сегодня является единственным крупным объектом в регионе (запасы руды – 534,8 млн т, меди – 3633,3 тыс. т, молибдена – 77,9 тыс. т, золота – 83 т). В силу высокой геологической изученности оно может выступать типовым эталонным объектом при проведении геолого-поисковых и прогнозно-металлогенических работ.

Авторы на протяжении пяти последних лет занимались изучением порфировых объектов региона в рамках научных грантов, хоздоговорных исследований, выполнения диссертационных работ, что послужило основой для подготовки настоящего доклада [2, 4]. На материалах Ак-Сугского месторождения разработаны геолого-генетическая и прогнозно-поисковые модели. Основные элементы последней отражены в таблице.

Перспективы выявления порфировых объектов в структурах Западного и Восточного Саян можно связывать с зонами влияния долгоживущих региональных разломов – Кандатским (Саяно-Минусинским), Куртушибинским и Хемчикско-Азасским.

Так, в пределах Ак-Сугского рудного узла, расположенного вдоль Кандатского разлома на лицензионной площади ООО «Тывамедь» (1300 км^2), поисковыми работами 2009–2018 гг. выявлены проявления медно-порфировых руд на участках Холош, Кадырой, Биче-Кадыр-Ос, Даштыг. Здесь в различной степени проявлены все свойственные Ак-Сугскому месторождению предпосылки и поисковые признаки. На участках Холош и Даштыг в заверочных поисковых скважинах получены промышленные пересечения.

В 80 километрах к западу от месторождения Ак-Суг в зоне Кандатского разлома геолого-съемочными работами выявлено рудопроявление золота Кара-Хем. По результатам заверки комплексной геохимической аномалии ресурсы золота были оценены в 40 тонн. Ореол золота проявлен в поле развития отложений осадочно-вулканогенных пород венд-раннекембрийского возраста, прорванных плагиогранитами раннепалеозойского возраста. В центральной части участка (500 × 800 м), проявленного в магнитном поле в виде кольцевой структуры, фиксируется интенсивное окварцевание как по массе, так и в виде разностадийных прожилков. Повсеместно отмечается пиритизация до 5–10 % (прожилкование и вкрапленность), в небольших количествах встречаются гематит, магнетит, халькопирит, пирротин, галенит, молибденит. Геолого-структурная позиция проявления Кара-Хем в совокупности с данными по вещественному составу и гидротермальным изменениям вмещающих пород позволяют рассматривать его в качестве слабоэродированного Au-порфирового объекта.

Перспективы выявления Au-Cu порфирового оруденения в зоне Куртушибинского глубинного разлома можно связывать со структурами Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района и Сухоложско-Сосновского потенциального рудного узла. В пределах первого размещения россыпей золота и коренных проявлений контролируется вулкано-купольными структурами, в составе которых не исключается наличие рудоносных интрузий вмещающих медно-молибден порфировое оруденение с золотом [3].

Таблица. Геолого-поисковая модель Ак-Сугского медно-порфирового месторождения

Элементы модели	Краткая характеристика
Рудная формация	Молибден-медно-порфировая (с золотом)
Геотектоническая обстановка	Район месторождения отвечает фрагменту Хамсаринской венд-раннекембрийской островной дуги.
Рудоконтролирующая структура	Зона сочленения Кандатского, Челдезрикского и Аксугского разломов, представленная субширотной крутопадающей полосой хрупко-пластичных деформаций шириной первые сотни метров, вмещающая одноименный зональный интрузивный массив
Магматические образования и их взаимоотношения с оруденением	Вся масса оруденения локализована в полифазном интрузивном массиве с рядом пород от габбро до плагиогранитов. Присутствуют дайки гранитов, плагиогранитов, гранит-аплитов, диабазовых и андезитовых порфиритов и др.
Рудовмещающие породы	Тоналит-порфиры и плагиогранит-порфиры III фазы аксугского комплекса. Возраст интрузий 521–523 млн лет [4]
Породы рамы	Габбро и диориты таннуольского комплекса
Метаморфические преобразования	В пределах рудного узла проявлен региональный метаморфизм низкотемпературных субфаций зеленосланцевой фации. На месторождении широкое распространение получили продукты дислокационного метаморфизма.
Возраст оруденения	Возраст оруденения, определенный Re-Os методом по молибдениту, составляет диапазон от 511 ± 2 до 518 ± 2 млн лет, что соответствует раннему кембрию [2]
Гидротермально-метасоматические преобразования рудовмещающих пород	Проявлены в последовательной смене от периферии к центру зон пропилитизации, кварц-хлорит-серицитовых, кварц-серицит-хлоритовых метасоматитов (с реликтами зон калишпатизации и биотитизации) и окварцевания
Вещественный состав руд	В составе руд преобладают сульфиды: халькопирит, борнит, пирит, молибденит, энаргит, халькозин. Самородные минералы представлены золотом и медью. Второстепенные: магнетит, гематит, пирротин, галенит, сфалерит, марказит
Морфология рудных тел (зон)	В горизонтальном сечении форма рудной зоны имеет серповидный, кольцеобразный тип. В вертикальных сечениях столбообразная, седловидная в соответствии с проявленными гидротермально-метасоматическими преобразованиями
Проявление рудных зон в геохимических полях	Рудные зоны во вторичных ореолах проявлены аномалиями меди, молибдена, мышьяка, свинца и цинка. В первичных ореолах обособляются 6 рудных ассоциаций элементов: Fe-Co-S (пиритовая), Zn-Cd-Pb (полиметаллическая), Ce-La-Y-P (редкоземельная), Cu-Bi-Ag-Se-(As-K-Au) (медная), Sb-As-(Hg) (сульфосольная), Mo-Re (молибденовая), Ba-Sr (баритовая)
Проявление оруденения в геофизических полях	Комплексные аномалии высокой дисперсии магнитного поля и магнитного минимума < -25 нТл. Локальные эпигенетические аномалии калия > 0,25 %. Аномалии ВП > 0,2 %.

Сухоложско-Сосновский потенциальный рудный узел расположен в зоне сочленения Центрально-Саянской структурно-фациальной зоны, Усинской межгорной впадины и Куртушибинского офиолитового пояса. Здесь на контакте терригенных отложений палеозойского возраста, прорванных интрузивными телами умеренно-щелочного состава (от монцодиоритов до граносиенитов и гранитов) были выявлены два рудопроявления меди – Сосновское и Сухоложское, отнесенные к скарновому типу. Поисковыми работами 2021–2023 гг. на площади были получены контрастные площадные геохимические аномалии меди, молибдена и золота, совпадающие с контуром выхода интрузии. При их заверке скважинами выявлена характерная для Au-Cu-порфировых месторождений минерализация в виде штокверка халькопирит-кварцевых прожилков с промышленными параметрами.

В зоне влияния Хемчикско-Азасского регионального разлома выявлено и изучено (1951–2024 гг.) Cu-порфировое рудопроявление Кызык-Чадр. Проявление и одноименное рудное поле расположено на контакте структур Хемчикско-Систигхемского коллизионного прогиба салаирского возраста и Тувинского рифтогенного девонского прогиба. По набору признаков оно аналогично Ак-Сугскому месторождению. Силами АО «Росгеология» в рамках оценочных работ (пройдено 50 000 п.м. скважин) выполнен авторский подсчет запасов в пределах основного рудного штокверка. Запасы составили около 1 млн т условной меди со средним содержанием

0,38 %. Стоит отметить, что рудное поле является только малой частью рудного узла, ресурсы которого на основании геохимической основы листа государственной геологической карты N-46-XXXV [1] оценены по категории P_3 в 3 млн т меди и 40 т золота. В целом в пределах Кызык-Чадрского рудного узла совокупный потенциал всех медно-порфировых объектов оценивается в 5 млн т меди и 100 т золота. Эти параметры практически соответствуют Ак-Сугскому Au-Mo-Cu месторождению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. N-46-XXXV (Уюк). Издание второе. Геологическая карта донеогеновых образований. Западно-Саянская серия, 2016.
2. Макаров В. А., Шадчин М. В., Шведов Г. И. [и др.] Ак-Сугское месторождение-эталонный медно-порфировый объект Восточно-Саянской металлогенической провинции. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2024. – 174 с.
3. Хертек Ч. М., Сазонов А. М. Типизация золота россыпей Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района, Западный Саян. – Минералогия. – 10 (1). – 32–53. – DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-2-3.
4. Шадчин М. В. Геология и условия образования руд медно-порфирового месторождения Ак-Суг (Северо-восточная Тува) : Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – Новосибирск, 2024. – 25 с.

Молчанов В. П. (vpmol@mail.ru), Голич А. Н. (agolich@mail.ru)
ФГБУН ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АРИАДНЕНСКОГО МАССИВА УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ

На юге Дальнего Востока России в пределах Сихотэ-Алинского орогенного пояса выявлены металлоносные позднемезозойские интрузии ультрабазитов. К юго-восточному экзоконтакту одной из них, Ариадненской, приурочены эксплозивные дайки брекчий слюдистых пикритов с графитом и редкоземельными элементами (РЗЭ), а в северной части – золото-медные и золото-сурьмяные образования. Изотопные анализы состава углерода графита и серы сульфидов указывают на участие в рудогенезе мантийных процессов.

Ключевые слова: золото, графит, редкоземельные элементы, сульфиды, изотопия серы и углерода, ультрабазиты, Ариадненский массив, Сихотэ-Алинь, Приморье.

В геологическом строении изученной площади принимают участие среднеюрские турбидиты и микститы (субдукционный меланж) аккреционной призмы с включениями позднепалеозойских и раннемезозойских океанических кремней, сланцев, известняков и базальтов. Вулканогенно-осадочные породы прорваны Ариадненской интрузией ультраосновного состава, юго-западная часть которой сложена ультраосновными породами первой фазы – перидотитами и оливиновыми пироксенитами, постепенно переходящими к центру в ильменитовые и амфиболовые габбро. На северо-востоке интрузии преобладают диориты, монцодиориты и сиениты второй фазы. Ко второй фазе отнесены также немногочисленные, маломощные дайки диабазов, сиенитов, трахибазальтов и пикритов в интрузии первой фазы [1]. К юго-восточному экзоконтакту плутона приурочено несколько даек флюидоэксплозивных брекчий пикритов (с запада на восток: Малиновская, Магнитная, Карбонатитовая), обогащенных графитом и РЗЭ. В северной части внешнего контура интрузии сосредоточены золото-медные и золото-сурьмяные образования.

