



ЦНИГРИ

МОСКВА 2021

II Молодежная научно-образовательная конференция

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ – ОТ ПРОГНОЗА К ДОБЫЧЕ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



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

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ – ОТ ПРОГНОЗА К ДОБЫЧЕ

II Молодежная научно-образовательная конференция ЦНИГРИ
(17–19 февраля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»)

Москва
ЦНИГРИ
2021

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ПОЗИЦИИ И УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТО-ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЮЖНОМ БУКАНТАУ, УЗБЕКИСТАН

В статье приводятся геолого-структурные позиции, рудоконтролирующие признаки и факторы размещения, форма рудных тел золото-вольфрамового оруденения гор Букантау. На основе геологических материалов рудных объектов Южного Букантау были проанализированы факторы проявления золота, вольфрама, серебра и других металлов и изложены особенности поисковых работ на перспективных площадях.

Ключевые слова: поиски месторождений и залежей, геологоразведочные работы, золото, вольфрам, серебро, медь, запасы, минерализованные зоны.

В отношении рудоносности регион привлек внимание древних рудокопов еще в середине IX–XIII веков (древние выработки на медь). В современное время горное поднятие Окжетпес стало известно с 1954 г., когда при геологической съемке масштаба 1:100 000 (Пятков, 1956) в кварцевой жиле на западе площади была обнаружена медная минерализация (участок Медный) [4].

Окжетпесское рудное поле расположено на южном окончании Бозтау-Кокпатас-Окжетпесской брахиантиклинали, прослеженной в северо-западном направлении более чем на 60 км. Границами рудного поля следует считать: с юга – основной шов Янгиказганского разлома; с севера – Северо-Окжетпесский разлом (частично подтвержденный данными бурения (Шапкин, 1974)); с востока – разлом северо-восточного простирания, проходящий между терригенными отложениями среднего карбона и породами кокпатасской свиты; на западе граница рудного поля условна и проходит, по-видимому, западнее 9-й минерализованной зоны [1].

Рудоконтролирующие прогнозно-поисковые признаки рудообразующих систем конкретизированы с применением рангового метода исследования для иерархических уровней: металлогеническая провинция (Узбекистан) – рудный район (Южно-Букантауский горнорудный район) – рудное поле (Окжетпесское горное поднятие) – месторождения (Окжетпес, Барханли, Сардор и др.) [1–4] (рис. 1).

Схожесть факторов локализации и рудоконтролирующих признаков золотых и редкометалльных месторождений обусловлена прост-

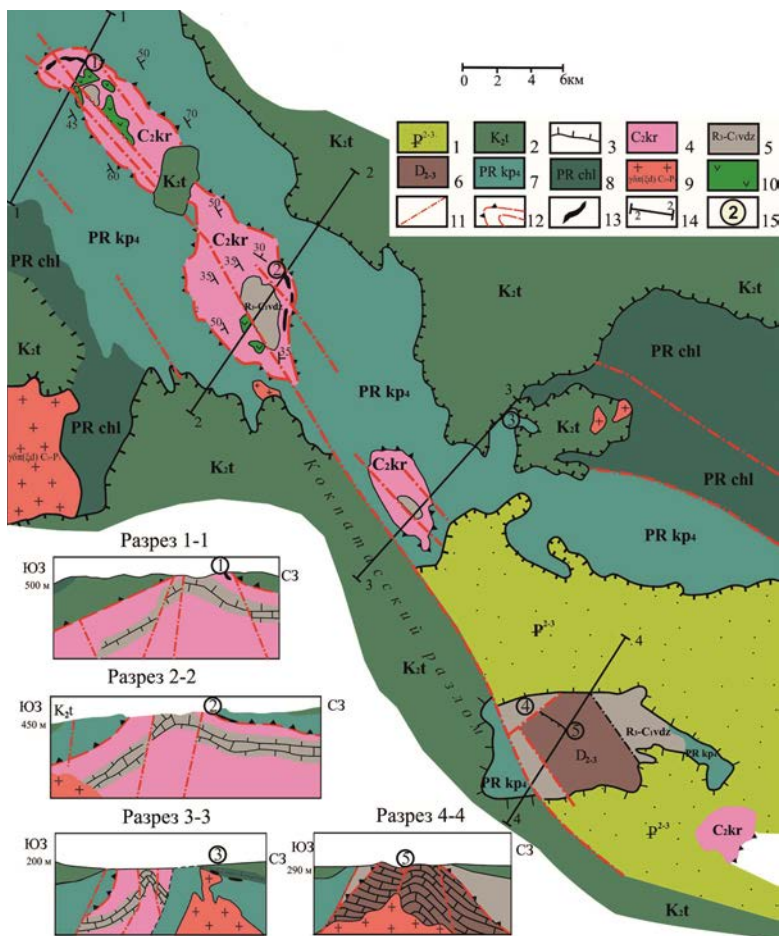


Рис. 1. Схематическая геолого-структурная карта гор Центральный Букантау:

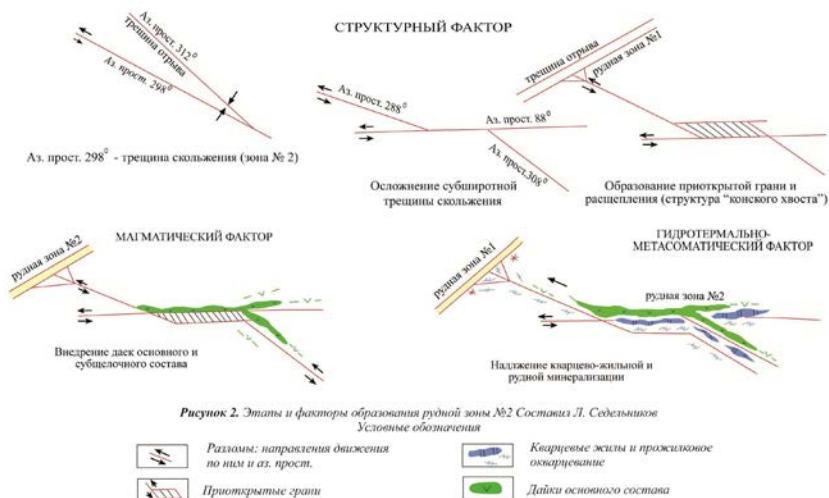
1 – глины, линзы алевролитов; 2 – глины с прослоями песчаников; 3 – выходы до-мезозойского фундамента; 4 – туфовые образования, переслаивающиеся с песчаниками, сланцами (кыркудукская свита); 5 – известняки (джускудукская свита); 6 – доломиты, известняки (окжетпесская свита); 7 – микрокварциты, кремни, доломиты, метапесчаники (кокпатасская свита); 8 – метапесчаники, сланцы кварц-серицитовые, гравелиты, кремни (чолчаратауская свита); 9 – гранодиориты и кварцевые монцодиориты; 10 – серпентиниты, габбро-амфиболитовые; 11 – разломы линейного типа; 12 – надвиги, выявленные, предполагаемые; 13 – позиции рудных тел; 14 – линии разрезов; 15 – месторождения: Джелсай (1), Кокпатас (2), Саутбай (3), Окжетпес (4), Зона №2 (5)

ранственной близостью, местами их совмещенностью в едином пространстве. Общими для них являются время образования (C_3-P_1) и структурно-тектонические условия локализации преобладающей части руд месторождений. Изменение вещественного состава и круга полезных компонентов (главных и второстепенных) оруденения в них происходит по мере удаления от потенциальных источников гидротермальных агентов (магматических тел, глубинных разломов, зон повышенной проницаемости, сопряжения разноориентированных дизъюнктивных нарушений и др.), смены литологических разновидностей пород и специфики их метасоматических преобразований. Эта упорядоченность в локализации золотого и вольфрамового оруденения относительно отдельных центров благоприятного сочетания рудоконтролирующих факторов, позволяет считать месторождения, расположенные в пределах отдельных рудных узлов, закономерными звеньями единых гидротермальных колонн (систем), отличающихся зональной последовательностью рудообразования.

Анализ геологических материалов по рудным объектам Южного Букантау указывает на ведущую роль глубококорневого позднегерцинского гранитоидного магматизма в образовании промышленных концентраций золота, вольфрама, серебра и др. металлов. Это свидетельствует о единстве генезиса и общности структурно-тектонических условий локализации рудных объектов, рудно-формационная принадлежность которых в пределах рассматриваемой территории преимущественно контролируется литологическим составом рудовмещающей среды и спецификой ее метаморфических и метасоматических преобразований [5]. В зависимости от сочетания этих факторов, а также по ведущему компоненту, определяющему промышленную значимость объектов, в пределах Южного Букантау намечаются 5 рудно-формационных типов гипогенного оруденения:

1. Вольфрам-апоскарново-скарноидный золотосодержащий;
2. Вольфрам-полевошпат-кварцевый золотосодержащий;
3. Малосульфидный золото-кварц-сульфидный;
4. Умеренно-сульфидный золото-сульфидно-кварцевый;
5. Существенно-сульфидный сульфидно-кварцевый золотосодержащий [2].

В Окжетпесском рудном поле преимущественно распространены месторождения умеренно-сульфидной золото-сульфидно-кварцевой формации, вмещающей средой для которых служат осадочно-метаморфические образования кокпатасской свиты спорного протерозойского возраста, карбонатные отложения среднего–верхнего девона, нижнего и среднего карбона и молассоидные образования среднего–верхнего карбона.



В пределах рудного поля выделяется группа субширотных и северо-западных долгоживущих разломов (в т.ч. Западный), контролирующих размещение интрузивных образований и имеющие большое металлогеническое значение. Заложение глубинных северо-западных разломов, ограничивающих приподнятый блок, происходило в раннеорогенный этап становления основной складчатой структуры рудного поля, связанной с воздыманием гранитоидных масс. Максимум рудоотложения приходится на многократно-преобразованные породы, с наложением одних фаций гидротермально-метасоматического изменения на другие. Такие зоны характерны для пересекающихся разломов «в клиновидных структурах» (рис. 2).

Форма рудных тел сложная, линзовидная, с раздувами и пережимами. Раздувы мощностей наблюдаются в узлах сопряжений разнонаправленных нарушений, особенно благоприятных при наличии экранирующих поверхностей, таких как граница известняки-сланцы или известняки-дайка (в лежачем боку). Часто в этих позициях прослеживается главный тип руд – интенсивно преобразованные метасоматиты серицит-кварцевого состава с карбонатным цементом, замещающимся кварцем. Из-за отсутствия четких геологических границ с безрудной вмещающей средой рудные тела оконтуриваются по данным опробования.

Анализ данного материала с составленной геологической картой и детальными врезами к ней позволил обосновать перспективы проведения геологоразведочных работ в пределах четырех ранее известных (№№ 3, 5, 6 и 6а) и в трёх новых Минерализованных зонах (№№ 12,

13 и 14). По ним были разработаны предложения по очередности их опоискования и использованию отдельных методов.

Результаты исследований подтвердили высокую эффективность примененных геолого-структурных и геохимических методов, с целью определения перспектив отдельных благоприятных позиций Минерализованных зон в пределах плохо обнаженных, низкогорных территорий. Для постановки поисковых работ были выделены 7 локальных перспективных площадей на золотое оруденение. Их отличительной чертой являются:

- незначительная эродированность прогнозируемого золотого оруденения и его зоны окисления;
- несмотря на небольшие размеры оконтуренных позиций (десятые и первые кв²), наличие значительных перспектив развития прогнозируемого золото-сульфидно-кварцевого оруденения на глубину;
- единый, апокарбонатный природный тип оруденения с имеющимися в Окжетпесском рудном поле промышленными золоторудными месторождениями Сардор, Барханли, 2-я Зона и др.;
- отсутствие пространственного дублирования (совмещения) с действующими объектами поисково-оценочных работ;
- возможность постановки целенаправленных поисковых работ в пределах принципиально новых (Минерализованные зоны №№ 13 и 14) и неохваченных оценкой ресурсов флангов известных (Минерализованные зоны №№ 3, 5, 6, ба, 12) площадей.