В строении брекчий пикритов принимают участие микролиты пироксена и вулканического стекла с вкрапленниками оливина, пироксена и рудного минерала. Изредка в основной массе пироксен проявляется в виде лейстовидных зерен, интенсивно замещаемых керсутитом, флогопитом и карбонатом. Рудные минералы представлены монацитом, реже отмечаются титаномагнетит и ильменит.

Состав пикритов характеризуется довольно высокой железистостью и глиноземистостью. Это умерено-высокощелочные породы, отличающиеся высокими концентрациями титана (TiO_2 до 5,0 мас.%) и кальция (CaO до 16,0 мас.%). Для пикритов типичны высокие суммарные содержания (до 1600 ppm) РЗЭ, полого-наклонный тренд их распределения и отсутствие ярко выраженных аномалий, преобладание легких лантаноидов над тяжелыми. На мультиэлементной диаграмме пикриты образуют единую серию с общему минимуму по калию, гафнию и максимуму по ниобию и свинцу. Распределение некогерентных литофильных элементов свидетельствует об обогащении пикритов крупноионными (Cs, Rb, Sr, Ba) литофилами и обеднении высокозарядными (Nb, Ta, Hf, Zr). Об этом же свидетельствует в целом повышенные отношения Ba/La, Ba/Nb, Rb/Y, La/Nb. Нормализованные к хондриту графики редкоземельных элементов характеризуются выдержанным обогащением легких РЗЭ (La, Ce, Pr, Nd) по отношению к тяжелым лантаноидам. В целом сумма промышленно-значимых легких лантаноидов обнаруживает положительную корреляцию с концентрациями углерода, представленного графитом.

Углеродно-изотопные характеристики графитов сдвинуты в сторону мантийного источника [3], характеризуясь низкими значениями $\delta^{13}C$. Так, изотопный состав пикритов Малиновской дайки варьирует в интервале от -7,7 до -7,9 ‰, для Магнитной дайки от -8,3 до -8,5 ‰, а для Карбонатитовой от -9,1 до -9,4 ‰.

Проведенные ранее исследования пород Цзямусы-Ханкайской графитоносной провинции [2] показали, что величина δ13C углерода Тургеневского проявления эндогенной редкоземельной-графитовой минерализации, размещенного вблизи изученной площади, меняется в диапазоне от -7,0 до -10,0 ‰. Именно этот диапазон характерен для углерода графита ариадненских пикритов. Полученные данные позволяют полагать, что в формировании графита и сингенетичной ему редкоземельной минерализации принимали участие флюиды мантийного происхождения.

Для оценки источников рудного вещества в северной части внешнего контура интрузий был проанализирован изотопный состав серы сульфидов, а точнее антимонитов золото-сурьмяных образований и пиритов медных руд. Было установлено, что изотопные характеристики серы этих сульфидов в целом обладают высокой степенью гомогенности, укладываясь в довольно узкий интервал, несколько облегченный относительно «мантийной» отметки ультраосновных пород [4]. При этом значения $\delta^{34}S$ антимонита меняются от -1,8 до -1,5 ‰, тогда как значение $\delta^{34}S$ для пиритов медных руд варьируется от -3,1 до -3,5 ‰. Изотопное фракционирование обусловлено, скорее всего, изменениями физико-химических характеристик рудообразующих флюидов (Eh-pH, температуры) в направлении от центра интрузии к ее периферии, обусловивших развитие в экзоконтакте и околоинтрузивной зоне ультрабазит-базитов золото-сурьмяных и золото-медных образований.

В различии минерального состава рудных образований южной и северной частей околоинтрузивной зоны сфокусировалась основная особенность формирования Ариадненского массива – дифференциация в процессе рудоотложения золота, меди и сурьмы от РЗЭ. Можно полагать, что редкоземельная и благороднометалльная минерализации имеют общий глубинный источник рудного вещества. Обогащение редкоземельными элементами пикритов связано с флюидоэксплозивными процессами, приведшими к отделению летучих компонентов, весьма насыщенных разнообразными углеродистыми соединениями (CO, CO_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_5 и др.), водородом и азотом, а также редкими землями, от рудоносных флюидов. Водородно-метановый газовый режим способствовал кристаллизации редкоземельных минералов с растворенным в них углеродом в виде графита.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить в южной части внешнего контура Ариадненского массива даек пикритов промышленно перспективной графит-редкоземельной минерализации, а в северной – золото-сурьмяных и золото-медных образований. При этом изотопный состав углерода графита и серы сульфидов соответствует мантийному источнику рудного вещества. Представляется, что обогащение этих пород редкоземельными и благородными металлами имеют определенное прогнозное значение при предварительной оценке общего рудного потенциала ариадненского типа. С другой стороны, при совершенствовании

технологии извлечения слюдистые пикриты могут сами стать в будущем доступными для промышленного освоения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00093 (https://rscf.ru/project/23-17-00093).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханчук А. И., Молчанов В. П. Рудоносность позднемезозойского Ариадненского массива ультрабазитов, базитов и гранитоидов (Сихоте-Алинский орогенный пояс) // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 5–19. – DOI: 10.30911/0207-4028-2023-42-6-5-19.
2. Khanchuk A. I., Plyusnina L. P., Molchanov V. P., Medvedev E. I. Noble metals in high- carbon metamorphic rocks of the Khanka terrane, Primorye // Tikhookeanskaya Geologiya. – 2007.– Vol. 26, No. 1. – P. 70–80.
3. Luque F., Crespo Feo, E., Barrenechea, J., Ortega L. Carbon isotopes of graphite: Implications on fluid history // Geoscience Frontiers. – 2012. – No. 3. – P. 197–207.
4. Rollinson H.R. Using geochemical data: evalution, presentation, interpretation. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Longman Group UK Ltd. – 1993. – 352 p.

Родкин М. С.[1] (rodkin@tsnigri.ru), Тарасов А. С.[1] (tarasov@tsnigri.ru), Внуков Д. А.[2] (vd@geolinvestproekt.ru)

[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва, [2] ООО «Геолинвестпроект», г. Москва

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ БУРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ РАЗВЕДКИ ШИШИМСКОЙ ГРУППЫ РОССЫПЕЙ (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Показаны итоги сопоставления результатов опробования и расчета коэффициентов сходимости по соотношению параметров россыпей: мощность торфов, песков, среднее содержание металла на пласт, вертикальный запас.

Ключевые слова: бурение, опробование, глинистость, степень промывистости, сопоставление результатов, статистическая оценка.

Шишимская группа россыпей расположена в пределах Первоуральского и Новоуральского городских округов Свердловской области в 20 км севернее г. Первоуральск и в 15 км юго-западнее г. Новоуральск.

В соответствии с лицензионными условиями в 2023 г. силами ООО «Визерион» были проведены поисково-оценочные и разведочные работы путем бурения скважин. Для уточнения геологического строения россыпи и заверки данных бурения предшественников, которое проводилось рейсами по 1 м, выполнено кустовое бурение кустами скважин (по 6 скв.) с укороченными интервалами опробования (0,5 м). Бурение осуществлялось буровым станком типа УРБ-2НТ с диаметром бурения 219 мм. Работы выполнялись согласно утвержденному проекту (положительное заключение ФГКУ «Росгеолэкспертиза» № 105-02-06/2021 от 24.10.2024 г).

Бурение производилось всухую твердосплавными коронками, что обеспечило выход ненарушенного керна и позволило детально документировать все особенности строения рыхлых осадков. Расстояние между отдельными скважинами в кусте не превышало 0,5 м.

Пройдены восемь буровых линий 86 кустами из шести скважин. Всего пробурено 516 ревизионных скважин общей протяженностью 5028 погонных метров. Отобрано и обработано 10 056 рядовых проб.

Опробованию подвергался весь материал скважин. По мере проходки скважин керн укладывался в ендовку и маркировался биркой, после геологического описания отправлялся на промывку. Длина пробы не превышала 0,5 м, каждая проба промывалась отдельно. В дальнейшем для расчета среднего содержания по кусту скважин усреднялись результаты из керна шести скважин с одного и того же интервала одного литологического слоя.

Таблица. Фактически выполненные объемы работ

Россыпь	Линия	Число кустов скважин	Число скважин	Средняя глубина, м	Объем бурения скважинами 219 мм, п. м.	Число проб
Восточношишимская	184	9	54	8,7	468	936
	188	6	36	8,8	318	636
Черношишимская	666	14	84	7,7	645	1290
	668	12	72	7,9	570	1140
Макариха	86	11	66	14,6	963	1926
Ковалев лог	46	6	36	16,4	591	1182
Шушуговская	217	14	84	8,7	729	1458
	219	14	84	8,9	744	1488
Всего:	8	86	516		5028	10 056

При проведении разведки Шишимской группы россыпей предшественниками в пределах изучаемой площади были отобраны валовые пробы для определения гранулометрического состава продуктивного слоя в количестве 67 проб общим объемом 32,995 м^3.

Сводная расситовка золотоносного пласта по данным предшественников следующая: галька – 14,8 %, гравий – 14,2 %, песок – 13,6 %, глина – 57,4 %. Таким образом, отличительной чертой Шишимской группы россыпей является их повышенная степень глинистости. Промывистость осадков по месторождениям определяется как средне-труднопромывистая.

Объем пробы с куста скважин определяется исходя из внутреннего диаметра коронки и длины уходки, количества скважин в кусте и для проб в 0,5 м составляет 0,094 м^3 (объем рядовой пробы). Фактический объем проб определялся методом долива [2, 4].

По результатам поинтервального опробования определены границы продуктивного пласта, мощности торфов (Мт) и песков (Мп), средние содержания металлов по пласту (С), вертикальные запасы (МС). Эти данные положены в основу сопоставления результатов опробования по сопряженным скважинам (основной и контрольной) [1, 4, 5].

По сопряженным отдельным скважинам и кустам сравнивались мощности торфов и песков, средние содержания металла на пласт и вертикальные запасы. Проведено сопоставление результатов опробования и рассчитаны коэффициенты парной корреляции по основным параметрам россыпей [2, 3].

Статистическая оценка расхождений основных параметров продуктивного пласта, выполненная на основе использования критериев сходимости, в целом указывает на случайный и незначимый характер расхождения [2, 3].

На графике (рисунок) отражен характер сходимости параметров основного и кустового опробования скважин. При количестве выработок в кусте 2 и более сходимость результатов кустового опробования с данными основного опробования практически не повышается.

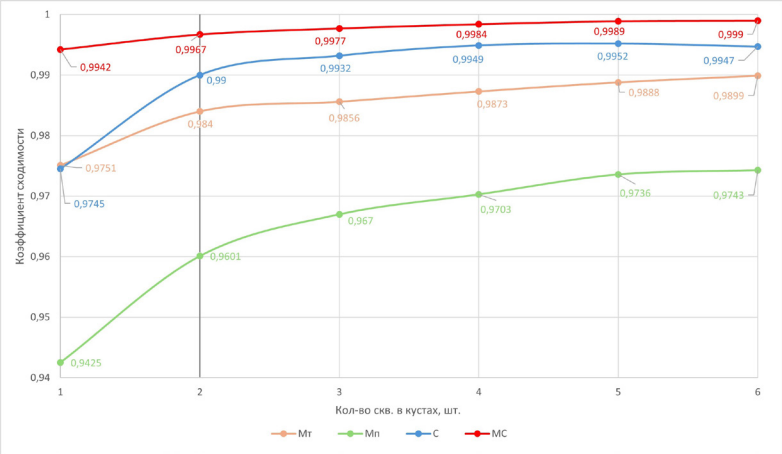


Рисунок. Характер сходимости параметров основного и кустового опробования скважин Шишимской группы россыпей

Выводы. На определение объема и количества выработок, участвующих в проведении заверочных работ, влияет не только объем рядового опробования и наличие в пробе крупного золота, но и уровень глинистости вмещающих пород. Повышенная глинистость, присущая Шишимской группе россыпей, не дает просаживаться металлу, что способствует к более достоверным результатам основного опробования при разведке и влияет на снижение необходимого и достаточного количества выработок в кусте (1–2) при проведении заверочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каждан А. Б. Поиск и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ. – М. : Недра, 1985.
2. Флеров И. Б., Куторгин В. И, Будилин Ю. С. [и др.] Методика разведки россыпей золота и платиноидов. – М. : ЦНИГРИ; НТК «Геоэксперт», 1992.
3. Кувшинов В. П., Бакулин Ю. А., Иванов В. Н. [и др.] Опробование руд коренных месторождений золота. – М. : ЦНИГРИ; НТК «Геоэксперт», 1992.
4. Куторгин В. И., Джобадзе В. А., Тарасов А. С. [и др.] Системы оценки и разведки россыпных месторождений золота и платиноидов на основе многофакторных моделей – М. : ЦНИГРИ, 2002.
5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения – М. : ФГУ ГКЗ Роснедра, 2007.

Юсупова А. В. (korshikovalena2014@gmail.com), Плотинская О. Ю. (plotin-olga@yandex.ru)
ИГЕМ РАН, г. Москва

ТУРМАЛИНИЗАЦИЯ КЛЮЧЕВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (В. ЗАБАЙКАЛЬЕ): ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ

В настоящей работе изучен турмалин и ассоциирующие минералы из месторождения Ключевское с помощью электронно-зондового микроанализа. Изученный турмалин относится к промежуточному ряду шерл–дравит и характеризуется ростовой зональностью. Турмалин представлен двумя генерациями: 1) темный с повышенными содержаниями Mg, Na и уменьшением Ca (отношение Mg / (Mg + Fe) = 0,85); 2) светлый с повышенными содержаниями Fe и Ca, уменьшением Na (отношение Fe / (Fe + Mg) = 0,76).

Ключевые слова: Ключевское месторождение, Восточное Забайкалье, золоторудное месторождение, турмалин, турмалинизация.

Турмалин формируется в широком диапазоне *PT*-условий, при этом он характеризуется разнообразием химического состава и различными типами изоморфных замещений. Это позволяет рассматривать турмалин как индикатор условий минералообразования и важный прогнозно-поисковый критерий [1, 2, 4]. На месторождениях порфирового типа турмалин является характерным минералом [5].

Турмалин и ассоциирующие минералы из месторождения Ключевское были исследованы с помощью электронно-зондового микроанализа. Ключевское золоторудное месторождение находится в Могочинском районе Читинской области в 40 км к юго-западу от районного центра г. Могоча. Оруденение связано с интрузиями позднеюрского амуджиканского комплекса, представленными штоками гранит-порфиров и дайковым комплексом пород.

Совместно с турмалином встречаются минералы: кварц, альбит, полевой шпат, карбонат, хлорит. В кварцевых жилах находятся турмалиновые гнезда и рудные минералы: пирит, халькопирит, рутил, блеклые руды. Среди акцессорных минералов выявлены ксенотим-(Y), рутил, апатит, циркон и низкопробное самородное золото.

Химический состав турмалина изучался на рентгеновском микроанализаторе JXA-8200 фирмы JEOL (Япония) (ЦКП «ИГЕМ-Аналитика», аналитик Борисовский С. Е.).

Турмалин относится к промежуточному ряду шерл–дравит (таблица) и характеризуется ростовой зональностью (рис. 1, А, Б). Турмалин представлен двумя генерациями: 1) темный с повышенными содержаниями Mg, Na и уменьшением Ca (отношением Mg / (Mg + Fe) = 0,85); 2) светлый с повышенными содержаниями Fe и Ca, уменьшением Na (отношением Fe / (Fe + Mg) = 0,76).

На контакте турмалина с альбитом идет выщелачивание, в процессе которого турмалин растворяется (см. рис. 1; рис. 2).

Состав изученного турмалина близок к окситурмалину серии шерл–дравит золото-сульфидно-кварцевых и золото-порфировых месторождений Забайкалья и Монголии [3].

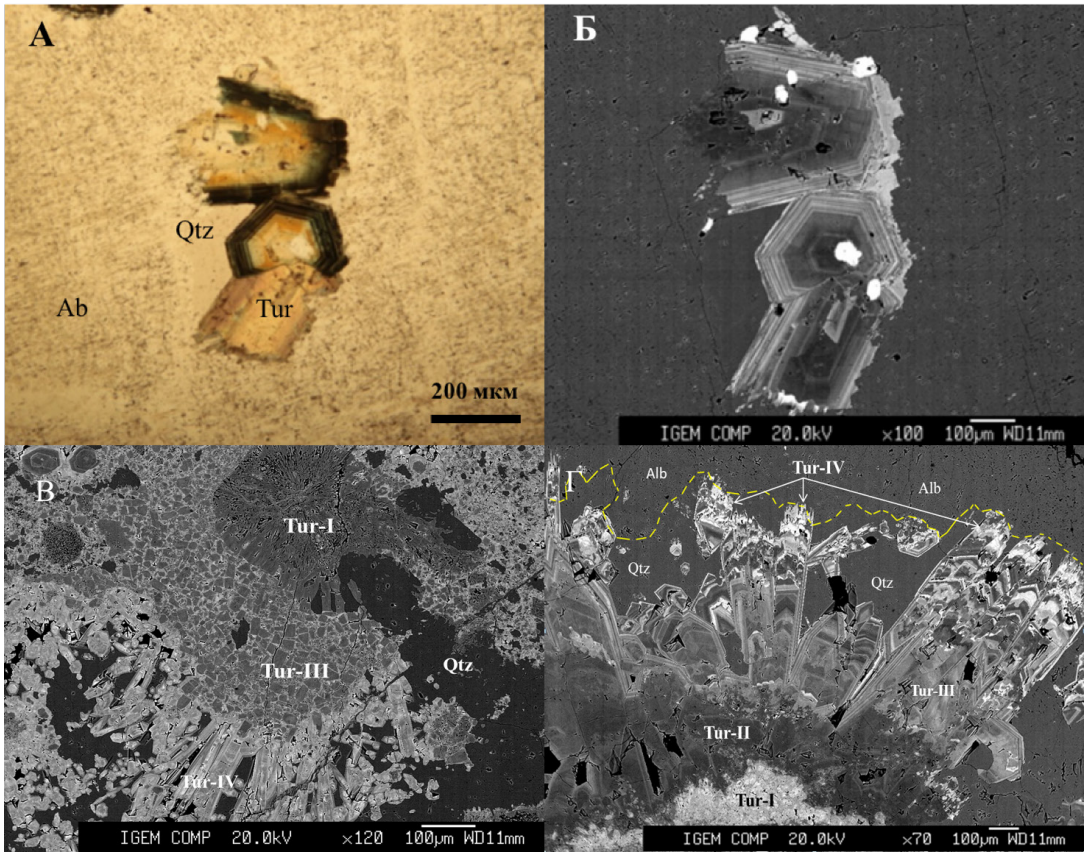


Рис. 1. Кристаллы турмалина с ростовой зональностью

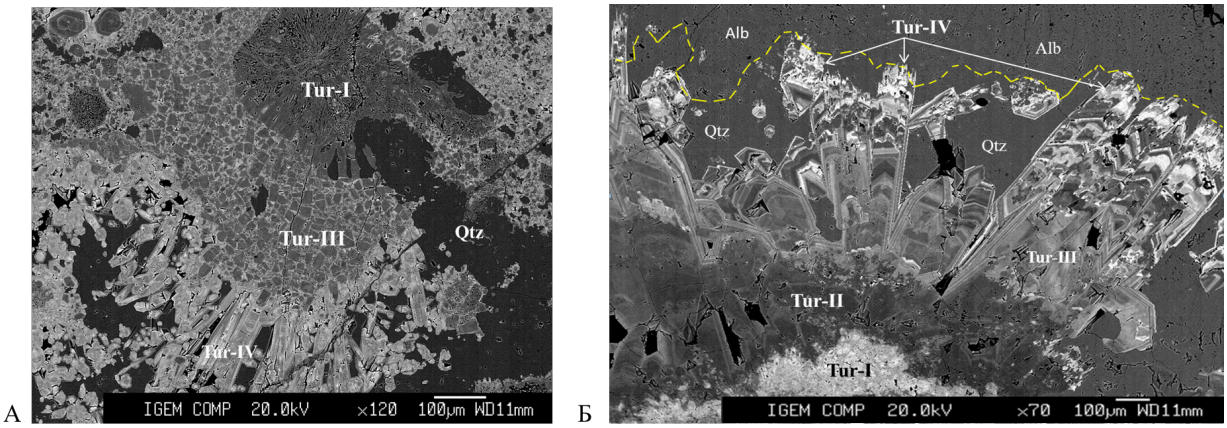


Рис. 2. Изображения в отраженных электронах:
А – турмалин месторождения Ключевское; Б – друза турмалина из месторождения Ключевское