Список литературы:

1. Пирназаров М.М. Состояние, размещение и предпосылки развития минерально-сырьевой базы золота Республики Узбекистан // *Geologiya va mineral resurslar*. – Ташкент, 2007. – № 5. – С. 81–89.
2. Пирназаров М.М., Седельников Л.В., Авалбоев М.Т., Ражабов А.Р. Рудно-формационные типы, условия образования и размещения золоторудных и золотосодержащих месторождений и проявлений Саутбай-Сарытауского рудного узла // *Приоритетные направления геологического изучения недр, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в Республике Узбекистан : материалы республиканской НТК*. – Ташкент : ИМР, 2010. – С. 109–111.
3. Пирназаров М.М., Пирназаров Маъмур, Мовланов Ж.Ж., Ражабов А.Р. Прогнозно-поисковые модели и комплексы золотосодержащих вольфрамовых, серебряных и медных месторождений и проявлений Саутбай-Сарытауского рудного узла // *Geologiya va mineral resurslar*. – Ташкент, 2012. – № 6. – С. 30–39.

4. Седельников Л.В., Тусметов А.А., Жумаев С.О., Тураев Т.Н. Перспективы расширения минерально-сырьевой базы окисленных золото-содержащих руд в месторождениях гор Центрального и Южного Букантау // *Konchilik xabarnomasi*. – Ташкент, 2006. – № 24. – С. 3–6.
5. Ушаков В.Н. Металлогения вольфрама Западного Узбекистана. – Ташкент : ФАН, 1991. – 184 с.

Алферова В.А., Рябошапко А.Г. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНОГО ЗОЛОТА, ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ ЗОН ДРОБЛЕНИЯ ВЕРХНЕЯКОУТСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Верхнеякоутское рудное поле расположено в Алданском районе Республики Саха (Якутия). Район работ охватывает водораздельные пространства рек Якоkit, Малая Юхта и Левый Ыллымах [2].

В геологическом строении Верхнеякоутского рудного поля принимают участие терригенные отложения юры. Золотое оруденение выявлено в мезозойских интрузивах и в юрской терригенной толще, субвертикальных минерализованных зонах дробления и в пологозалегающих рудных телах, в углистых алевролитах, вблизи крутопадающих зон брекчирования и в зонах оруденелых тектонических брекчий. Оруденение относится к золото-сульфидно-кварцевой формации, характерной для месторождений Лебединского рудно-россыпного узла.

По материалам, полученным в ходе выполнения полевых работ 2019 года, была изучена характеристика рудного золота из зон дробления на различных участках Верхнеякоутского рудного поля («Юрбетский», «Южно-Юрбетский» и «Якоутский»).

Зона дробления на участке Юрбетский, представлена дресвяно-щебнистым материалом бурого, ржаво-бурого цвета. Обломки сложены лимонит-кварц-полевошпатовыми метасоматитами, желто-бурого, бурого цвета. Текстура массивно-кавернозная. Размер обломков в основном до 3 см, но отмечаются обломки 10×15 см. Породы представляют собой обохренный, выветрелый агрегат, с включениями, прожилками и просечками кварца. Мощность прожилков кварца достигает 6 см.

Зона дробления Южно-Юрбетского участка, имеет ССВ простирание, вскрыта в канаве К-30, представлена песчано-дресвяным материалом ржаво-бурого цвета. Обломки сложены песчаниками серовато-бу-

рого, бурого цвета. Размер обломков в основном до 4 см в поперечнике. Породы представляют собой обохренный, выветрелый агрегат, с включениями и прожилками кварца. Мощность прожилков кварца достигает 1–1,5 см.

Зона дробления участка Якокутский, мощностью порядка 2–3 м, субширотного простирания, вскрыта канавой К-12, расположенной в северо-западной части участка. Зона представлена рыхлой массой бурого цвета, сложенной песчано-дресвяным материалом. Обломки сложены окварцованными песчаниками, светло-серого, серого цвета. Размер обломков в основном до 4 см, но иногда встречаются обломки 7–10 см. Породы представляют собой обохренный, выветрелый агрегат, с включениями прожилков друзового кварца до 1 см. Кварц – прозрачный, полупрозрачный, часто покрыт гидроокислами железа и марганца. Сульфидизация в обломках достигает 15–17 %.

В ходе выборочной специализированной документации бульдозерных канав был отобран ряд протолочных проб. Опробование проводилось по интервалам, где визуально выделялись минерализованные зоны (сульфидизация, интенсивная лимонитизация и зоны дробления).

Характеристика золота, полученного на различных участках («Юрбетский», «Южно-Юрбетский» и «Якокутский») приводится на основании его изучения в гравитационных концентратах. В результате исследований золота под бинокуляром выявлены различные морфологические типы золота. После чего оно выборочно было отправлено на рентгеноспектральный микроанализ (Cameca SX50) и электронную микроскопию.

Из протолочной пробы по зоне дробления участка Юрбетский было получено золото количеством более 500 знаков. Золото светло-желтого (10 %), желтого (90 %) цвета. Максимальный размер составляет 0,8 мм, минимальный – менее 0,1 мм. Морфология золотин различна: комковидные золотины составляют порядка 25 %, пластинчатые – 8 %, интерстициальные – 27 %, кристаллы – 10 %, дендриты (сростки кристаллов) – 20 %, губчатые – 10 %. С золотинами наблюдаются сростки кварца, в примазках гидроокислы Fe и Mn. Наличие поверхностных образований составляет 40–45 %. Характер краев золотин неровный, иногда острый, но также встречается золото с ровными краями. Поверхность золотин шагреневая, мелкопористая, гладкая. В характере поверхности самородного золота наблюдаются признаки первичной кристаллизации (ступени роста, ступенчато-слоистый рельеф).

По данным рентгеноспектрального микроанализа, пробность золота колеблется от 696,3 до 986,4 %, что соответствует градации от низкопробного до весьма высокопробного [1].

Для золота из зоны дробления характерно наличие теллуридов серебра, таких как гессит (Ag_2Te), и петцит (Ag_3AuTe_2). Также встречаются незначительные элементы-примеси As, Sb, Cu, Bi. Теллуриды серебра, (гессит и петцит), образуются, как правило, в результате гидротермального минералообразования на заключительной стадии, при низких температурах.

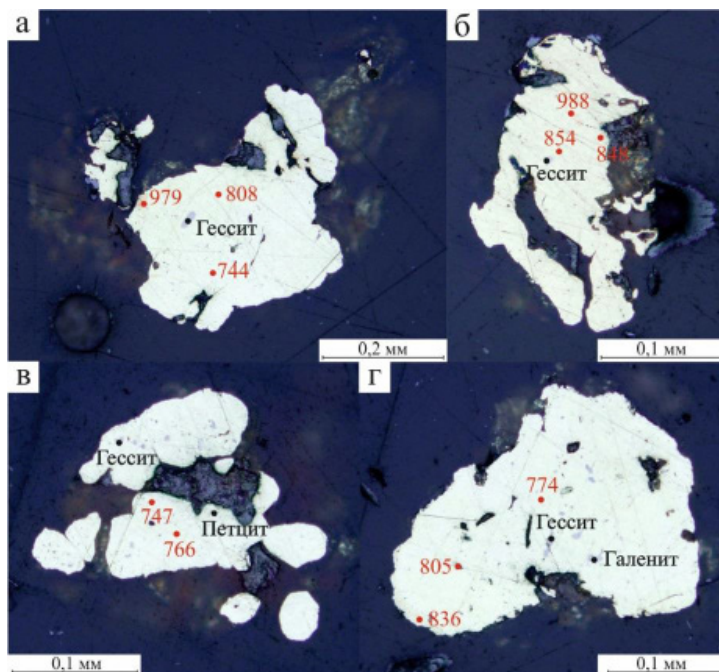
По Южно-Юрбетскому участку отобрано золото из зоны дробления, в количестве 47 знаков. Основная масса представлена металлом желтого цвета, на долю которого приходится 80 %, на светло-желтое не более 5 % и на темно-желтые разновидности около 15 %. Максимальный размер золотин составляет 0,25 мм, минимальный – менее 0,1 мм. Морфология золотин различна: комковидная – 3 %, пластинчатая – 10 %, интерстициальная – 67 %, дендриты (сростки кристаллов) – 20 %. Наличие поверхностных образований составляет 30–35 %, в примазках гидроокислы Fe и Mn. Зачастую гидроокислы Fe и Mn образуют корки. Характер краев золотин неровный, иногда острый, но также встречается золото с ровными краями. Поверхность золотин шагреновая, мелкопористая.

По данным электронно-микроскопического исследования установлено, что некоторые золотины представляют собой хорошо ограниченные кристаллы, правильные или искаженные. В некоторых из них видна последовательность наложения (условия роста кристалла), гладкая, ступенчатая, щелевидно-ячеистая поверхность. Ступенчатая поверхность и сохранные элементы гранных форм кристаллов свидетельствуют о первичной кристаллизации золота.

Исходя из полученных результатов рентгеноспектрального микроанализа, пробаность золота колеблется от 707,6 до 993,4 %, что соответствует грации от относительно низкопробного до весьма высокопробного [1].

Для золота зоны дробления К-30 участка Южно-Юрбетский, также, как и для золота из зоны дробления К-24 по участку Юрбетский, характерно наличие теллуридов серебра, таких как гессит и петцит, также встречаются незначительные элементы-примеси As, Sb, Cu, Bi.

Из зоны дробления отобрано золото в количестве 456 знаков. Цвет золота: светло-желтый (10 %), желтый (70 %), темно-желтый (20 %). Максимальный размер золотин составляет 0,9 мм, минимальный – менее 0,1 мм. Морфология золотин различна: комковидная – 28 %, пластинчатая – 10 %, интерстициальная – 47 %, дендриты (сростки кристаллов) – 15 %. С золотинами наблюдаются сростки кварца, в примазках гидроокислы Fe и Mn. Наличие поверхностных образований составляет 50–55 %. Характер краев золотин неровный, иногда острый, но также встре-



Микрофотографии золота с включениями гессита, петцита и галенита в золотине:

а – уч. Юрбетский; б – уч. Якокутский; в, г – уч. Южно-Юрбетский; числовые значения – пробность золота

чается золото с ровными краями. Поверхность золотин гладкая, ступенчатая, шагреневая, мелкопористая.

По данным электронно-микроскопического исследования установлено, что некоторые золотины слабо-, полу- или средне-окатаны. В некоторых из них отчетливо проявлена структура ступенчатого роста, что свидетельствует о первичной кристаллизации золота.

На основании полученных данных рентгеноспектрального микроанализа, пробность золота колеблется от 487,7 до 993,5 %, что соответствует градации от низкопробного до весьма высокопробного [1].

Для золота зоны дробления также характерно наличие теллуридов серебра, таких как гессит, кроме этого, встречаются незначительные элементы-примеси As, Sb, Cu, Bi.

Изучение основных характерных признаков самородного золота (морфология, пробность, элементы-примеси, минеральные включения)

дают возможность выделить характерные особенности золота из зон дробления. Такие как, например, большой разброс пробности золота от низкопробного (электрума) до весьма высокопробного. Низкая пробность золота обусловлена большим количеством примесей Ag и достаточным количеством Те для выделения теллуридов серебра, таких как гессит и петцит, которые проявлены в виде включений в золоте (рисунок).

Зоны дробления Верхнеякутского рудного поля отражают длительную историю эволюции рудообразующих процессов, протекающих на фоне тектонических подвижек и внедрения разновозрастных даек субщелочных пород. Исходя из вышеизложенного следует, что на Верхнеякутском рудном поле проходило неоднократное подновление золоторудных зон, начиная со средне-позднеюрского до раннемелового возраста, что подчеркивается отмеченными выше особенностями типовых признаков самородного золота.

Список литературы:

1. Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н., Яблокова С.В., Шатилова Л.В. Типоморфизм самородного золота. – 2-е изд., доп. / под редакцией А.И. Кривцова, С.С. Вартаняна. – М. : ЦНИГРИ, 2010. – 66 с.
2. Столяренко В.В., Кряжев С.Г., Двуреченская С.С., Шатилова Л.В., Минаева С.В., Рябошапко А.Г., Алферова В.А. Отчетная документация о результатах работ по объекту: «Прогнозно-поисковые модели золоторудных объектов Томмот-Якутской площади». – М. : ЦНИГРИ, 2020. – 300 с.