Таблица. Химический состав зон кристаллов турмалина из месторождения Ключевское (микрозонд, мас. %): представительные анализы

Генерации турмалина по рис. 1	Tur-I	Tur-I	Tur-II	Tur-II	Tur-III	Tur-III	Tur-IV	Tur-IV	Tur-IV
№	65	66	70	71	74	75	81	82	83
SiO_2	35,51	34,28	36,63	36,53	36,19	35,87	33,72	34,16	36,59
TiO_2	1,93	0,02	0,14	0,19	0,24	0,11	0,01	0,01	0,15
Al_2O_3	24,74	23,97	32,13	32,25	30,91	26,94	22,97	27,79	32,00
FeO	12,35	19,97	1,78	1,67	5,32	9,44	26,73	21,97	3,87
MnO	0,08	0,09	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
MgO	7,86	4,62	10,67	10,52	8,96	9,00	0,94	0,11	9,46
CaO	2,42	1,30	0,45	0,46	0,56	1,47	1,26	1,02	0,27
Na_2O	1,48	2,06	2,56	2,49	2,47	2,10	1,84	1,90	2,54
V_2O_3	0,11	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00
Ce_2O_3	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,05
K_2O	0,04	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,09	0,04	0,01
B_2O_3**	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50
H_2O	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Сумма	100,74	100,42	98,36	98,17	98,71	99,20	101,71	101,07	98,95
Коэффициенты в формуле, ∑катионов Y + Z + T = 15									
Na	0,47	0,68	0,80	0,78	0,78	0,76	0,62	0,63	0,80
Mg	1,93	1,17	2,58	2,54	2,19	2,22	0,24	0,02	2,29
Al	4,80	4,83	6,14	6,17	5,98	5,25	4,71	5,66	6,14
$Fe_{общ.}$	1,70	2,85	0,24	0,22	0,78	0,67	3,89	3,18	0,52
Ti	0,23	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Si	5,85	5,86	5,94	5,93	5,94	5,93	5,87	5,91	5,95
O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OH	2,46	2,24	3,85	3,87	3,72	2,81	2,05	3,11	3,89

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин В. И., Добровольская Н. В., Солнцева Л. С. Турмалин и его использование при поисково-оценочных работах. – М. : Недра, 1979.
2. Hinsberg van V. J., Henry D. J., Marschall H. R. Tourmaline: an ideal indicator of its host environment // Canad. Mineralogist. – 2011. – V. 49. – P. 1–16.
3. Koval P. V., Zorina L. D., Kitajev N. A., Spiridonov A. M., Ariunbileg S. The use of tourmaline in geochemical prospecting for gold and copper mineralization // Journal of Geochemical Exploration. – 1991. – V. 40 (1–3). – P. 349–360.
4. Slack J. F. Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits // Boron: mineralogy, petrology and geochemistry // Rev. Mineral. – 1996. – V. 33. – P. 559–644.
5. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Econ. Geol. – 2010. – V. 105. – P. 3–41.

Tang Huan (591798183@qq.com), Zhang Hongfu, Chen Anping
Xi'an Center of Geological Survey, CGS

STUDY ON EARLY PALEOZOIC ULTRAHIGH-PRESSURE METAMORPHISM OF XIARIHAMU AREA OF THE EAST KUNLUN OROGENIC BELT

Ultrahigh-pressure (UHP) metamorphism refers to a metamorphic process that occurs at pressures greater than 2.5 GPa, above the quartz stability field (i.e., above the quartz-coesite transition line), and primarily at mantle depths. It is often indicated by the presence of diagnostic minerals such as coesite or diamond. Continental crust, with a density of approximately 2.8 g/cm³, is generally buoyant and thus difficult to subduct into the mantle, which has a density of about 3.3 g/cm³. However, more than 20 UHP terranes have been reported to date, and over the past two decades, more than 20 UHP metamorphic belts have been discovered and established worldwide. The discovery of coesite and microdiamonds in gneisses indicates that continental crust can not only subduct to depths of 150 km but also undergo exhumation and return to the surface. UHP metamorphism predominantly occurs in orogenic belts, suggesting a close relationship between UHP metamorphism and orogenic processes. With in-depth studies of UHP-high-pressure (HP) metamorphic rocks in the East Kunlun Orogen, an Early Paleozoic UHP metamorphic belt has been identified in this region.

This study focuses on the metamorphism and geochronology of eclogites and gneisses in the Xiarihamu area. Based on detailed petrographic observations and mineral compositional analyses, a P-T trajectory has been constructed. The identification of coesite inclusions within zircon grains from eclogites, along with the mineral assemblage of garnet + omphacite + phengite in this region, confirms that the eclogites in the East Kunlun Orogen (EKO) were subducted to depths of 100–120 km. The area hosts large-scale Ni-Co deposits, which are contemporaneous with the retrograde metamorphism of the eclogites. These deposits are currently interpreted to have formed during mantle upwelling associated with slab exhumation, providing new insights into the relationship between continental deep subduction and mineralization processes.

Yang Bo (yangb@mail.cgs.gov.cn), Zhang Dandan, Tang Huan
Xi'an Center of Geological Survey, CGS

APPLICATION OF CHINESE GAOFEN (GF) SERIES REMOTE SENSING DATA IN GEOLOGICAL SURVEY

It is widely recognized that remote sensing technology serves as a critical tool in geological and mineral exploration, yet China's geological survey sector faced prolonged constraints due to reliance on costly foreign commercial satellite data (e.g., QuickBird, WorldView, and SPOT) prior to 2010. These imported datasets not only incurred high acquisition costs but also hindered the flexibility and scalability of domestic geological investigations. Since the launch of the Gaofen (GF) satellite program under national strategic support, China's indigenous remote sensing satellites have achieved technological maturity, with spatial resolution capabilities comparable to international levels, effectively replacing foreign satellites in geological applications. This transition has enabled cost-efficient, large-scale data acquisition for mineral resource assessment and tectonic analysis. This report outlines China's remote sensing satellite infrastructure, and it systematically demonstrates how satellite data enables lithology identification, structural interpretation, and mineralogical mapping, taking geological mapping project of Saudi Arabia as a case study. The analysis highlights these satellites' technical capacities in supporting geological exploration and resource assessment.

СОДЕРЖАНИЕ

Аббасов Н. А., Рустамова Р. Е., Гулиев И. Ф., Гусеинова А. Н.
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЛИЗИОННОГО ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ МИСХАНО-ЗАНГЕЗУРСКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗОНЫ НА ЮГЕ МАЛОГО КАВКАЗА 3

Адылханов И. А.
БЕСКЛИНОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕНИТНЫМ УГЛОМ СКВАЖИНЫ ПРИ БУРЕНИИ СНАРЯДАМИ СО СЪЕМНЫМ КЕРНОПРИЕМНИКОМ 6

Аксенов В. Н., Андреева Ю. С.
ХЛОРИТ-АКТИНОЛИТОВЫЕ СЛАНЦЫ ГОЛЬЦА СВЕТЛЫЙ (МАМСКО-ЧУЙСКИЙ РАЙОН)..... 9

Алексеев И. А., Подлипский И. И., Дуброва С. В., Тиличко Д. Ю.
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФОНОВОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАМКАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ, ВКЛЮЧАЮЩЕГО ПОИСКИ И ОЦЕНКУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 12

Аленичева А. А., Куделько И. Ю., Шатов В. В.
ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАПАДНО-ПРИМОРСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В ОТНОШЕНИИ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ (ЮГО-ЗАПАДНОЕ ПРИМОРЬЕ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)..... 16

Антащук К. М.
ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПОИСКОВОЙ СТАДИИ ГРР: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ. 19

Антонов А. Е. , Егорова Л. А.
МУРУНТАУСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ ПОЛЕ: ВОЗМОЖНОСТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РОСТА РЕСУРСНОЙ БАЗЫ И УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА 21

Арипова М. К., Усманова Ш. В.
СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТРАКОД СЕМЕЙСТВА CYTHERIDAE ЮЖНОЙ ЧАСТИ ФЕРГАНСКОЙ ДЕПРЕССИИ 24

Асроров А. А., Сайитов С. С., Абдуваитов А. К.
МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ТУКМАН (ЗАРМИТАНСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ) 27

Аухатов Я. Г.
ЗОЛОТО В ОТЛОЖЕНИЯХ ДОМАНИКОВОГО ТИПА (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)..... 31

Афанасьев В. П.
«ЭФФЕКТ БРАЗИЛЬСКОГО ОРЕХА»: ПРИЛОЖЕНИЕ К ПОИСКАМ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ В УСЛОВИЯХ ПЕСЧАНЫХ ПУСТЫНЬ 33

Ащепков И. В., Зинченко В. Н., Иванов А. С., Мануэль Б. П., Феликс Ж. Т., Мануэль Т. В.
МАНТИЙНЫЙ РАЗРЕЗ В 3000 КМ ЧЕРЕЗ КОНГО КРАТОН, ОСНОВАННЫЙ НА ТЕРМОБАРОМЕТРИИ МИНЕРАЛОВ СПУТНИКОВ АЛМАЗОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ 35

Ащепков И. В., Смелов А. П., Граханов С. А., Иванов А. С., Олейников О. Б., Биллер А. Я., Медведев Н. С., Логвинова А. М.
НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОХИМИИ И ТЕРМОБАРОМЕТРИИ МАНТИЙНОГО ИСТОЧНИКА ФРЕАТОМАГМАТИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ БУЛКУР 37

Бабенышев В. М., Маринская Н. В.
ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ТЫКОТЛОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ЛЕМВИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА 39

Бакшеев Н. А.
ВЫДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ПО РУДНЫМ И ПЕТРОГЕННЫМ ЭЛЕМЕНТАМ В КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ ТЫРГАНСКОЙ ПЛОЩАДИ САЛАИРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА 43

Банадысева М. Д., Андреенок А. В., Жемжуров Н. В.
РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПОИСКЕ КОРЕННОГО ИСТОЧНИКА РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА СУРЬЯ КАЗАНСКАЯ..... 46

Барова Е. В.
ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КАНДИДАТСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ) 49

Барышев А. Н., Хачатрян Г. К.
ГЕОДИНИМИКА КАК ПУТЬ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ ПРИРОДЫ МИНЕРАГЕНИИ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРИТЕРЕВ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ 51

Бергаль-Кувикас О. В., Владимирцева О. В., Субботин Н. А., Орлов С. Ю.
МЕДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРИБРЕЖНОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ 54