Асабаев Д.Х., Бадалов Ф.А. (ГУ «ИМР»)

ДОЛОМИТЫ ПРОЯВЛЕНИЯ КАРАСУ (ГОРЫ МАЛЬГУЗАР) И ПУТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Проявление доломитов Карасу административно находится в Бахмальском районе Джизакской области на южном склоне Мальгузарских гор, в 5,5 км к СВ от сел. Кирккишлак. Участок исследований расположен на правом склоне сая Карашакшак.

В геологическом строении участка принимают участие в основном отложения живетского яруса среднего девона. Они представлены переслаивающимися серыми и темно-серыми, тонкослоистыми и грубо-слоистыми доломитами и доломитистыми известняками, с редкими пропластками мергелей и глинистых сланцев.

В структурном плане описываемые породы представляют часть северного крыла опрокинутой к югу синклинальной складки, осложненной в описываемой части разреза серией более мелких складчатых структур, вытянутых в широтном направлении.

Доломиты в пределах площади прослежены к северо-востоку от сел. Кирккишлак. Контакты их с более древними отложениями на большей части тектонические. В основании доломитов залегают сланцы слюдисто-кварцевые, слюдисто-карбонатные с прослоями известняков, доломитов и углисто-кремнистых пород нижнего силура. Прослой известняков серого цвета, мелкозернистые, перекристаллизованные, тонкослоистые и рассланцованные с остатками члеников перекристаллизованных морских лилий. Прослой известняков до 5–6 м мощности.

Доломиты тонко- и мелкозернистые, слоистые и грубослоистые с отдельными прослоями, переполненными перекристаллизованными формами ампифор. Содержат редкие обломки раковин брахиопод, ostracod. Порода имеет цвет от светло-серого до темно-серого, очень крепкая, искрящаяся с сильным запахом сероводорода.

Доломиты темно-серого, почти черного цвета, мелкозернистые, известковистые, в их составе присутствуют зерна доломита неправильной формы, оконтуренные черным органическим веществом и кальцитом. Порода трещиноватая, трещинки выполнены прожилками ожелезненного кальцита.

Доломитизированные известняки – черные микро- и тонкозернистые, местами близкие к скрытокристаллическим, весьма крепкие, с раковистым изломом, трещиноватые, содержат тонкие прожилки кальцита. Мощность этих пород 0,5–1,0 м.

Проявление доломитов приурочено к двум широтно-вытянутым карбонатным грядам, расположенным по правобережью р. Санзар.

Полоса черных доломитов мощностью 250–300 м вытягивается на расстояние нескольких километров.

По результатам геолого-съёмочных работ (Борисова Т.А., 1963) химический состав пород гор Мальгузар определялся, как правило, по сокращенной схеме, что недостаточно для оценки использования доломитов в огнеупорной, стекольной, металлургической, химической и др. отраслях народного хозяйства. Поэтому перспективы рассматриваемого проявления, развитого в Мальгузарских горах, остались неустановленными. При полевых работах 2016 года нами в верховьях р. Санзар выявлено и обследовано проявление доломитов Карасу.

Средний химический состав доломитов (в %): SiO_2 – 2,85; TiO_2 – 0,06; Al_2O_3 – 0,96; Fe_2O_3 – 0,2; MgO – 18,45; CaO – 25,45; Na_2O – 2,02; K_2O – 0,25; ппп – 46,97.

Из химического состава видно, что доломиты являются качественными и могут быть использованы как сырье для производства огнеупоров, при производстве магнезиальных цемента, стекла. Авторские ресурсы оцениваются в пределах 49,0 млн т. Проявление находится в благоприятных горнотехнических условиях. Непосредственно к нему можно подъехать автотранспортом, в одном километре от проявления протекает р. Санзар.

Промышленность республики использует доломиты в металлургии (как сырье для огнеупоров и как флюс), для производства стекла и глазури, белой магнезии; в строительстве – как облицовочный, стеновой, бутовый камень и щебень, сырье для производства вяжущих материалов, минеральной ваты, теплоизоляционных изделий и др. В химической промышленности из доломитов получают карбонат магния, магнезиальные соли и фармацевтические препараты. В относительно небольших масштабах они используются в бумажной, кожевенной и резиновой промышленности.

Более предметно о качестве доломитов можно говорить, сравнивая их с известными эксплуатируемыми месторождениями. До распада Союза добыча доломитов для нужд огнеупорных заводов и металлургии производилась на крупных месторождениях, таких как Щелковское, Билимбаевское, Никитовское, Ямское и др. Так, сырой доломит Никитовского и Ямского месторождений доставлялся всем металлообрабатывающим и машиностроительным заводам юга.

Сопоставлением химических составов изучаемых доломитов с таковыми вышеуказанных месторождений установлено, что доломиты проявления Карасу по качеству отвечают лучшим сортам (1-му сорту) разрабатываемых месторождений России.

Число перспективных проявлений исследуемого региона могло бы возрасти, если бы по другим проявлениям исследования химсостава производились по варианту «полного силикатного анализа».

Основным потребителем доломитов является металлургия, в большом объеме использующая доломитовые огнеупоры. Доломит как огнеупор может применяться как в сыром виде, так и после обжига. Основные свои огнеупорные свойства и шлакоустойчивость он приобретает только после обжига в температурном интервале 1500–1700 °С. Изготавливаемые таким путем огнеупорные материалы (металлургический порошок, огнеупорные кирпичи, блоки и т.д.) широко используются для футеровки основных мартеновских и электроплавильных печей. Доломитовые огнеупорные материалы используются для наварки подин, заправки откосов и задних стенок мартеновских печей, для набивки днищ томасовских конвертеров.

Важным показателем качества потребляемого сырья является, прежде всего, его химический состав. Наиболее важную роль наряду с оксидами магния играют примеси CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Mn_3O_4 , SO_3 , P_2O_5 , причем роль большинства из них двойственна: являясь в общем вредными, они в известных условиях и в некоторых определенных соотношениях необходимы. Присутствие окиси кальция повышает огнеупорность доломита, но затрудняет его спекание. Кремнезем в количестве от 1 до 6 % обычно не только не оказывает вредного влияния на ход обжига доломита и качество получаемой из него продукции, но даже придает ей повышенную устойчивость против гидратации.

В связи с достаточно высокой огнеупорностью, низкой стоимостью и весьма широким площадным распространением доломиты успешно конкурируют с основным огнеупорным сырьем, каким является магнезит. В отличие от доломита магнезит значительно реже встречается, вследствие чего очень редко образует промышленные залежи. Поэтому в высокоразвитых странах, в которых доломит служит импортным продуктом (США, Англия, Германия), он уже давно почти нацело вытеснил магнезит. Несмотря на то, что металлургический магнезит имеет перед обожженным доломитом ряд технических преимуществ, доломит успешно с ним конкурирует вследствие достаточной жаропрочности и экономической эффективности применения.

В сыром металлургическом доломите содержание MgO должно быть не менее 12–19 %, SiO_2 – 3–6 %, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ – 3–5 %; во флюсовом доломите MgO – не менее 17 %, НО (нерастворимый остаток) – до 5 %.

Из доломитов можно путем обжига получить периклаз – основную составляющую магнезиальных огнеупорных изделий, обладающих наибольшей огнеупорностью, превышающей 1600 °С. В связи с этим требования промышленности к этому сырью более высокие. Так, в конвертерном производстве содержание MgO должно быть не менее 19 %, CaO не более 33 %, SiO_2 – не более 0,5 % (ДК_1) или 1 % (ДК_2), а $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ – не более, 0,7 и 2 %, соответственно.

Однако, как показывает опыт, в конвертерном производстве принципиально возможно использование доломитов с несколько пониженным против указанных значений содержанием окиси магния и повышенным – полуторных окислов и кремнезема. Так, в период эксплуатации доломитов месторождения Фархадские скалы Узбекский металлургический завод предъявлял свои ТУ на доломитовое сырье, используемое для производства металлургического порошка, согласно которым MgO должно быть не менее 17 %, SiO_2 – не более 7 %, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ – не более 5 %, CaO – не более 30–33 % (Каримов и др., 1967 ф.).

Доломит, применяемый в стекольной промышленности, должен содержать MgO не менее 18 %, SiO_2 – не более 5 %, Al_2O_3 – не более 0,4 %. Химическая промышленность для получения хромнатриевых солей, использует доломит, содержащий MgO не менее 17 %, CaO – 30,0 %, $\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$ – не более 4 %.

При использовании доломитов в строительстве предъявляются требования к его физико-механическим свойствам. Объемная масса доломитов от 2000–2800 кг/м³, пористость – от десятков долей процента до 60 % (по объему), предел прочности при раздавливании в сухом состоянии – от единиц до 300 МПа (чаще 20–80 МПа).

Доломиты для производства абразивного порошка (полирование стекла, металла) должны содержать (в %): CaO – не более 32,5; оксида магния – не менее 19,5; нерастворимого остатка – не более 2.

Исключительно важное значение должен иметь доломит в нашей республике, поскольку разведанных месторождений магнезита у нас пока нет, а стоимость привозных магнезита, магнезиальных огнеупоров и изделий из них достаточно высокая. Так, в 2019 году республика импортировала огнеупоров на сумму 61 млн долл. США.

Переориентация на использование доломитов обусловливается наличием большого числа месторождений и проявлений как на исследуемой территории, так и в республике в целом.

Доломиты, формирование которых происходило в геосинклинальных условиях (Карасу) и др., по своим структурно-текстурным особенностям, составу, мощности, постседиментационным изменениям и другим свойствам резко отличны от платформенных. Им свойственно массивное сложение, дислоцированность, кристаллическая структура, огромные площади развития, крутое залегание, большие запасы, интенсивная пликативная нарушенность.

Качество доломитов палеозоя изучено в большинстве случаев недостаточно полно по сравнению с доломитами мезозоя. Так как палеозойские доломиты изучались преимущественно с целью установления возможности использования их в качестве строительных материалов, основное внимание уделялось исследованию петрографического состава и физико-механических свойств.

Поскольку главными показателями возможности использования доломитов в качестве сырья для огнеупоров служит их химический состав и, в меньшей мере, структурно-текстурные особенности, мы на основании этих факторов определили потенциальную сырьевую базу огнеупорной, металлургической, стекольной и химической промышленности.

Для окончательной оценки перспективности Карасуского и остальных перспективных проявлений, расположенных в Мальгузарских го-

рах, выдвигаемых в качестве перспективных на огнеупоры, необходимо произвести комплекс технологических испытаний. Нет сомнений в том, что большая часть из них окажется кондиционным сырьем, поскольку лабораторная оценка их качества по химсоставу не уступает качеству ранее разрабатываемого месторождения Фархадские скалы.

Основные выводы, вытекающие из анализа доломитовой минерализации региона, сводятся к следующему.

1. Доломиты с высоким содержанием оксида магния (17,0–22,0 %) генетически и пространственно связаны с палеозойскими (силур, девон) и кайнозойскими (палеоген, реже мел) образованиями. Палеозойские доломиты относятся к геосинклинальному, а мезо-кайнозойские – к платформенному генетическому типу, что обуславливает различия их условий залегания, текстурно-структурных особенностей, мощностей и м-бов (ресурсов) сырья, степени метаморфизма и дислоцированности.

2. Степень изученности доломитовых залежей не равнозначна; наряду с детально изученными (Овхона, Дальний, Зиаэтдин, Чапаната) встречаются объекты (Карасу, Зинаксай), не имеющие самых элементарных сведений об условиях залегания, масштабах (мощность, простираание), физико-механических и химических свойствах. Поэтому говорить об их перспективах с достаточной достоверностью не представляется возможным.

3. Палеозойские доломитовые разности пород, составляющие 80 % от всего количества проявлений, связаны с осадками нижнего силура, средне-верхнего девона нерасчлененного.

Относительно низким и неравномерным составом отличаются доломитовые разности проявлений Джизакской области (Дальний, Писталитау): MgO – 11,0–22,0 %; CaO – 30,7 %; SiO_2 – 1,0–8,93 %; Fe_2O_3 – 1,45 %.

4. Все доломитовые разности пород, охарактеризованные содержаниями основных компонентов, по химическому составу отвечают техническим требованиям ГОСТа 10375-93 на доломит сырой металлургический, пригодный для обжига, заправки и подсыпки порогов мартеновских печей. Для производства конвертерных огнеупоров марки ДК₁ могут быть использованы доломиты проявлений Махмудтау, Тамги, Зирабулакской площади, Джам и Ингичка (палеозой).