Берковский Е. М., Лейбгам П. Н., Бондаренко Н. В., Головко Н. А.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЧЕНКЕЛЕНЬИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ) 56

Божко Н. А.
К ВОПРОСУ О НАПРАВЛЕННОСТИ В ЭВОЛЮЦИИ АЛМАЗОНОСНОГО МАГМАТИЗМА..... 59

Боллиев Ш. Т., Тухтаев А. О., Рахимов Н. И.
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУДНЫХ ТЕЛ ТАУШАНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРЫ КУЛЬДЖУКТАУ)..... 61

Борисов В. В., Мадьяров Э. И.
РЕАЛИЗАЦИЯ RAG В MEMOZA. ВОЗМОЖНОСТИ, ПРАКТИКА, ГОРИЗОНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ 62

Васильев В. И., Дамдинов Б. Б., Васильева Е. В.
КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТАИНСКОГО ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН, РОССИЯ)..... 65

Васильев В. И., Васильева Е. В.
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ ЛИТОСФЕРЫ И ПЕРВИЧНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ 68

Васильев Н. Ю., Мострюков А. О., Петров Викт. Анат.
МЕХАНИЗМЫ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ
В ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭНДОГЕННЫХ РУД
(НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Au В. САЯНА, Cu-Ni ПЕЧЕНГИ,
АЛМАЗОВ ЯКУТИИ, АСБЕСТА В. УРАЛА) 70

Васюков В. Е., Васюкова А. В., Нигмаджанов Т. И.
ПОДГОТОВКА КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ОСНОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ)..... 73

Вахрушев А. М., Уварова Е. А., Дубов Н. В.
ЭТАПЫ «ЦИФРОВИЗАЦИИ» ФГБУ «ЦНИГРИ»..... 74

Виноградов И. В., Герасимова М. В., Черенков В. Г.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ И КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕГИОНАЛЬНОМ ПРОГНОЗЕ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ..... 77

Воробьев С. А.
ДОСТОВЕРНОСТЬ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА
ПО ДАННЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ПО ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ 78

Восихов Ш. Т., Литвиненко А. К.
О ПЕРСПЕКТИВАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БИРЮЗЫ БИРЮЗАКАН, СЕВЕРНЫЙ
ТАДЖИКИСТАН НА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ И РАДИОАКТИВНЫЕ МЕТАЛЛЫ 81

Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В.
ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИСТЫХ
ПЕСЧАНИКОВ И ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ 84

Голубев С. Ю.
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ВАЖСКОЙ ПЛОЩАДИ НА ОБНАРУЖЕНИЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ) 87

Голубев Ю. К., Прусакова Н. А.
ОПЫТ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ ОТКРЫТИЯ КРУПНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ В ПРЕДЕЛАХ ТЕРРИТОРИИ РФ 90

**Горячев Н. А., Чан Туан Ань, Фам Нгок Кан, Неволько П. А., Ву Хоанг Ли,
Светлицкая Т. А., Шелепаев Р. А., Чан Чонг Хоа, Изох А. Э., Чан Куок Конг,
Нго Тхи Хыонг, Нго Тхи Фыонг, Дао Тхай Бак, Фам Тхи Фыонг Лиен**
О МЕТАЛЛОГЕНИИ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ МЕТАЛЛОВ
ОРОГЕННОГО ПОЯСА ЧУОНГ ШОН
И ПРИЛЕГАЮЩИХ СТРУКТУР (ВЬЕТНАМ)..... 92

Гриненко В. С., Баранов В. В., Васильева Т. И.
СТРАТИФИЦИРОВАННЫЙ ТРЕНД РУДОНОСНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ
МЕТАЛЛОГЕНИИ В ДОКЕМБРИИ И ФАНЕРОЗОЕ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ 95

Громцев К. В., Прусакова Н. А.
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ
ПЛОЩАДЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
(ОЛЕНЁКСКОЕ ПОДНЯТИЕ) 97

Губарев И. А., Шайбеков Р. И., Куликова А. В., Котлер П. Д.
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ГАББРОИДОВ Cu-Au-Pd РУДОПРОЯВЛЕНИЯ
ВАСИЛИНОВСКОЕ, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ 100

Гурин Г. В.
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОИСКА ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕДНО-ЦИНКОВО-КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОДЖЕНИЙ В МАКАН-ПОДОЛЬСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)..... 102

Дак А. И., Агашев А. М., Рагозин А. Л.
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ ОРЕОЛОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ 104

Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Минина О. Р., Соболев И. Д., Хубанов В. Б., Жмодик С. М., Бадмажапов Б. Б.
ВОЗРАСТНЫЕ ЭТАПЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ В ОЗЕРНИНСКОМ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ РУДНОМ УЗЛЕ..... 107

Дамдинова Л. Б., Дамдинов Б. Б., Баданина Е. В., Чагдуров А. Б.
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОЛОВЯННОГО И МОЛИБДЕН-ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЭТЫКИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)..... 109

Дегтерев А. Ю., Зайцев А. В.
ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ РЕСУРСНОЙ МОДЕЛИ АЛМАЗОНОСНОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ В МНОГОВАРИАНТНОЙ (СТОХАСТИЧЕСКОЙ) ПОСТАНОВКЕ 112

Дедиков В. В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА РУДНОЕ ЗОЛОТО В ПРЕДЕЛАХ ЧАЛБЫКАНО-ХИЛТАНСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)..... 116

Дементеенко Л. И., Попенко Г. С.
МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ЗОЛОТА Р. КЫЗЫЛДАРЬЯ (ЯККАБАГСКИЕ ГОРЫ, ЮЖНЫЙ УЗБЕКИСТАН) 119

Дехконов Ш. А., Алиев А. Б., Тошпулатов Ш. Х.
ПЕРСПЕКТИВНОЕ РУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ УЧАСТОК БУЗГУЛЬ..... 122

Дмитриева Е. В., Стороженко А. А., Васильев Н. Ф., Роговский Е. О., Прохорова М. А.
ОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕНЕГИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)..... 124

Дорофеева Е. С., Гурьев В. А.
ОБЗОР ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ 127

Ежков Ю. Б., Тошметов У. Х., Холиёров А. Т.
К ГЕОХИМИИ МОЛИБДЕНА В ДОКЕМБРИЙСКИХ УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ 129

Енгалычев С. Ю.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕНИЙСОДЕРЖАЩИХ ФОРМАЦИЙ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ..... 132

Ефанова Л. И., Ковальчук Н. С., Майорова Т. П.
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПИРИТА ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ КАК ИНДИКАТОРЫ ПРИРОДЫ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ (ХРЕБЕТ МАНИТАНЫРД, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) 136

Житков В. Г., Ананьев Ю. С., Поцелуев А. А., Логутов Б. Б.
ТУРУНТАЕВСКАЯ ЗОНА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
В МАТЕРИАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК 138

Зайниддинов Ф. А.
СПЕКТРАЛЬНЫЕ СИГНАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН 141

Звездов В. С.
ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИЕ ПОЯСА И МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ СИСТЕМЫ
НОВОГВИНЕЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ 144

Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д.
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КИМБЕРЛИТОВЫХ АЛМАЗОВ
В ДРЕВНИХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩАХ 147

Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н.
О НЕКОТОРЫХ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ КИМБЕРЛИТОВ 152

Зубова Т. П.
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОБИРНОГО АНАЛИЗА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ
ГРАВИТАЦИОННЫМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СОДЕРЖАНИЙ ЗОЛОТА В ГЛИНИСТЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ 157

Иванов А. И.
ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ
БАЙКАЛО-ПАТОМСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ 159

Иванов А. С., Специус З. В., Ащепков И. В.
ТРЕНДЫ ОСНОВНЫХ ОКИСЛОВ И ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВОВ
ПИРОПОВ КАК ПОКАЗАТЕЛИ АЛМАЗОНОСТИ КИМБЕРЛИТОВ 162

Иванов Д. В., Толстов А. В.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИМК КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ
И БЛИЗЛЕЖАЩИХ ОРЕОЛОВ УЧАСТКА ПЕРЕВАЛЬНЫЙ-СЕВЕР (ЯАП) 164

Иванова И. И.
ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В АРГИЛЛИЗИТАХ И КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ
ТЫРГАНСКОЙ ПЛОЩАДИ САЛАИРСКОГО КРЯЖА 166

Истомин В. А.
АЛМАЗОНОСНОСТЬ ТЕРРАС НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ
Р. ОРАНЖЕВОЙ В НАМИБИИ 168

Казаков В. Ф., Пелипенко Я. М.
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ВЫКЛИНИВАНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД
НА ЗАПАДНОМ ФЛАНГЕ ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ,
НОРИЛЬСКИЙ РАЙОН 172

Кайгородова Е. Н., Чугаев А. В., Сидорова Н. В.
МЕЗОТЕРМАЛЬНЫЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА
С «НЕВИДИМЫМ» ЗОЛОТОМ: ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА 173

Калашников А. О., Никулин И. И., Любчич В. А., Кадыров Р. И., Светлицкая Т. В.
ЛОКАЛЬНЫЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ И ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ РУДНЫХ СИСТЕМАХ 176

Калита В. А., Алексеев Я. В.
ПРОБЛЕМА ОСВОЕНИЯ ЗАПАСОВ РОССИЙСКИХ УПОРНЫХ РУД ЗОЛОТА 178

Калмыков Б. А., Бабаянц И. П., Трусов А. А., Козлов Г. А.
ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЧАРО-СИНСКОЙ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ В СВЯЗИ С АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ 180

Канимбуе Л. С., Ватрушкина Е. В.
СТАДИЙНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В ЗОЛОТОРУДНОМ ПОЛЕ УПРЯМОЕ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА) 182

Карабаев М. С., Садиров Р. М.
ЭЙСИТОВЫЕ И АРГИЛЛИЗИТОВЫЕ ОКОЛОРУДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОР АУМИНЗА-БЕЛЬТАУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ) 185

Карамышев А. В., Лохов Д. К.
ДОМЕННАЯ АДАПТАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ 187

Кардашевская В. Н., Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б.
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ РУД КИРЧЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ) 189

Каторин А. И., Данилов К. Б., Яковлев Е. Ю., Пучков А. В., Быков В. М.
ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ТРУБКИ ВОЛЧЬЯ ПО ДАННЫМ ПАССИВНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ, МЕТОДА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНА 192