Наряду с этим большая часть доломитов одновременно может быть использована в качестве металлургического флюса, абразивного материала, стекольной шихты и даже в химической промышленности для производства хромнатриевых солей и азотно-туковой промышленности в качестве добавки к удобрительным тукам с целью увеличения их неслеживаемости.

5. Для более представительной характеристики качества, количества, промышленной значимости и рентабельности отработки доломитов на перспективных проявлениях рекомендуется постановка предварительной оценки.

На базе производственного оборудования Узбекского металлургического завода представительными заводскими технологическими исследованиями доломитов подготовленного к отработке месторождения Овхона требуется установить возможность использования полезной толщи в качестве металлургических огнеупоров, флюса и составной части шихты стекольного производства.

6. Исследуемый регион обладает достаточно серьезной сырьевой базой огнеупорных доломитов. Некоторые из них как по ресурсам, так и по качеству не уступают ранее разрабатываемому в республике месторождению Фархадские скалы. Это прежде всего многочисленные проявления Зирабулакской площади, включающие в себя наиболее перспективные в горнотехническом и экономическом отношении проявления – Тамги, Сыпки, Деванасай, Ингичка (палеозоя) и Ингичка-1, Тепалик и Сыпки (кайнозоя). Причем три последних проявления помимо возможности использования их в качестве металлургических огнеупоров, флюсов, абразивных материалов и шихты для стекольного производства могут полностью заменить мел при приготовлении эмульсионной краски и строительной шпатлевки.

Общая потребность республики в доломите как огнеупорном сырье в 2015 году составила порядка 35 тыс. т (в перспективе она увеличится более чем в 10 раз). Узбекистан располагает значительными запасами высококачественного доломитового сырья; весь спрос промышленности республики удовлетворяется за счет отработки собственных месторождений. С 2005 года импорт доломитов в республику прекращен.

Богославец Н.Н., Зайцева М.Н. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

**СТРАТИФИЦИРОВАННЫЕ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОЙОН-ТОЛОГОЙСКОГО ТИПА ЮГО-
ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРИАРГУНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ
ЗОНЫ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Наиболее перспективны на выявление свинцово-цинковых месторождений в пределах Восточного Забайкалья объекты, приуроченные к Приаргунской металлогенической золото-серебро-свинец-цинк-флюорит-железородной зоне. В данной работе рассмотрены две перспектив-

ные на выявление стратифицированного свинцово-цинкового оруденения площади – Мулинская и Маньковская.

Роль ведущего минерагенического фактора для месторождений и рудопоявлений *Мулинской* площади играет Нойон-Тологойская вулкано-тектоническая депрессия – крупная структура мультимасштабной формы, вытянутая в северо-восточном направлении, ограниченная глубинными разломами первого порядка и осложненная разнонаправленными оперяющими разломами. Депрессия выполнена юрскими песчано-алевролитовыми, конгломерат-песчанистыми отложениями, перекрытыми туфогенно-, вулканогенно-осадочными отложениями. Вулканиды отнесены к непрерывной формации базальт-андезит-дацит-риолит-калиевой серии от нормального до умеренно-щелочного ряда. Юрские образования прорваны субвулканическими телами риолитов и мелкими штоками средне-позднеюрских монзонитов и граносиенитов, реже сиенитами.

В северо-восточной части депрессии расположено крупное по запасам месторождение Нойон-Тологой и среднее по запасам месторождение Талман. Месторождения Нойон-Тологой и Талман с серебросвинцово-цинковыми рудами принадлежат к новому для региона Нойон-Тологойскому типу. Рудоносными для такого типа месторождений являются вулкано-тектонические структуры (ВТС) юрского периода. Рудные тела месторождений Нойон-Тологой и Талман характеризуются скрыто-перекрытым залеганием.

В пределах *Мулинской* площади ожидается выявление скрытых и скрыто-перекрытых стратифицированных золото-серебросодержащих полиметаллических объектов нойон-тологийского типа. Наиболее перспективными на выявление стратифицированного серебросодержащего полиметаллического оруденения являются осевая и бортовая части вулкано-тектонической депрессии.

Маньковская площадь располагается в Шахтаминском (Александрово-Заводском) золото-полиметаллическом районе. Роль ведущего минерагенического фактора здесь играет Александрово-Заводская вулкано-тектоническая депрессия – крупная мультимасштабная структура, вытянутой формы северо-восточного простирания, ограниченная глубинными разломами первого порядка, осложненная разнонаправленными оперяющими разломами и выполненная юрскими песчано-алевролитовыми, конгломерато-песчанистыми отложениями, перекрытыми туфогенно-, вулканогенно-осадочными отложениями. Вулканиды отнесены к непрерывной формации базальт-андезит-дацит-риолит-калиевой серии от нормального до умеренно-щелочного ряда. Данные юрские образования прорваны субвулканическими телами риолитов и мелкими

штоками средне-позднеюрских моноцитов и граносиенитов, реже сиенитов. Дайковые образования представлены гранодиоритами и диоритами.

Краевые части прогибов вулкано-тектонических депрессий по результатам проведенных в последнее время поисковых и разведочных работ являются наиболее продуктивными при локализации золото-полиметаллического оруденения.

Дальнейшее изучение перспективного района на выявление полиметаллического оруденения «стратифицированного» типа необходимо продолжить с опоскования юго-восточного фланга Александрово-Заводской вулкано-тектонической депрессии до замыкания структуры на востоке.

В пределах проектируемой площади ожидается выявление свинцово-цинковых месторождений стратифицированных в терригенной и терригенно-вулканической формации (нойон-тологийский тип).

Основные перспективы площади на выявление полиметаллических руд связано с стратифицированным типом оруденения.

Развитие стратифицированного оруденения прогнозируется вдоль основной рудолокализирующей структуры – краевой части Александрово-Заводской вулкано-тектонической депрессии. Это узкая полоса (3,0–3,5 км) протяженностью 27 км, характеризующаяся развитием в северо-западной части (7–8 км) наиболее продуктивной терригенно-вулканической толщи, частично прорванной штоками диорит-порфиров.

В северо-западном замыкании осевой части прогнозируется оруденение первого уровня, приуроченного к контакту базальтового покрова и терригенных пород верхнегазимурской свиты.

Кроме стратифицированного оруденения на северо-западном участке площади в пределах системы надвиговых структур возможно выявление мелких объектов приаргунского типа с богатыми рудами и наличием попутного золота.

По совокупности особенностей геологического строения ранее выделенные рудные районы Александрово-Заводской (Маньковская площадь, месторождение Кодак) и Кличкинский (Мулинская площадь, месторождения Нойон-Тологой и Талман) являются схожими, что связано с их приуроченностью к единым рудоконтролирующим структурам, возникшим на определенной стадии геологического развития, сопровождаются однотипной вулкано-плутонической ассоциацией, возникшей на стадии позднеюрской тектоно-магматической активизации. Все выявленные на данных площадях месторождения, рудопрооявления, проявления рудной минерализации относятся к одной рудной формации.

Список литературы:

1. Богославец Н.Н. Перспективы обнаружения серебро-полиметаллического оруденения Нойон-Тологойского типа в пределах Александрово-Заводского рудного узла // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 163–164.
2. Корчагина Д.А. Перспективы выявления новых полиметаллических месторождений в Забайкалье // Отечественная геология. – 2020. – № 3. – С. 18–46.
3. Кузнецов В.В., Брель А.И., Богославец Н.Н., Елшина С.Л., Кузнецова Т.П., Серавина Т.В. Металлогения Приаргунской структурно-формационной зоны. – 2018. – № 2. – С. 32–43.

Ванин В.А., Мазукабзов А.М. (Институт земной коры СО РАН)

ПРОБЛЕМА ВЫДЕЛЕНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ «РУДНОГО» ВОЗРАСТА В ВЫСОКОПЛАСТИЧНЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОДАХ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО ПОЯСА

На территории Байкало-Патомского пояса (БПП) широко распространены черносланцевые отложения, обогащенные глинистым и углеродистым веществом, что уже определило их реологические свойства как наиболее пластичных по отношению к породам, лишенным такой составляющей. Тонкослоистые углеродисто-глинистые сланцы являются высокопластичными и в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма при пластических деформациях формируют складки изгиба и сквозной кливаж осевой плоскости (ОП). Морфология складчатости и их парагенетические структурные элементы всегда тесно связаны с литологическими особенностями дислоцированных пород. При проведении замеров в горных выработках в крыльях и замковой части складок угол падения кливажа (ОП) часто варьирует от 0 до 40°. Варьирование углов падения кливажа ОП (рефракция) связано с реологическими свойствами пород, вызванными соотношением минерального состава (сланца/кварца). Такое варьирование залегания плоскостных структур можно принять за смену элементов залегания пород или проявления разрывной тектоники, что на самом деле таковым не является. В результате детальных работ установлено, что широко распространенная сланцеватость на территории Бодайбинского синклиория, Маракано-Тунгусской и Хо-

молхино-Илигирской мегасинклиналей, Кропоткинской и Кадаликанской мегаантиклиналей соответствует сквозному кливажу ОП.

Ведущая роль в локализации золотого оруденения на территории БПП отдается структурным факторам в совокупности с определенными литолого-стратиграфическими разностями. Большинство исследователей придерживаются мнения о рудоконтролирующих антиклиналях с локализацией оруденения в замковой части и крыльях складок. Помимо этого, некоторые из исследователей считают обязательным наличие рудоподводящих зон расланцевания, которые отождествляются с разрывными нарушениями [1–4]. В моделях рудообразования их изображают либо в осевой части, либо в перевернутом крыле антиклиналей. На примере всесторонне изученного уникального во всех смыслах месторождения Сухой Лог видно, что фигурируют данные либо о наличии, либо об отсутствии зон рудоконтролирующих разломов. В работах [1, 5] широко распространенная на территории месторождения тонкая сланцеватость без расшифровки была принята за разрывные структуры. В другой [6] четко говорится: «Ни одного крупного разлома не известно внутри месторождения Сухой Лог...». В работе [7] выдвигается гипотеза постскладчатого формирования рудной минерализации, что также подразумевает, но не доказывает наличие разрывных структур. Однако, практически все исследователи описывают и демонстрируют послойное положение золоторудной минерализации, например, [2]. Таким образом тема наличия или отсутствия рудоконтролирующего разлома на месторождении Сухой Лог остается дискуссионной.

Для рассматриваемой территории устанавливается своеобразная динамическая обстановка, в результате которой происходило формирование сжатых лежащих складок. Для них характерно пологое положение крыльев и кливажа ОП. Однако кливаж в результате прогрессирующей деформации приобрел признаки, которые по морфологическим и структурным характеристикам близки сланцеватости, связанной с зонами вязких разломов. Именно данная обстановка вызывает определенные трудности при выделении на рассматриваемой территории зон вязких разломов и позволяет легко спутать одни структуры с другими. Авторы пришли к логическому заключению, что для выделения вязких разломов необходимо иметь сведения, указывающие на наличие катакластических структур (катаклаз, милонитизация), будинажа, фрагменты микроскладок, а также соотношение сквозного кливажа ОП со сланцеватостью, связанной с разломом.

Одним из примеров, где установлена зона рудоконтролирующего разрывного нарушения, является месторождение Ожерелье. Месторождение локализовано в песчанистых жестких породах догалдынской сви-

ты, претерпевшей регрессивный метаморфизм зеленосланцевой фации. Это влияет на специфику проявления здесь кливажа осевой плоскости и разрывных структур. Кливаж ОП менее проявлен по сравнению с высокосланцеватыми углеродистыми сланцами. Рудоконтролирующая зона соответствует надвигу и имеет чешуйчатое строение, мощность чешуй может достигать 110 м. Внутренняя структура характеризуется развитием складок, будинажа, сколов и сланцеватости, часто заполненных золотоносным кварцем. Последние занимают в основном секущее положение по отношению к слоистости и кливажу ОП. Структура месторождения Ожерелье в свою очередь существенно отличается от структурной позиции месторождений, сосредоточенных на территории БПП, а именно отсутствием золоторудной минерализации, приуроченной к антиклинали. Месторождение тяготеет к перевернутому крылу и частично к осевой части Вернинской синклинали. Золоторудные зоны представлены кварцевыми жилами, а золоторудной вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализации не зафиксировано. Можно предположить, что существовавшая ранее антиклиналь частично эродирована и приуроченная к ней прожилково-вкрапленная минерализация послужила одним из коренных источников для Мараканской россыпи.

Возвращаясь к месторождению Сухой лог и признавая убеждения разных исследователей о наличии разрывного нарушения в его структуре, можно предположить, что в результате прогрессивной деформаций возникали смещения вдоль реологически ослабленных кливажных швов параллельно оси максимального растяжения. Это приводило к формированию вязкого рудоконтролирующего разлома в плоскости ОП. Аналогичные разломы могут возникать не только параллельно осевым поверхностям складок, но и на сопряженных крыльях. Размерность разломов может варьировать от микромасштаба до регионального. По времени формирования продольные вязкие разломы относятся к соскладчатым.

Подводя итоги, мы видим, что наличие рудоконтролирующих разрывных нарушений в осевых частях рудоконтролирующих складок требует проведение детальных структурных исследований. По наблюдениям автора на месторождениях Голец Высочайший, Вернинское и Ыканское золоторудная минерализация приурочена к пологим зонам межслоевых скольжений. В этих зонах возникают структурные элементы, идентичные надвиговым. Однако по геодинамическим признакам это разные структуры: первые располагаются согласно элементам стратификации, а вторые пересекают их. По всей вероятности, рудообразование происходило в процессе движения растворов в межслоевом пространстве и диффузии полезных компонентов (в том числе и золота) из вмещающих пород под действием тектонических процессов в зоне

межслоевых скольжений, которые по своей сути приближаются к вязким разломам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-45-380025.

Список литературы:

1. Buryak V.A., Khmelevskaya N.M. Sukhoi Log, One of the Largest Gold Deposits in the World: Genesis, Mineralization Distribution Patterns, and Forecasting Criteria. – Vladivostok : Dal'nauka, 1997. – 156 p. (in Russian) [Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). – Владивосток : Дальнаука, 1997. – 156 с.].
2. Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., Danyushevsky L.V., Chang Z. Multistage Sedimentary and Metamorphic Origin of Pyrite and Gold in the Giant Sukhoi Log Deposit, Lena Gold Province, Russia // *Economic Geology*. – 2007. – № 102 (7). – P. 1233–1267. – <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.7.1233>.
3. Nemerov V.K., Stanevich A.M., Razvozzhaeva E.A., Budyak A.E., Kornilova T.A. Biogenic Sedimentation Factors of Ore Formation in the Neoproterozoic Strata of the Baikal-Patom Region // *Russian Geology and Geophysics*. – 2010. – № 51 (5). – P. 729–747. (in Russian) [Немеров В.К., Станевич А.М., Развозжаева Э.А., Будяк А.Е., Корнилова Т.А. Биогенноседиментационные факторы рудообразования в неопротерозойских толщах Байкало-Патомского региона // *Геология и геофизика*. – 2010. – Т. 51, № 5. – С. 729–747].
4. Tarasova Y.I., Budyak A.E., Chugaev A.V., Goryachev N.A., Tauson V.L., Skuzovatov S.Yu., Reutsky V.N., Abramova V.D., Gareev B.I., Bryukhanova N.N., Parshina A.V. Mineralogical and Isotope-Geochemical ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$ and Pb-Pb) Characteristics of the Krasniy Gold Mine (Baikal-Patom Highlands): Constraining Ore-Forming Mechanisms and the Model for Sukhoi Log-Type Deposits // *Ore Geology Reviews*. – 2020. – № 119. – 103365. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103365>.
5. Lobanov M.P., Radchenko K.M., Chernetskaya I.I., Okhotnikov I.A., Nomokova Yu.A., Novikova E.F. Ore-Bearing Carbonaceous Pelitoids of Linear Shear Zones of the Patom Upland // *Russian Geology and Geophysics*. – 1976. – № 9. – P. 34–45 (In Russian) [Лобанов М.П., Радченко К.М., Чернецкая И.И., Охотников И.А., Номокова Ю.А., Новикова Е.Ф. Орудененосные углеродистые пелитоиды линейных зон сдвига Патомского плато // *Геология и геофизика*. – 1976. – № 9. – С. 34–45].

- ва Э.Ф. Рудоносные углистые пелитоиды линейных зон смятия Патомского нагорья // Геология и геофизика. – 1976. – № 9. – С. 34–45].
6. Vood B.L., Popov N.P. The Giant Gold Deposit Sukhoi Log, Siberia // Russian Geology and Geophysics. – 2006. – № 47 (3). – P. 315–341 (In Russian) [Вуд Б.Л., Попов Н.П. Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 3. – С. 315–341].
 7. Yudovskaya M.A., Distler V.V., Mokhov A.V., Rodionov N.V., Antonov A.V., Sergeev S.A. Relationship between Metamorphism and Ore Formation at the Sukhoi Log Gold Deposit Hosted in Black Slates from the Data of U-Th-Pb Isotopic Shrimp-Dating of Accessory Minerals // Geology of Ore Deposits. – 2011. – № 53 (1). – P. 27–57. – <https://doi.org/10.1134/S1075701511010077> [Юдовская М.А., Дистлер В.В., Родионов Н.В., Мохов А.В., Антонов А.В., Сергеев С.А. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении сухой лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 32–64].

Вергунов А.В., Арбузов С.И. (ТПУ)

РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-УГОЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В ПЛАСТЕ XI НА ЮГЕ КУЗБАССА

На сегодняшний день известна большая группа разнообразных типов месторождений редких, благородных и цветных металлов в углях и углистых породах [5, 7, 12, 15, 16, 18–20]. Особый интерес представляют месторождения комплексных REE-Zr(Hf)-Nb(Ta)-Ga руд. Данный тип месторождений известен на юго-западе Китая [14, 17], а также на территории России в Кузнецком и Минусинском бассейнах [1–4, 6, 8, 11].

Данная работа посвящена исследованию основных минералого-геохимических особенностей комплексного Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga оруденения в пласте XI на юге Кузбасса.

Исследуемый пласт находится в южной части Кузнецкого бассейна в непосредственной близости к области питания древнего бассейна угленакопления. Стратиграфически пласт XI находится в составе отложений кемеровской свиты верхнебалахонской подсерии раннепермского возраста [9]. Пласт XI вскрыт преимущественно на юге Кузбасса и про-

слежен на расстояние более 50 км с востока на запад. По падению пласт прослежен более чем на 5,8 км. Наиболее детально он изучен в восточной части бассейна.

Пласт имеет достаточно невыдержанную мощность, но протягивается на значительные расстояния при колебаниях мощности от 0,3 до 5,0 м. Средняя мощность уменьшается с востока на запад. На западе бассейна пласт XI выклинивается и промышленного значения не имеет.

Строение пласта достаточно выдержанное. Обычно он представлен двумя угольными пачками, разделенными неугольным прослоем мощностью от 6 до 15 см, редко более. На отдельных участках в нижней пачке появляются 1–2 маломощных прослоя аргиллитов мощностью от 1 до 4 см.

В результате исследований было установлено, что угли и особенно золы углей характеризуются аномально высокими концентрациями Nb, Ta, Zr, Hf, Ag, Be, Sn, Y, REE, повышенными по сравнению с угольным кларком содержаниями Li, Ga, Co, Ni, Cu, Ba, Mo, W, Pb и Th.

На локальных интервалах их содержание может достигать значительных величин. Так, концентрации циркония непосредственно над породным прослоем достигают 1,39 %, а ниобия – 0,43 %. Вблизи породного прослоя и непосредственно в нем аномально многие литофильные элементы. Содержание иттрия достигает 286 г/т, гафния – 173 г/т, олова – 31 г/т, галлия – 81 г/т, бериллия – 109 г/т, суммы лантаноидов – 0,19 %, тория – 97,8 г/т, урана – 59,4 г/т, вольфрама – 43 г/т, тантала 71 г/т. Все эти аномалии отчетливо приурочены к маломощному породному горизонту. Горизонт выделяется повышенной радиоактивностью (30–50 мкР/ч) и аномальным содержанием большой группы литофильных редких металлов, включая Zr, Nb, Ta, Hf, Y, PЗЭ, Sn, Th и U.

В совокупности эти данные позволяют выделить в пласте XI специфическое Nb(Ta)-Zr(Hf)-PЗЭ(Y) оруденение с группой попутных литофильных металлов (Ga, Li, Sn и др.). Руды такого состава выявлены и детально изучены в Китае [14, 17]. Однако оруденение в пласте XI обладает своей ярко выраженной спецификой, обусловленной как особенностями их состава, так и особенностями состава пород, рассматриваемых в качестве источника оруденения.

В ходе исследования было установлено, что сравнительно маломощный горизонт (6–15 см) в угольном пласте XI существенно отличается по своим характеристикам от подстилающих и перекрывающих отложений. Прослой аномально обогащен Ta, Nb, Zr, Hf, Ga, REE, Th и U. Для отдельных элементов концентрации достигают промышленно значимых величин. Так, содержание тантала здесь достигает 71 г/т при средней величине 42 г/т на протяжении более 20 км. При этом породы кров-

ли и подошвы пласта XI характеризуются рядовыми содержаниями данных элементов.

Такое аномальное накопление данного спектра элементов-гидролизатов в осадочном процессе возможно только в процессе россыпеобразования. Однако формирование россыпей для углеобразовательного процесса не характерно [10]. К тому же при достаточно малой мощности металлоносный горизонт имеет значительную площадную распространенность.

В настоящее время он прослежен более чем на 20 км в субширотном направлении и более чем на 5,8 км в субмеридиональном. Общая протяженность горизонта с востока на запад превышает 50 км, площадь распространения – 290 км². Формирование такого контрастного по составу горизонта малой мощности на большой площади при отсутствии ясно выраженной стратификации возможно только в результате катастрофического явления. Единственным возможным механизмом такого одновременного поступления, резко отличающегося по составу от углевмещающих пород материала, может быть достаточно мощное катастрофическое извержение вулкана. Это предположение поддерживается отсутствием стратификации в исследуемой толще алевролитовой и тонкой песчаной размерности. Это свидетельствует об однократном одновременном выпадении всего материала. На отсутствие водно-осадочной стратификации указывают и неупорядоченная структура породы, отсутствие в ней окатанных обломков и наличие остроугольных кристаллов.

Другая важная особенность – значительное обогащение угля Ta, Nb, Zr, Hf, Ga, REE, Th и U на контакте с неугольным прослоем. Это указывает на перераспределение элементов в процессе углеобразования. Определить время перераспределения: торфонакопление, диагенез, катагенез – не представляется возможным, но характер обогащения угля позволяет предполагать, что первичным источником были именно породы прослоя. При этом перерасчет содержания данных элементов в породах прослоя с учетом выщелоченного вещества показывает, что первоначальный состав пород, сформировавших прослой, соответствовал комендитам-пантеллеритам. Это породы кислого, иногда ультракислого состава, но при этом высокой щелочности.

На вклад комендит-пантеллеритовой пирокластике в формировании партинга в пласте XI указывает комплекс методов, используемый при идентификации исходного состава пирокластического материала в угле [1]. Комплекс методов включает в себя TiO_2/Al_2O_3 отношение, классификационную диаграмму Винчестера и Флойда, нормированные графики распределения РЗЭ и содержание радиоактивных элементов.

Содержание и ресурсы оксидов редких металлов в пласте XI

Оксиды	Содержание в золе, г/т		Ресурсы, т	
	I	II	I	II
Nb_2O_5	930	689	26 145	31 545
ZrO_2	2 526	2 365	71 024	108 281
$\Sigma\text{REE} + \text{Y}_2\text{O}_3$	975	934	27 423	42 763
Ta_2O_5	8,4	26,9	237	1 232
HfO_2	37,5	49,6	1 054	2 271
Ga_2O_3	48,5	69,4	1 365	3 178

Примечание. I – уголь без породного прослоя; II – весь пласт с породным прослоем.

Проведенный анализ показал, что угли пласта XI отличаются уникально высокими для углей содержаниями ниобия и тантала. Концентрация ниобия в среднем для пласта более чем вдвое превышает даже самые жесткие из рекомендуемых минимально промышленных значений для редкометалльно-угольных месторождений [7, 13]. На более локальных участках мощностью 15–20 см вблизи партинга их содержание в золе угля в целом превышает промышленный минимум в несколько раз, составляя в среднем около 0,2 %.