Киселев Р.В.
УЛУЧШЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ NEXTGIS ЗА 2024 ГОД И АНОНС НОВЫХ ПРОДУКТОВ КОМПАНИИ 194

Китаев А. В., Пустозеров М. Г., Тригубович Г. М.
ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ 196

Коваль А. В.
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА СИНАРСКОЙ ПЛОЩАДИ (СРЕДНИЙ УРАЛ) 198

Козлов Г. А.
ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ СТРАТИФОРМНЫХ Pb-Zn МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КАРБОНАТНЫХ ТОЛЩАХ (MVT) 201

Козлов Г. А., Калмыков Б. А., Трусов А. А.
ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРОГНОЗА ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ЧАРО-СИНСКОЙ ТЕКТОНОМАГМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ 204

Колова Е. Е., Глухов А. Н.
ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА В МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ 206

Конкин В. Д., Галямов А. Л.
ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОТИ НАМАМА-КОТЕРСКОГО ПРОГИБА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ) 208

Консепсьон Брито Педро Луис, Яния Педраза Розон, Лейди Фронтела Бенитес, Двуреченская С. С., Гирфанов М. М., Куликов Д. А., Сватков А. С.
ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ ЦИНКОВО-МЕДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРЛОТА, РЕСПУБЛИКА КУБА 211

Конюхов А. А., Алексеев А. С.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКА МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
В НИЖНЕМ ПРИАМУРЬЕ НА ПРИМЕРЕ КОВРИЖНЕНСКОЙ ПЛОЩАДИ
(ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 213

Копылов М. И.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
В ПРЕДЕЛАХ ОКТЯБРЬСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА 216

Костровицкий С. И.
КИМБЕРЛИТЫ, ИХ ПЕРВИЧНЫЙ СОСТАВ, АЛМАЗОНОСНОСТЬ 219

Кошкарев Д. А., Летникова Е. Ф., Серов И. В.
НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ СТРОЕНИЮ
ВОСТОЧНОГО ПРИСАЯНЬЯ И ВЗГЛЯД НА ПЕРСПЕКТИВЫ
КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ РЕГИОНА 222

Криволуцкая Н. А., Краснова Е. А., Грязнова А. С., Свирская Н. М., Гонгальский Б. И.
ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ СЕРЫ В РУДАХ
НОРИЛЬСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 224

Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Иваненкова Е. В.
СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННОЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ
РАЙОНИРОВАНИЕ БОЛЬШОГО АЛТАЯ 227

Кужугет Р. В., Анкушева Н. Н.
ВОЗРАСТ, БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ
И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ Au-Mo-Cu-ПОРФИРОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (ВОСТОЧНАЯ ТУВА, РОССИЯ) 229

Кузнецов В. В., Серавина Т. В.
ФОРМАЦИОННЫЕ ТИПЫ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ
И КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 231

Кузнецова С. В.
ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ БРЕКЧИЙ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЗАЙЦЕВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
ЗМЕИНОГОРСКОГО РАЙОНА РУДНОГО АЛТАЯ 234

Лабусов В. А., Дзюба А. А., Бабин С. А., Селюнин Д. О., Зарубин И. А., Неклюдов О. А., Семёнов З. В., Ващенко П. В.
ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ ПРОБ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ
СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ 237

Лаломов А. В., Григорьева А. В., Иванова Ю. Н.
ИСТОЧНИКИ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ЛУКОЯНОВСКОГО
РОССЫПНОГО РАЙОНА 240

Литвиненко И. С.
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ПРОГНОЗ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ
НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ПО РОССЫПЯМ 242

Лихоман О. А.
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РОССЫПЕЙ В МЕЗОЗОЙСКИХ
И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОРЕНБУРГСКОГО УРАЛА 244

Лохов Д. К., Федорова К. С., Захаров С. Н.
ФОРМАЛИЗОВАННАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ДЮМТАЛЕЙСКОЙ
ПЛОЩАДИ (ЮЖНЫЙ ТАЙМЫР) НА СУЛЬФИДНОЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЕ
ОРУДЕНЕНИЕ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ 247

Мальковец В. Г., Гибшер А. А., Яковлев И. В., Милаушкин М. В., Гаранин К. В.
«ГИТ-ЭКСПЕРТ» – ПО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВЕЩЕСТВЕННО-
ИНДИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КИМБЕРЛИТОВ И ПРОГНОЗА
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ И КАЧЕСТВА АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ 248

Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Керимли У. И.
ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ
В ОРДУБАДСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН) 250

Мартынов В. Т., Мартынов И. В.
СПОСОБ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 253

Мелекесцева И. Ю., Котляров В. А.
ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В РУДАХ СУЛЬФИДНЫХ
УЗЛОВ СЕМЕНОВ И ИРИНОВСКОЕ (РОССИЙСКИЙ РАЗВЕДОЧНЫЙ РАЙОН,
СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ) 255

Мельников А. В.
ЗОЛОТОРУДНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ АННЕНСКОЕ – НОВЫЙ ВЫСОКОПЕРСПЕКТИВНЫЙ
ОБЪЕКТ КРУПНООБЪЕМНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПАЛЕОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА
В ВЕРХНЕМ ПРИАМУРЬЕ 257

Мельников А. В.
ПЛАТИНОНОСНОСТЬ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ КАЛАРСКОГО
И ЛУЧАНСКОГО БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ МАССИВОВ СТАНОВОЙ
НИКЕЛЕНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ (ВЕРХНЕЕ ПРИАМУРЬЕ, РОССИЯ) 259

Милаушкин М. В., Мальковец В. Г., Гибшер А. А., Яковлев И. В.
МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ГРАНАТОВ ИЗ ТРУБОК АЙХАЛ И ЮБИЛЕЙНАЯ
(АЛАКИТ-МАРХИНСКОЕ КИМБЕРЛИТОВОЕ ПОЛЕ, СИБИРСКИЙ КРАТОН) 262

**Мирходжаев Б. И., Жураев Ш. И., Оловов Х. Х., Элибаев Б. А., Авулов Ж. М.,
Рузиев А. Я., Муминов Т. Х.**
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ
ОБЪЕКТОВ НА ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ) 264

Михалицына Т. И., Фомина М. И.
МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТОРУДНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАХТНОЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ) 267

Моисеев А. В., Баталов А. П.
ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И ОБЪЕМНОЕ ЛИТОГО-СТРУКТУРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ
И ОЦЕНКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 269

Молчанов А. В., Соловьев О. Л.
ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ
НА ЗОЛОТО-УРАНОВОРУДНЫЕ ОБЪЕКТЫ В ПРЕДЕЛАХ
ЭЛЬКОНСКОГО РУДНОГО УЗЛА 274

Морохин А. И.
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА РАЗНОВИДНОСТЕЙ БОРНИТА
ИЗ РУД ВОЛКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)..... 277

Мочалов А. Г., Галанкина О. Л., Якубович О. В.
ТИПОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНЫ
В РАЗРАБОТКЕ ^{190}Pt-^{4}He МЕТОДА ДАТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНИМОСТИ
В ОЦЕНКЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
НА ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ..... 279

Мурзин О. В.
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРОДОЛЖЕНИЮ ПОИСКОВ
КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ
В ЗМЕИНОГОРСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)..... 281

Мурзина Н. М.
ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД ОКСИДНОГО ЖЕЛЕЗО-МЕДНОГО ТИПА
УЛАНДРЫКСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)..... 284

Мясников Ф. В.
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ
И КУСТОВ ТРУБОК В МАЛО-БОТУОБИНСКОМ АЛМАЗОНОСНОМ РАЙОНЕ 286

Некипелая С. А. , Родченко С. А.
МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ШЛИХОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ОПРОБОВАНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ
ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗИСА 289

Некипелая С. А.
ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ЗОЛОТООРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ
КОМПЛЕКСНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ОБЪЕКТА..... 291

Некрасов А. В. , Котов Д. А. , Дмитриева Е. А.
ОПЫТ РАБОТЫ ООО «РГ КОНСАЛТИНГ» ПО ОЦЕНОЧНЫМ ОБЪЕКТАМ
ГОСУДАРСТВЕННЫХ КОНТРАКТОВ..... 294

Нехорошев Н. Н., Попова А. А.
ЕДИНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
РОСНЕДР. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ..... 295

Никитина Ю. Г., Тарских О. В., Аржаков Е. Е.
ХРОМШПИНЕЛИДЫ СЮЛЬДЮКАРСКОГО ПОЛЯ (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)..... 298

Николаев А. В. , Мехоношин А. С., Кислов Е. В., Колотилина Т. Б.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ
В НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОГО САЯНА
(РОССИЯ) И ПРОВИНЦИИ ГАНЬСУ (КИТАЙ) 300

Новопашина А. В., Федоров Д. Н.
ЗОНЫ ТРЕЩИНОВАТОСТИ КАК ОСНОВНАЯ ПРИЧИНА АНОМАЛИЙ
НИЗКОГО УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ В ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ..... 303

Новоселов К. Л.
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ
АЛЕЙСКО-ЗМЕИНОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА
(СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ РУДНОГО АЛТАЯ)..... 306

Ноев В. С.
РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ЭТАПА ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА СЕРЕБРО
В ПРЕДЕЛАХ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ
(ЧУКОТСКИЙ АО) 309

Ножкин А. Д. , Лиханов И. И.
ЗОЛОТО В ПОРОДАХ ДОКЕМБРИЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА 312

Ойцева Т. А., Мизерная М. А., Кузьмина О. Н., Бисатова А. Е., Агеева О. В.
ЗОЛОТОРУДНЫЕ СТРУКТУРЫ ЮЖНОГО АЛТАЯ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)..... 315

Окулов А. В., Черных А. И.
ВОЗРАСТ ФОРМИРОВАНИЯ РУД И КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ КИЗАССКОГО
РУДНОГО ПОЛЯ (ШАМАНСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ, ЗАПАДНЫЙ САЯН)
ПО ДАННЫМ $^{40}AR/^{39}AR$ ИЗОТОПНОГО ДАТИРОВАНИЯ 317

Ошкин А. Н., Турчков А. М., Воронцов В. В.
СЕЙСМОРАЗВЕДКА ДЛЯ ЗАДАЧ ТПИ 320

Пак Н. Т., Ивлева Е. А.
СКАРНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В ТЯНЬ-ШАНЕ (КЫРГЫЗСТАН)..... 323

Пархачев А. А., Глухов Ю. В.
ПИРОПОВЫЕ СПУТНИКИ АЛМАЗОВ ЦИЛЕМСКОГО ПОДНЯТИЯ
НА СРЕДНЕМ ТИМАНЕ..... 326

Писарев П. А., Куприянова Т. Н., Козлов Д. С., Власов Е. А., Колова Е. Е.
ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУД И ФОРМАЦИОННАЯ
ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУЛЬБАТКАН 328

Плотинская О. Ю., Азовскова О. Б., Власенко Н. С., Булатов В. А., Ровнушкин М. Ю.
ВЫСОКОРЕНИЕВЫЙ МОЛИБДЕНИТ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ГУМЕШЕВСКОЕ И САЛАВАТ (УРАЛ) 331

Подмогов Ю. Г. , Керцман В. М. , Мойланен Е. В., Савинова И. А.
ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ РУДНЫХ ЗАДАЧ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ..... 334

Подмогов Ю. Г., Керцман В. М., Мойланен Е. В., Савинова И. А.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПЕРЕЖАЮЩИХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ КОМПЛЕКСОМ ЭКВАТОР
ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ..... 337

Попов И. В. , Алексеев Я. В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР
ПО «ЗАЯВИТЕЛЬНОМУ ПРИНЦИПУ» НА АЛМАЗЫ,
БЛАГОРОДНЫЕ И ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ В 2024 Г. 340

Прийменко В. В., Гагиева А. М., Ползуненков Г. О., Макаров М. И., Соловьев В. Ю. , Валл М. В.
О ВОЗРАСТЕ ГРАНОДИОРИТОВОГО ШТОКА РУДНОГО ПОЛЯ Au-Ag
АЛУНИТ-КВАРЦЕВОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ТУРОМЧА
(ОХОТСКО-ЧУКОТСКИЙ ВУЛКАНОГЕННЫЙ ПОЯС) 342

Проскурнин В. Ф., Савичев А. А., Курапов М. Ю., Проскурнина М. А., Леонтьев В. И.
ЖЕЛЕЗООКСИДНЫЕ С МЕДЬЮ И ЗОЛОТОМ (IOCG) ПОЯСА
СЕВЕРНОЙ ЗЕМЛИ И ТАЙМЫРА 345

Раков Л. Т., Прокофьев В. Ю., Коваленкер В. А., Зорина Л. Д.
СВЯЗЬ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В КВАРЦЕ
С УСЛОВИЯМИ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ 347

Расулов Ш. М., Сайитов С. С.
ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД
И РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЛОЛАЗОР 349

Раткин В. В., Чугаев А. В., Александров И. А., Лебедев А. Ю.
ОРОГЕННЫЙ W-Cu-Sn РУДНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ РЕЗЕРВУАР
БАДЖАЛЬСКОГО ТЕРРЕЙНА (СЕВЕРНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ),
ПО ДАННЫМ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗОТОПНОГО
АНАЛИЗА СВИНЦА 352

Ратьков С. С. (RatkovSS@alrosa.ru), Забелин А. В.
ОПЫТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИС
«ЕДИНОЕ ГЕОЛОГО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО»
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМ МАССИВОМ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ 354

Рахимов Н. И., Юсупов У. Х., Бекчанов Ж. И.
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ПРОДУКТОВ МАНТИЙНОГО
МАГМАТИЗМА КУЛЬДЖУКТАУ 357

Рахматуллаев Ф. Ф., Касимова Ш. Р., Мовланов Ж. Ж., Марипова С. Т.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОЛОВЯННОГО ОРУДЕНЕНИЯ
В ИЗВЕСТНЯКАХ ЗИРАБУЛАК-ЗИАЭТДИНСКОГО
ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА 359

Рогизный В. Ф., Кузин И. Н.
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ВОСТОЧНО-ХИЛАКСКОЙ ПЛОЩАДИ
НА ПОИСКОВОЙ СТАДИИ СКВАЖИНАМИ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ
ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК 361

Рыбин И. В.
МЕТАМОРФИЗМ ХОТОРЧАНСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 364

Рыбин И. В.
СТРАТИГРАФИЯ И ВУЛКАНИЗМ ХОТОРЧАНСКОГО
ЗОЛОТОНОСНОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 366

Саблуков С. М.
ДЕТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ
КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ УТОЧНЕНИЯ
МЕТОДИКИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА АЛМАЗЫ 369

Савва Н. Е., Волков А. В., Кузнецов В. М.
ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛОГЕНИИ РАННИХ ЭПОХ РАЗВИТИЯ
ОМОЛОНСКОГО КРАТОННОГО ТЕРРЕЙНА НА МИНЕРАЛОГИЮ
И ГЕОХИМИЮ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ
ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 372

Савельев А. Д.
РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ
НА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКОНЕЧНОСТИ АНАБАРСКОГО ЩИТА 374

Савичев А. А., Мишулович П. М., Вольных Д. В., Аристов В. В., Антащук К. М.
НОВЫЙ ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНЫЙ ОБЪЕКТ HS-ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ТИПА НА ЧУКОТКЕ 376

Садиров Р. М., Карабаев М. С., Амиров Э. М.
МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОР АУМИНЗА-БЕЛТАУ И ИХ ТИПОМОРФНЫЕ МИНЕРАЛЫ 379

Самсонов Н. Ю., Моралев Г. В.
ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОГНОЗНЫХ ЦЕН НА ЗОЛОТО ПРИ ОЦЕНКЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ 381

Сейров Ф. Е.
СТРУКТУРНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕСЧАНКА ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК 384

Сейтмуратова Э. Ю., Аршамов Я. К., Даутбеков Д. О., Даулетулы А., Бакдаулеткызы С.
МЕТАЛЛОГЕНИЯ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ЖОНГАРО-БАЛХАШСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ 387

Сенкевич В. С., Кетров А. А.
МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ПОЛИМЕТАЛЛОВ И ЗОЛОТА В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ) 389

Серавина Т. В., Кузнецов В. В.
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИПА VMS БОЛЬШОГО АЛТАЯ 391

Сидорова Н. В., Кайгородова Е. Н.
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И МОРФОЛОГИИ СУЛЬФИДОВ С «НЕВИДИМЫМ» ЗОЛОТОМ ИЗ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОЙ ОСЕТИИ НА ПРИМЕРЕ БАЙКОМСКОЙ И ВОСТОЧНО-ХИЛАКСКОЙ ПЛОЩАДЕЙ ПО ДАННЫМ ЛА-ИСП-МС 393

Симаков С. К., Стегницкий Ю. Б.
МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ КРУПНЫХ АЛМАЗОВ В КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБКАХ 396

Степанов В. А., Мельников А. В.
ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ГРАНИТНЫХ МАССИВАХ НАИБОЛЕЕ ПРОДУКТИВНЫХ РУДНО-РОССЫПНЫХ УЗЛОВ ПРИАМУРСКОЙ ПРОВИНЦИИ 398

Сурин Т. Н.
КОЛЧЕДАНОНОСНАЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (УРАЛЬСКИЙ ТИП): ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУДООБРАЗОВАНИЯ И ИСТОЧНИКИ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА 401

Сухарев А. Е., Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Хазов А. Ф.
НОВЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТИП МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ 403

Тарасенко А. А.
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ СКЛАДЧАТОСТЬ ГРЕМУЧИНСКОЙ ПЛОЩАДИ И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ РУДОНОСНЫХ ЗОН УПРЯМОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ 405

Тарасов А. С., Захаров А. П., Карпухина М. В., Рогизный В. Ф., Толкушкина Е. А., Тучина М. В., Витковская Л. И., Родкин М. С.
ИТОГИ АПРОБАЦИИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ (ЗОЛОТО, СЕРЕБРО, МПГ) И ЦВЕТНЫХ (НИКЕЛЬ, МЕДЬ, СВИНЕЦ, ЦИНК) МЕТАЛЛОВ В 2024 Г. И АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МСБ ЗА ПЕРИОД 2014–2024 ГГ. 408

Тимкин Т. В., Ворошилов В. Г., Мартыненко И. В., Молукпаева Д. К.
ЗОЛОТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ СОХАТИНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПРИКОЛЫМСКОЕ ПОДНЯТИЕ, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ) 410

Тарских О. В., Никитина Ю. Г.
ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ УЧАСТКА БОЛОТНЫЙ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ 412

Толстов А. В., Томшин М. Д.
НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЧАРО-СИНСКОЙ ЗОНЫ 415

Тошметов У. Х., Ежков Ю. Б.
РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДАЙКОВОЕ (W, Mo, Bi, Au, Te), ПСКЕМСКИЙ ХРЕБЕТ, ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН 417

Тошпулатов Ш. Т.
ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИЕ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТЕБИНБУЛАК (УЗБЕКИСТАН) 420

Тригубович Г. М.
ИНДУКЦИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ (ИТ) 422

Трушин С. И., Кириллов В. Е., Иванов А. И., Иванов В. В.
НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОЛОГИИ И ЗОЛОТОМУ ОРУДЕНЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛБАЗИНО (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 423

Тюкова Е. Э., Ворошин С. В., Прокофьев В. Ю., Викентьев И. В., Абрамова В. Д., Таскаев В. И.
ВИСМУТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ОЛОВОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЕ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛ.) 426

Уварова Е. А., Вахрушев А. М. , Мухина Г. Ю., Федоренко С. В.
ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ФГБУ «ЦНИГРИ» 429

Устинов С. А., Петров В. А., Свечеревский А. Д., Кочкин И. А.
СОЗДАНИЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО ПОЯСА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМАСШТАБНОЙ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЛИНЕАМЕНТОВ 433

Федоров Д. Т.
ТРЕНДЫ МИРОВОГО РЫНКА МЕДИ 435

Филатова Л. К., Филатов Е. И.
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КРЕМНЕКИСЛЫХ ВУЛКАНИТОВ КОЛЧЕДАНОНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ ФАНЕРОЗОЯ (НА ПРИМЕРЕ РУДНОГО АЛТАЯ) 437

Филиппова С. С., Сабанский А. Г.
СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРБИИ 439

Фридовский В. Ю.
МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОЛОТА ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИХ ОРОГЕННЫХ ПОЯСОВ ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОГО КРАТОНА 441

Фридовский В. Ю., Кудрин М. В., Полуфунтикова Л. И.
КРИТЕРИИ КРУПНООБЪЕМНОЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ЯНО-КОЛЫМСКОМ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОМ ПОЯСЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК ЯКУТИИ) 443

Хазиахметов Э. И., Якубчук А. С.
ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА МЕДНО-ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО РУДНОГО УЗЛА МАЛМЫЖ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 445