Тантал сконцентрирован преимущественно в вулканогенном прослое либо в непосредственном контакте с ним. При среднем содержании в золе угля пласта XI, с учетом породного прослоя, 26,9 г/т Ta_2O_5 его концентрация в самом прослое превышает 68 г/т, а в некоторых сечениях достигает 87 г/т.

Содержание циркония в этих же рудах (в золе угля) также соответствует их минимальным промышленным величинам, хотя и не так значительно, как содержания ниобия (таблица).

Помимо Nb, Ta, Zr и Hf руды обогащены лантаноидами. Сумма лантаноидов и иттрия в пересчете на окислы составляет 975 г/т. Такие концентрации РЗЭ при преобладании в них группы легких лантаноидов самостоятельного значения не имеют, но могут быть значимы при переработке комплексных руд. Аналогичным образом рассматривается и галлий, содержания которого составляют 48,5–69,4 г/т в зависимости от того, учитывается в расчете породный прослой или нет. В последнем случае содержание в 1,5 раза выше. Следовательно, при учете в расчетах среднего содержания и ресурсов ценных металлов вулканогенного

прослая возрастает среднее содержание Ta, Hf, Ga и ресурсы всех рассматриваемых металлов (см. табл.).

Рудное вещество сконцентрировано преимущественно в тонкодисперсной минеральной фазе, представленной в основном Zr-Nb-Ti-Fe оксидами, тонкодисперсными цирконами, редкоземельными карбонатами (бастнезит) и фосфатами (монацит, ксенотим, гойяцит). Некоторая часть элементов содержится в рассеянной форме в органическом веществе. Эпигенетическая природа большинства минералов отчетливо видна по характеру их распределения в угольной матрице, приуроченности к поровому пространству, микропрожилкам и к участкам, непосредственно тяготеющим к вулканогенному прослою.

Ресурсы металла, рассчитанные исходя из данных по восьми изученным сечениям, представлены в таблице. При расчетах средняя мощность пласта принималась 1,5 м, мощность вулканогенного прослоя (партинга) – 0,1 м, размеры по простиранию – 21 км, по падению – 5,8 км, объемная масса угля – 1,35 г/см³, объемная масса породного прослоя – 2,2 г/см³, средняя зольность угля – 11,4 %, с учетом партинга – 17,9 %.

Как следует из этих данных, угли пласта XI представляют собой среднее по масштабам месторождение комплексных руд с рядовым содержанием основных полезных компонентов. Рентабельность их переработки может быть достигнута путем селективного извлечения углей этого пласта, использования высокоэнергетического угля в качестве топлива на небольшой ТЭС. Ограничений по использованию этого угля в энергетике нет. Полученные золошлаки подлежат комплексной переработке с извлечением группы металлов.

Список литературы:

1. Arbuzov S.I., Spears D.A., Vergunov A.V., Ilenok S.S., Mezhibor A.M., Ivanov V.P., Zarubina N.A. Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia // *Ore Geology Reviews*. – 2019. – V. 113. – Article 103073.
2. Dai S., Chekryzhov I., Seredin V., Nechaev V., Graham I., Hower J., Ward C., Ren D., Wang X. Metalliferous coal deposits in East Asia (Primorye of Russia and South China): a review of geodynamic controls and styles of mineralization // *Gondwana Res.* – 2016a. – V. 29 (1). – P. 60–82.
3. Dai S., Finkelman R.B. Coal as a promising source of critical elements: Progress and future Prospects // *Int. J. of Coal Geology*. – 2018. – V. 186. – P. 155–164.
4. Dai S., Ren D., Chou C.-L., Finkelman R.B., Seredin V.V., Zhou Y. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: a review of abundances,

- genetic types, impacts on human health, and industrial utilization // Int. J. of Coal Geology. – 2012. – V. 94. – P. 3–21.
5. Dai S., Yan X., Ward C.R., Hower J.C., Zhao L., Wang X., Zhao L., Ren D., Finkelman R.B. Valuable elements in Chinese coals: a review // Int. Geology Review. – 2016b. – DOI: 10.1080/00206814.2016.1197802.
 6. Dai S., Yan X., Ward C.R., Hower J.C., Zhao L., Wang X., Zhao L., Ren D., Finkelman R.B. Valuable elements in Chinese coals: a review // International Geology Review. – 2018. – V. 60 (5–6). – P. 590–620.
 7. Dai S., Zhou Y., Zhang M., Wang X., Wang J., Song X., Jiang Y., Luo Y., Song Z., Yang Z., Ren D. A new type of Nb (Ta)-Zr(Hf)-REE-Ga polymetallic deposit in the late Permian coal-bearing strata, eastern Yunnan, southwestern China: Possible economic significance and genetic implications // Int. J. of Coal Geology. – 2010. – V. 83. – P. 55–63.
 8. Seredin V., Dai S. Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium // Int. J. Coal Geol. – 2012. – V. 94. – P. 67–93.
 9. Seredin V., Dai S., Sun Y., Chekryzhov I. Coal deposits as promising sources of rare metals for alternative power and energy-efficient technologies // Appl. Geochem. – 2013. – V. 31. – P. 1–11.
 10. Seredin V., Finkelman R. Metalliferous coals: a review of the main genetic and geochemical types // Int. J. Coal Geol. – 2008. – V. 76. – P. 253–289.

Видавский В.В., Берковский Е.М. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

**ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЖИЛЬНОГО
КВАРЦА ЫЛЭНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА
(РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))**

Ылэнский рудный узел расположен на северо-западном фланге Яно-Колымской металлогенической зоны в осевой части Иньяли-Дебинского мегасинклинария и приурочен к участку пересечения зоны Бургандинского глубинного разлома с серией разрывов северо-восточного простирания. На площади известны рудопроявления золото-кварцевого типа, ведется разработка россыпей золота. С 2020 года на площади рудного узла ФГБУ «ЦНИГРИ» проводит исследования вещественного состава руд и околорудных метасоматитов для разработки прогнозно-поисковых моделей золотого оруденения. Основной целью термобарогеохимических исследований, выполненных авторами, являлось определение физико-химических условий формирования жильного кварца.

В геологическом строении Ылэнского рудного узла принимают участие терригенные отложения меридиальной свиты средней юры. Они пред-

ставлены переслаиванием углеродистых песчано-глинистых сланцев, алевролитов и серых мелкозернистых песчаников. Породы смяты в крупные линейные складки северо-западного простирания. Крылья складок осложнены структурами более высоких порядков вплоть до мелкой пloyчатости. Углы падения крыльев складок составляют 40–70°. Складчатые структуры осложнены многочисленными разрывными нарушениями различной ориентировки. Разрывы северо-западного простирания, составляющие зону Бургандинского регионального разлома, субсогласны с простиранием складчатых структур и представлены серией сближенных кулисообразно сочленяющихся сбросов и взбросо-сдвигов. Протяженность разрывов достигает первых десятков км, а амплитуды вертикальных смещений по ним достигают первых сотен метров. В разрывах этого направления часто локализованы кварцевые жилы и зоны жильно-прожилкового окварцевания с золоторудной минерализацией. Мощность кварцевых жил колеблется от 0,05 м до 1,0–2,0 м, зон окварцевания – от первых метров до десяти метров. По простиранию жилы прослеживаются на 20–30 м, протяженность прожилковых зон достигает первых км.

Содержание золота в кварцево-жильных образованиях, по данным штучного опробования, колеблется от долей г/т до сотен г/т. Наибольшей золотоносностью обладают участки сочленения разрывных структур северо-западной ориентировки с субширотными нарушениями. Убогая золоторудная минерализация приурочена также к окварцованным дайкам кислого и среднего состава.

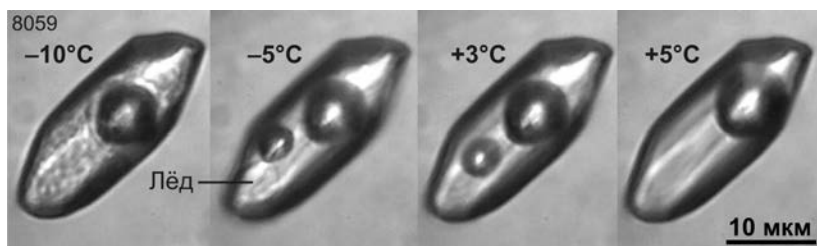
Образцы жильного кварца для исследований отбирали с поверхности в пределах известных рудопроявлений и на удалении от них. Всего изучено 25 образцов. В шести образцах обнаружены флюидные включения, размеры которых (> 3 мкм) позволили выполнить микротермометрические измерения. Анализы проводились с использованием криотермокамеры конструкции ЦНИГРИ, результаты представлены в таблице.

Проанализированные включения имеют неправильную, изометричную и трубчатую форму. При комнатной температуре они содержат водно-солевой раствор и газовый пузырек, занимающий от 10 до 25 % объема вакуолей. Включения образуют небольшие изометричные или короткие линейные кластеры и по этому признаку отнесены к первичным или псевдоторичным.

Начало плавления льда после замораживания растворов во включениях происходит при температурах выше -10°C , что указывает на преимущественно гидрокарбонатный состав солей. Концентрация растворов, определенная по температуре плавления последнего кристалла льда (от $-6,0$ до $-1,5^{\circ}\text{C}$), варьирует от 9,2 до 2,6 мас.% NaCl-экв (Bodnar,

Параметры флюидных включений в жильном кварце Ылэнского рудного узла

№ обр.	Температура, °C		Соленость мас.% NaCl-эquiv.
	Плавления льда	Гомогенизации	
5197-1	-3,3...-3,7	285–295	5,4–6,0
7010-2	-4,3...-4,7	275–285	6,9–7,5
	-4,0...-4,3	190–195	6,5–6,9
7019-2	-1,5...-2,0	195–215	2,6–3,4
7039-2	-3,0...-3,4	250–270	5,0–5,6
	-3,8...-4,3	220–230	6,2–6,9
7064	-5,6...-6,0	210–220	8,7–9,2
	-4,1...-4,5	190–195	6,6–7,2
8059	-3,6...-4,0	280–300	5,9–6,5
	-3,4...-4,2	195–200	5,6–6,7



Фазовые превращения во флюидном включении в области низких температур

Vityk, 1994). Гомогенизация включений происходит в жидкую фазу путем исчезновения газового пузырька в интервале 300–190 °C.

Интересной особенностью включений является их поведение после плавления льда. Нередко в процессе размораживания в вакуолях возникает второй газовый пузырек, который длительное время (примерно до +4 °C) существует в водном растворе самостоятельно (рисунок), что может указывать на высокую вязкость минералообразующего флюида. Аналогичное явление было описано В.Ю. Фридовским с соавторами (2019) в первичных включениях в друзовидном золотоносном кварце месторождения Базовское. Исследователи предполагают, что высокая вязкость минералообразующих растворов обусловлена преобладанием в их составе кремниевых кислот.

Другой важной особенностью изученных нами включений является полное отсутствие признаков наличия во флюидах газообразной углекислоты. Наличие углекислоты во включениях всегда отмечалось исследователями при изучении жильного кварца Яно-Колымской золотоносной провинции. Поэтому выявленная особенность указывает на весьма низкое давление при образовании жильного кварца в Ылэнском рудном узле (не более 0,1–0,2 кбар).

Таким образом установлено, что кристаллизация жильного кварца происходила на фоне снижения температуры от 300 до 190 °С из гидрокарбонатно-кремнистых растворов с концентрацией 2,6–9,2 мас.% NaCl-экв. в условиях низкого давления (0,1–0,2 кбар). Полученные данные позволяют предполагать малоглубинный характер золото-кварцевого орудуения Ылэнского золоторудного узла.

Гулиева А.Ш., Орехова Н.Н., Стефунько М.С. (ИПКОН РАН)

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТОВ И СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ И РУДНИЧНЫХ ВОД

На южном и среднем Урале выделяют следующие геохимические типы природно-техногенных и сточных вод горных предприятий.

1-й тип – кислые кислородные с высокими значениями окислительно-восстановительного потенциала. Такие условия отмечены в рудничных водах при добыче медно-колчеданных руд и в формирующихся в соответствующих техногенно-минеральных образованиях сточных водах. В водах в аномально высоких концентрациях присутствуют Cu, Zn, Fe, Mn, V, Ni и Co.

2-й тип – щелочные с низкими положительными значениями окислительно-восстановительного потенциала. Этим условиям отвечают подотвальные воды, продуцирующиеся, например, в шлаковых отвалах ОАО «Нижне-Тагильский МК». Наибольшие концентрации в этих водах имеются V, Cu, Mn и Cr.

3-й тип – околонейтральные бескислородные с низкими положительными значениями окислительно-восстановительного потенциала. Подобным геохимическим условиям отвечают дренажные воды Высокогорского, Естюнинского, Гороблагодатского и других железных рудников, протстоки ОАО «НТМК». Для большинства этих стоков характерны высокие содержания Mn, V.

Характеристика сточных вод горных предприятий

Показатель, мг/дм ³	ОАО «Учалинский ГОК» [2]	м. Бурибай [2]	Алтайский горно-обога- тительный комбинат [3]	Дегтярское ру- доуправление [4]
	Подотвальные воды	Подотвальные воды	Ствол шахты	Поверхностные воды
Сульфаты	10 590,0	237,3	—	—
Хлориды	153	1103,2	—	—
Медь	175,0	352,0	0,0028	9870,0
Цинк	970,0	220,0	0,046	1070,0
Железо	12,3	< 0,5	22	1840,0
Свинец	—	—	< 0,001	200,0
Никель	1,26	—	<0,001	—
Кальций	440,0	175,0	—	—
Магний	—	304,8	—	—
Натрий	—	51,6 (с K ⁺)	—	—
Марганец	—	176,0	2,69	5180,0
pH	2,1–3,1	2,95	7,1	2,83

4-й тип – околонеутральные и щелочные сульфидные с отрицательными значениями окислительно-восстановительного потенциала. Подобным геохимическим условиям отвечают воды шламохранилищ обогачительных фабрик и подотвальные воды железорудных месторождений. Фиксируется эпизодическое увеличение концентраций в воде Cu, Mn, Zn [1].

Состав рудничных и подотвальных вод некоторых предприятий представлен в таблице.

К магнийсодержащим природным минералам следует отнести магнезит, доломит, брусит, периклаз. Применение магнийсодержащих минералов в технологиях очистки вод в последнее время чаще предлагается в исследованиях в России и за рубежом. По увеличению числа публикаций минералы можно расположить в ряд доломит – брусит – магнезит.

Доломит – это часто встречающийся минерал из класса безводных карбонатов. Формула доломита выглядит как $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Содержание магния в породе достигает 20–22 %. Хотя химический состав разновидностей доломита из разных регионов меняется, примерный

состав может быть описан как $\text{CaO} - 30,4 \%$, $\text{CO}_2 - 47,9 \%$, $\text{MgO} - 21,7 \%$. В состав минерала могут также входить железо, марганец, цинк, кобальт.

В работе [5] полученные экспериментальные и расчетные данные показывают, что динамические емкости и удельные поверхности для чистого доломита составляют $E = 9 \times 10^{-5}$ и $S = 51,96 \text{ м}^2/\text{г}$, для модифицированного гумусом доломита $E = 9 \times 10^{-4}$ и $S = 517,96 \text{ м}^2/\text{г}$ соответственно, что на порядок выше, чем у немодифицированного доломита.

Основываясь на результатах исследования [6], термически обработанный доломит можно считать многообещающим вариантом для эффективной очистки от Ni и Zn .

Результаты исследований [7] показывают, что термообработка сырого доломита для получения кальцинированного доломита резко улучшила иммобилизирующие свойства Pb и Zn . В работе сделан вывод, что несмотря на то, что оксид магния показал высочайшую эффективность, Pb и Zn также могут быть эффективно иммобилизованы путем введения адекватного количества кальцинированного доломита.

Брусит – природный минерал класса гидроокислов, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, содержит 69% MgO и 31% H_2O . Возможны примеси Fe^{2+} (ферробрусит), Mn^{2+} (манганобрусит), Zn^{2+} .

Благодаря своему строению этот материал обладает свойством адсорбировать в своих молекулярных структурах катионы металлов. Высокая эффективность очистки при его применении достигается также за счет сильно развитой поверхности, присущей минералам класса гидроокислов, благодаря которой значительно увеличивается количество активных центров интенсивной адсорбции ионов металлов.

Исследования [8], проведенные на однокомпонентных модельных растворах, показали возможность сорбционного извлечения мышьяка (III) и (V) на природном минерале класса гидроокислов – брусите $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Показано, что образующиеся фильтраты удовлетворяют санитарным нормам, а осадки являются труднорастворимыми и пригодны к захоронению. Выявлено, что термическая обработка природного брусита позволяет увеличить его сорбционную емкость по отношению к соединениям мышьяка при сокращении расхода сорбента, а воздействие ультразвука на систему раствор–сорбент позволяет снизить время достижения сорбционного равновесия.

В работе [9] результаты экспериментов показали, что pH в диапазоне от 8,5 до 9,5 является оптимальным для удаления аммония с использованием растворимой формы брусита в качестве источника магния.

Магнезит – минерал, природный карбонат магния, имеет теоретический состав $47,62 \%$ MgO и $52,38 \%$ CO_2 . Обычно содержит изоморф-

ные примеси Fe, Ca и Mn, при увеличении их количества переходит в другие карбонаты, характерен изоморфный ряд магнезит (MgCO_3) – брейнерит ($(\text{Mg, Fe})\text{CO}_3$) – сидерит (FeCO_3).

Работ по очистке рудничных вод магнезитом в базах данных практически нет. Наиболее обширным и полным исследованием можно считать южноафриканское исследование [10].

Исследование показало эффективность магнезита для нейтрализации и удаления металлов из стоков AMD и других металлосодержащих промышленных стоков. Недостатком данной технологии является то, что большая часть редких и щелочноземельных металлов остается в растворе, что означает необходимость последующей обработки вод, такой как ионный обмен или обратный осмос для доочистки вод.

Периклаз – основной минерал оксида магния. Чаще встречается в виде круглых зерен неправильной формы. Получают периклаз путем высокотемпературного метаморфоза горных известковых пород. Периклаз может быть в виде волокнистого или чешуйчатого бурсита, серпентина, который образуется в случае выветривания.

Исследования Горного управления США [11] показали, что оксид магния (MgO) имеет много преимуществ перед известью или каустической содой для осаждения тяжелых металлов. Практически любой металл, который может быть осажден при повышении pH, можно обработать с использованием MgO .

Проведенные сравнительные испытания [12] показали, что в отношении фильтрации твердых частиц оксид магния превосходит кварцевый и гранатовый песок и превосходит известь в отношении осаждения тяжелых металлов.

Описаны эксперименты [13], связанные с влиянием температуры, времени контакта, концентрации фтора, концентрации оксида магния и природы оксида магния на адсорбцию фтора. Повышение концентрации оксида магния до 0,5 % приводит к большему процентному удалению фтора. Предполагается, что метод может быть адаптирован для использования в больших масштабах.

Исследования [14] показали, что были синтезированы полиуретановые (ПУ) среды, пропитанные различными количествами MgO . Проведена оценка эффективности удаления иона Mn (II) в водной фазе.

Рассмотрены синтез уникального наноструктурированного кластерного магнетитового композита с покрытием из оксида магния и его применение для удаления отдельных тяжелых металлов.

В работе [15] изучалась адсорбция ионов меди (II) с помощью наночастиц оксида магния. Мезопористые наночастицы MgO были получены относительно простым и экономичным методом синтеза сго-

рания. Было замечено, что 0,2 г нано-MgO может удалить 96 % ионов тяжелых металлов (Cu^{2+}) из стандартного (10 ppm) раствора хлорида меди (II) по сравнению с коммерческим MgO, который демонстрирует способность удаления 15 %. Это исследование может найти потенциальное применение при очистке сточных вод, содержащих ионы меди на уровне выбросов в окружающую среду при таких промышленных операциях, как горнодобывающая промышленность, химическое производство и гальваника.

Таким образом, в статье была рассмотрена характеристика магнийсодержащих материалов.

Обзор и анализ априорной информации показал, что магнийсодержащие материалы в последнее время активно изучаются в качестве нейтрализаторов, осадителей и сорбентов для очистки рудничных вод. Используются фракции материалов, обеспечивающие фильтрационное прохождение через магнийсодержащий фильтр или очистку в статических условиях при перемешивании.

Список литературы:

1. Семячков А.И. Техногенная трансформация окружающей среды горнометаллургических комплексов : специальность 25.00.36 «Геоэкология» : дис. на соискание учён. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Семячков Александр Иванович. – Екатеринбург : ФГУП РосНИИВХ, 2003. – 380 с.
2. Балакирев В.Ф., Аксенов В.И., Ничкова И.И., Крымский В.В. Обработка агрессивных промышленных стоков / – М. : РАН, 2019. – 115 с.
3. Горбачев И.В., Бабошкина С.В. Влияние хвостохранилищ Алтайского горнообогатительного комбината на окружающую среду // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4. – С. 179–182.
4. Смирнов Б.Н., Пакулин Е.Н., Щапов А.В. Использование шлаков черной металлургии для нейтрализации шахтных вод // Черная металлургия. – 2015. – № 5. – С. 84–86.
5. Латыпова Ф. М. [и др.]. Исследование адсорбционных свойств природных сорбентов для очистки сточных вод // Материалы II Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения». – 2018. – С. 155.
6. Calugaru I. L. [et al.]. Performance of thermally activated dolomite for the treatment of Ni and Zn in contaminated neutral drainage // Journal of hazardous materials. – 2016. – V. 310. – P. 48–55.
7. Tangviroon P. [et al.]. Immobilization of lead and zinc leached from mining residual materials in Kabwe, Zambia: Possibility of Chemical

Immobilization by Dolomite, Calcined Dolomite, and Magnesium Oxide // Minerals. – 2020. – V. 10, № 9. – P. 763.

8. Пушкарева Г.И., Коваленко К.А. Очистка природных и техногенных вод от мышьяка // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 9. – С. 294–298.
9. Huang H. M. [et al.]. Removal of ammonium from rare-earth wastewater using natural brucite as a magnesium source of struvite precipitation // Water science and technology. – 2011. – V. 63, № 3. – P. 468–474.
10. Masindi V. Remediation of acid mine drainage using magnesite and its bentonite clay composite: Ph.D. thesis. – University of Venda, 2015.
11. Schiller J. E., Khalafalla S. E. Magnesium oxide for improved heavy metals removal // Trans. Soc. Min. Eng. AIME. – 1984. – P. 276.
12. Schiller J. E., Tallman D. N., Khalafalla S. E. Mineral processing water treatment using magnesium oxide // Environmental progress. – 1984. – V. 3, № 2. – P. 136–141.
13. Venkateswarlu P. [et al.]. Investigations on the removal of fluoride from water: factors governing the adsorptions of fluoride by magnesium oxide // Indian Journal of Medical Research. – 1954. – V. 42, № 1. – P. 135–140.
14. Choi H. [et al.]. Magnesium oxide impregnated polyurethane to remove high levels of manganese cations from water // Separation and Purification Technology. – 2014. – V. 136. – P. 184–189.
15. Madzokere T. C., Karthigeyan A. Heavy metal ion effluent discharge containment using magnesium oxide (MgO) nanoparticles // Materials Today: Proceedings. – 2017. – V. 4, № 1. – P. 9–18.