Хасанов И. М., Михалицына Т. И., Макарова Д. В.
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ СИСТЕМ ЧАЙ-ЮРЬИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (БЕРЕЛЕХСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ) 448

Холматов У. А., Халилов Ф. Ф., Аблакулов И. У., Абидова Н. А.
ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ОПРОБОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯНГИ ДАВОН (ЗАПАДНЫЙ УЗБЕКИСТАН) 450

Холмуродов Т. Т. , Султонов П. С.
ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОР КУЛЬДЖУКТАУ 453

Хубанов В. Б., Елбаев А. Л., Хубанова А. М.
ВОЗРАСТ PZ_3-MZ РУДНО-ПОРФИРОВЫХ ГРАНИТОИДОВ И ИХ СООТНОШЕНИЕ С МОЩНОСТЬЮ КОРЫ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ 455

Черенков В. Г., Корнилова В. П., Герасимова М. В.
КИМБЕРЛИТЫ И КАРБОНАТИТЫ ПРИАНАБАРЬЯ (МАЙМЕЧА-КОТУЙСКАЯ, КУОНАМСКАЯ, УДЖИНСКАЯ ПРОВИНЦИИ) 455

Черных А. И.
ВОЗРАСТНЫЕ ЭПОХИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ 458

Чесалов Л. Е., Рыбаков А. М.
ОПЫТ ФГБУ «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ» ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 462

Чечко В. А.
ИЗУЧЕНИЕ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ РОССЫПЕЙ В ЮГО-ВОСТОСНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ 463

Чижова И. А., Волков А. В., Шелястина Е. В.
ЛОГИКО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ТИПИЗАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 466

Шадчин М. В., Мартынова А. Д.
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ЦИРКОНОВ АКСУГСКОГО ИНТРУЗИВНОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ТУВА) 468

Шатилова Л. В., Столяренко В. В., Алферова В. А., Минаева С. В., Минаков А. В.
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТИПОМОРФНЫМ ОСОБЕННОСТЯМ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ЭЛЮВИАЛЬНО-ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ЯКОКУТСКОЙ ВУЛКАНОСТРУКТУРЫ 471

Щукин В. С., Агашева Е. В.
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ АЛМАЗОВ НА СЕВЕРЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ 474

Юричев А. Н.
ИНТЕРМЕТАЛЛИД $(Rh,Pt)_{2-3}ZN$ ИЗ БОРУССКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (ЗАПАДНЫЙ САЯН) – НОВЫЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД?..... 477

Яковлев И. В., Мальковец В. Г., Гибшер А. А., Милаушкин М. В.
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ ПОД МИРНИНСКИМ КИМБЕРЛИТОВЫМ ПОЛЕМ ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВОВ ГРАНАТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ 480

Ли Э. А. Т.
ПРИМЕНЕНИЕ БЕЛИТОВОГО ШЛАМА АГК (АЧИНСКИЙ ГЛИНОЗЕМНЫЙ КОМБИНАТ) В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПОЛУЧЕНИЯ ПИГМЕНТА ТИПА «ТАУП» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРАСКИ ТИПА «МУЛИНО»..... 482

Нуржанов Г. Ж., Ниценко П. А., Гусев А. В.
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗВЕДКЕ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОКУРКОЙ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)..... 484

Макаров В. А., Шадчин М. В., Лосев В. И.
ГЕОЛОГО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ АК-СУГСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОРФИРОВЫХ ОБЪЕКТОВ В СТРУКТУРАХ ЗАПАДНОГО И ВОСТОЧНОГО САЯН..... 488

Молчанов В. П., Голич А. Н.
БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АРИАДНЕНСКОГО МАССИВА УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ 490

Родкин М. С., Тарасов А. С., Внуков Д. А.
ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ БУРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ РАЗВЕДКИ ШИШИМСКОЙ ГРУППЫ РОССЫПЕЙ (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)..... 492

Юсупова А. В., Плотинская О. Ю.
ТУРМАЛИНИЗАЦИЯ КЛЮЧЕВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (В. ЗАБАЙКАЛЬЕ): ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ 494

Tang Huan, Zhang Hongfu, Chen Anping
STUDY ON EARLY PALEOZOIC ULTRAHIGH-PRESSURE METAMORPHISM OF XIARIHAMU AREA OF THE EAST KUNLUN OROGENIC BELT..... 497

Yang Bo, Zhang Dandan, Tang Huan
APPLICATION OF CHINESE GAOFEN (GF) SERIES REMOTE SENSING DATA IN GEOLOGICAL SURVEY..... 497

ЦЕНТР ПОДБОРА ПЕРСОНАЛА

8 800 250-53-18
HR@GVGOLD.RU
WWW.GVGOLD.RU

GV GOLD

ТОП 10
ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩИХ КОМПАНИЙ РОССИИ

4 ГОКа
С ОБЩЕЙ МОЩНОСТЬЮ ФАБРИК 10,5 МЛН Т РУДЫ В ГОД



9 тонн
ЗОЛОТА В ГОД

ЗАПАСЫ P&P
5,3 млн
УНЦИЙ ЗОЛОТА

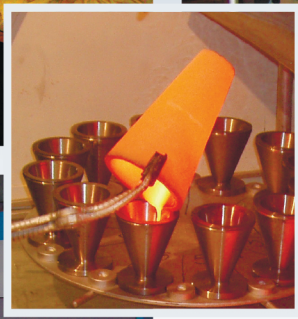
РЕСУРСЫ M,I&I
10,8 млн
УНЦИЙ ЗОЛОТА

Первое золото и запуск ГОКа «СВЕТЛОВСКИЙ» на ВЭФ-2025

ГАРАНТИЙНЫЕ









30 ЛЕТ
РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

**ОТ КАЛИНИНГРАДА ДО ВЛАДИВОСТОКА,
ОТ СОЧИ ДО КАМЧАТКИ**

т./ф: (495) 757-51-20

www.termit-service.ru
e-mail: info@termit-service.ru



КАПЕЛЬ







СЕРИЯ КАМА





ОБЯЗАТЕЛЬСТВА

РАБОЧИЕ МЕСТА ДЛЯ ПРОБИРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ЗОЛОТА



СЕРЕБРА

(ПРОБИРНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ)

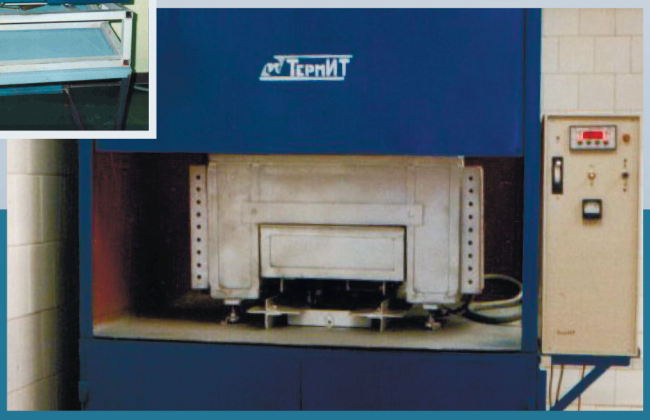
ЗАО НПФ «ТЕРМИТ» – СОЗДАТЕЛЬ И ПОСТАВЩИК ОБОРУДОВАНИЯ ПОД КЛЮЧ

- КОМПЛЕКСЫ ОБОРУДОВАНИЯ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ
- КОМПЛЕКТУЮЩИЕ
- ОКАЗАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ
- КАПЕЛИ СЕРИИ КАМА









GEO Technologies

+7 499 344 04 24
info@geotechnologies.ru
www.geotechnologies.ru



АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛУГИ


АЛМАЗЫ


ЗОЛОТО


ВОДА


ПОЛИМЕТАЛЛЫ

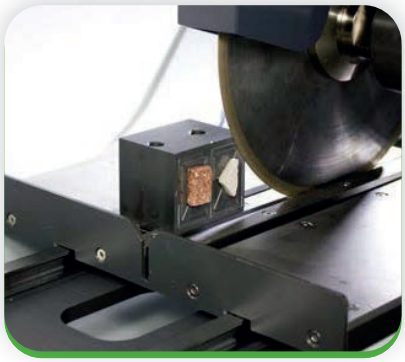
«Загляни в глубь природы, и тогда ты все поймешь лучше»
Альберт Эйнштейн

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

XRF-АНАЛИЗ



ПРОБОПОДГОТОВКА



МИКРОСКОПИЯ



- **Опыт работы более 10 лет**
  Люкон ПРО — надежный и проверенный партнер
- **Официальный дистрибьютор**
  Более 15 заводов-изготовителей
- **Выставочный зал в Москве**
  Где у вас есть возможность изучить приборы вживую
- **Точные сроки поставок**
  Внимательное сопровождение каждой поставки
- **Индивидуальный подход**
  Наши сотрудники – специалисты по подбору оборудования и сервисные инженеры имеют техническое образование и помогут подобрать оборудование в соответствии с вашими требованиями
- **Присутствие в крупнейших городах**
  Офисы в Москве, Санкт-Петербурге, региональные представительства
- **Ключевые направления**
  Аналитическое оборудование и неразрушающий контроль
- **Полный цикл сопровождения**
  Включает подбор оборудования, калибровку и пуско-наладочные работы, обучение сотрудников на предприятии
- **Квалифицированные специалисты**
  Помогут подобрать оборудование в соответствии с вашими запросами
- **Сервисное обслуживание**
  Обеспечим полное техническое обслуживание Вашего оборудования на протяжении всего срока эксплуатации

ЛЮКОН
WWW.LUCON.PRO

+7 (495) 989-56-80
INFO@LUCON.PRO
МОСКВА, ВАРШАВСКОЕ ШОССЕ, 1/6 (ОФИС А203)

ПОЛИМЕТАЛЛ

«ПОЛИМЕТАЛЛ» — ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В РОССИИ



> 12 000
сотрудников

8
регионов присутствия

27 лет
в горнорудной отрасли

Компания выполняет полный цикл работ по освоению рудных месторождений: от геологоразведки и проектирования до строительства и эксплуатации горнодобывающих и перерабатывающих предприятий

Подробнее о компании и вакансиях

+7 (411) 369-90-00 доб. 4-50-00
Эл. почта: vgre@alrosa.ru
678174, Республика Саха (Якутия),
г. Мирный, ул. Вилюйская 7б



Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)

Выполняем весь комплекс ГРР на алмазы и золото -
от проектирования до защиты запасов