До М.Ф.^{1,2}, Игнатов П.А.¹, Фан Т.Х.,^{1,3} (¹ ФГБОУ ВО «МГРИ» им. Серго Орджоникидзе, ² Вьетнамский геофизический отдел, г. Ханой, Вьетнам, ³ Горно-геологический университет, г. Ханой, Вьетнам)

ЭПИСКАРНОВАЯ Cu-U-Au МИНЕРАЛИЗАЦИЯ РАЙОНА КОН РА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ВЬЕТНАМЕ

Проявление Cu-U-Au минерализации обнаружено в пределах 25 км² в районе Кон Ра Центрального Вьетнама. Концентрации этих элементов, достигающие уровней бедных и рядовых руд, локализованы вдоль юго-западного крутопадающего разлома (рис. 1). В районе исследования преимущественно распространены кварцево-сланцевые сланцы, мраморы, биотитовые и амфиболовые гнейсы и амфиболиты позднепротерозой-

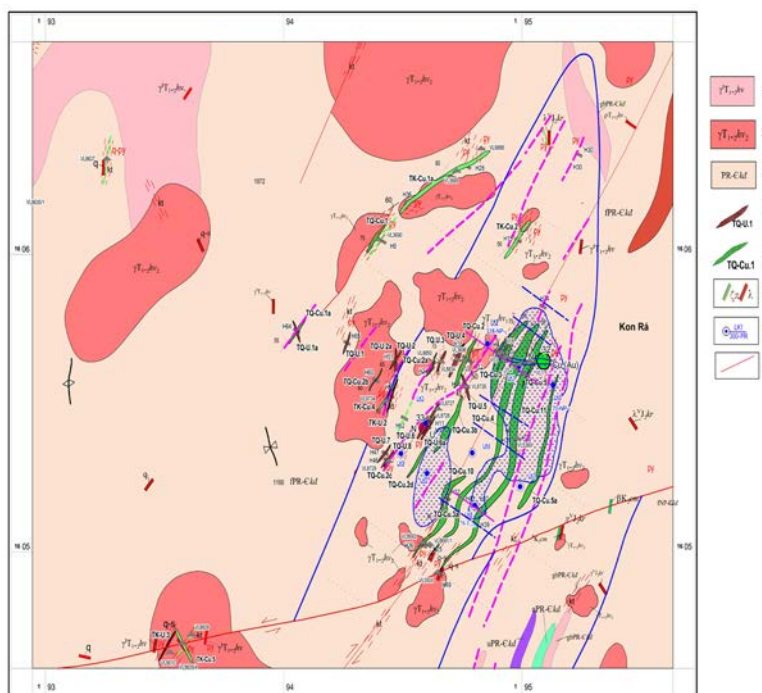


Рис. 1. Геологическая карта района 1:10000 Кон Ра, по [1]:

1 – ранняя фаза комплекса Хай Ван; 2 – вторая фаза комплекса Хай Ван; 3 – комплекс Хамдык; 4 – ураноносные зоны; 5 – рудоносные зоны меди; 6 – дайки; 7 – устья скважин; 8 – разломы

ско-кембрийского комплекса Хамдык (PR-Ckd), прорванные биотитовыми и двуслюдяными гранитами триасового комплекса Хай Ван. ($\gamma T_{1-2}hv$). Кроме того, в районе встречаются дайки основного и кислого составов, в том числе аплитовых гранитов, жилы пегматитов и кварца [1–4].

Результаты гамма-спектрометрии показывают, что в рудах в районе Кон Ра имеются высокие концентрации урана и тория (таблица). Анализ 42 рудных образцов показал, что содержание U колеблется от 0,007 до 4,41 %, в среднем 0,57 % (коэффициент вариации 153,64 %), что соответствует промышленным концентрациям. Содержание Th варьирует от 0,001 до 0,32 %, в среднем 0,06 % (коэффициент вариации 131,46 %). Среднее уран-ториевое отношение составило 9,49 [3].

По результатам аэрогамма-спектрометрии в районе Кон Ра выявлена субмеридиональная урановая аномалия с содержаниями урана бо-

Результаты гамма-спектрометрии 42 образцов, по [3]

Параметры	U, %	U ₃ O ₈ , %	Th, %	U/Th
Среднее	0,57	0,67	0,06	9,49
Стандартное отклонение	0,87	1,02	0,08	
Минимальное	0,007	0,008	0,001	
Максимальное	4,41	5,20	0,32	
Количество проб	42	42	42	
Коэффициент вариации V, %	153,64	153,64	131,46	

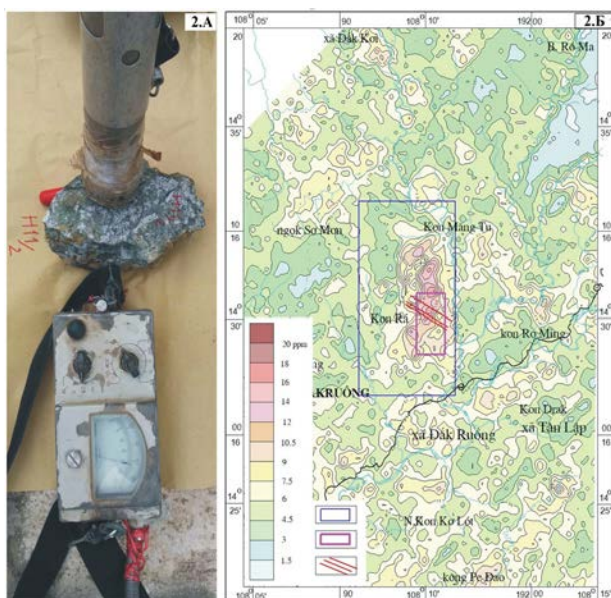


Рис. 2. А – мощность экспозиционной дозы излучения образца, взятого в канаве КР Н11 / 2 в районе Кон Ра, превышающая 3000 мкР/ ч.; Б – карта распределения содержания урана по данным аэрогамма-спектрометрии в районе Кон Ра

лее 9 ppm (рис. 2, Б). Она имеет эллиптическую форму и практически совпадает с блоками гранитов комплекса Хай Ван.

По результатам аэрообработки и радиометрического опробования выявлено семь радиоактивных аномальных зон, которые часто сопровождаются сульфидной минерализацией и концентрируются в зонах катакла-

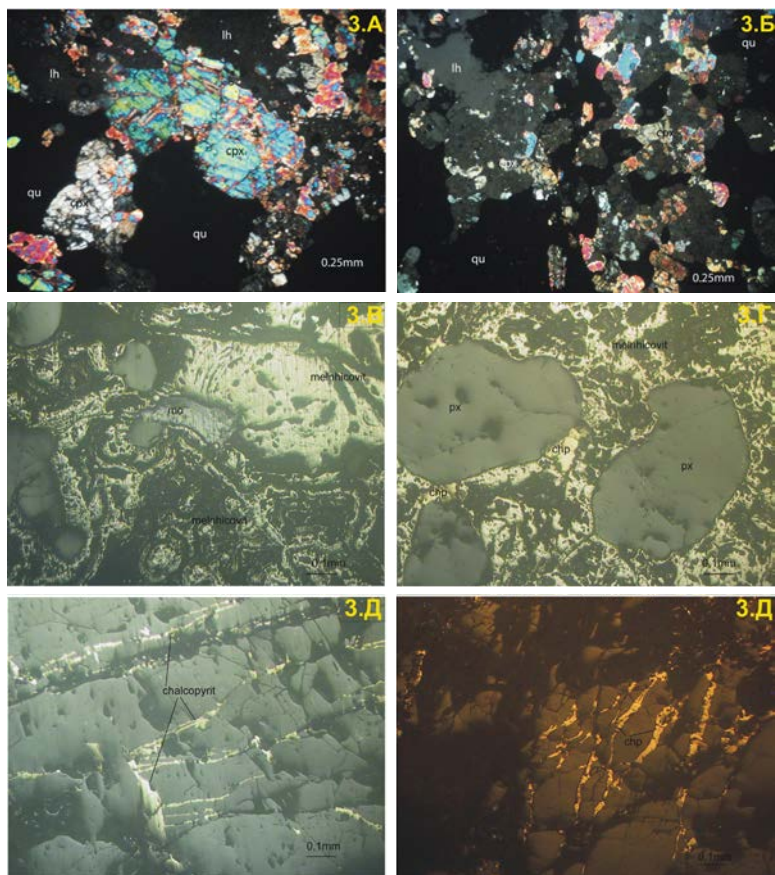


Рис. 3. А – цементная структура, рудный минерал (qu) выполняет цемент подробленного пироксена (срх), lh – пустота; Б – зерна катаклазированного пироксена; В – листочек молибденита в мельниковите; Г – халькопирит в виде мелких включений 0,01+0,5 мм в мельниковите; Д – халькопирит в виде коротких прожилков, заполняющих трещины, и по краям нерудных минералов

за. В целом аномалии радиоактивности сосредоточены западнее медно-рудных зон, которые к тому же имеют северо-восточную ориентацию. Надо отметить, что медная и урановая аномалии частично перекрываются в плане.

Максимальная мощность экспозиционной дозы радиоактивного излучения составила 3000 мкР/ч (см. рис. 2, А). Она приурочена к микро-

брекчированному плагиоклаз-пироксеновому скарну, содержащему медную минерализацию (рис. 3, А, Б).

Результаты минералогического анализа радиоактивных проб меди показали следующий минеральный состав руды (см. рис. 3, В–Д).

Мельниквит ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{S}^4$) является наиболее распространенным. Его колломорфные выделения окружают и связывают нерудные минералы (см. рис. 3, В, Г).

Халькопирит (CuFeS_2) в виде мелких частиц размером 0,01+0,5 мм, часто неравномерно распределен в мельниквите. Существуют также маленькие короткие прожилки, заполняющие трещины в нерудных минералах (см. рис. 3, В–Д).

Молибденит (MoS_2) встречается в виде небольших листочков, рассредоточенных в мельниквите. Размер выделений примерно (0,1+0,15) x (0,4+0,7) мм (см. рис. 3, В)

Некоторое количество пирротина ($\text{Fe}_{1-x}\text{S}_n$) небольшого размера, порядка 0,01 мм, находится в халькопирите.

Медная минерализация в большинстве случаев встречается в зонах катаклаза, затрагивающих диопсидовые мраморы, кварц-диопсидовые породы, диопсидовые скарны и кальцифиры, которые отнесены к метакarbonатным и метаскарновым образованиям. Они встречаются в тремолитовых и кристаллических сланцах комплекса Хамдык.

Золотомедная минерализация локализована в тектонических брекчиях, которые осложнены поперечными кварцевыми жилами. Она представлена азури́том и малахитом [3].

Выявленные проявления урана и меди в целом тяготеют к восточным контактам триасовых гранитов, где распространены скарны [3]. Собственно медносульфидная и урановая минерализации являются вторичными по отношению к скарнам и выполняют цемент тектонических брекчий крутопадающих нарушений.

Список литературы:

1. Чан Дуан. Отчет об оценке минеральных ресурсов меди в районе Кон Ра / Фонды Вьетнамского Министерства природных ресурсов и экологии. – Ханой, 2019.
2. До М.Ф., Нгуен З.Х. Тектоническое положение Cu, U, Au минерализации района Кон Ра (Центральный Вьетнам) // Сборник тезисов докладов I Молодежной конференции ЦНИГРИ. – М., 2020. – С. 82–85.
3. До М.Ф., Игнатов П.А., Фан Т.Х., Нгуен З.Х., Чан Д. Минералого-геохимические характеристики Cu-U-Au-проявлений в районе Кон Ра провинции Контум, Вьетнам // Известия высших учебных заведений.

Геология и разведка. – 2020. – № 63 (2). – С. 73–85. – <https://geology.mgri-rggru.ru/jour/article/view/623>.

4. Фан Т. Х., Петров А. В., До М.Ф. Обработка и интерпретация аномалий гравитационных данных в центральной области Вьетнама с использованием компьютерных технологий «Коскад 3D» // IX Международная научная конференция молодых ученых «Молодые – Наукам о Земле». – 2020. – Т. 4. – С. 293–296.

**Домаренко В.А. (чл.-корр. РАЕН),
Перегудина Е.В., Кенесбаев Б.К. (ФГАОУ ВО НИ ТПУ)**

ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЮГО-ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Все возрастающая потребность в алмазном сырье для разнообразных отраслей промышленности Российской Федерации ставит задачу дальнейших поисков новых месторождений, в том числе нетрадиционных генетических типов. Повышение спроса на природные алмазы объясняется ограниченными возможностями получения крупных высококачественных синтетических алмазов и ростом валютной значимости драгоценных камней.

Эффективность поисков новых месторождений тесно связана, с одной стороны, с разработкой и совершенствованием научных основ прогнозирования, а с другой – с освоением принципиально новых методик исследований. Именно последнее обстоятельство позволило в конце 70-х годов открыть новый промышленно-генетический тип месторождений алмазов в глубокометаморфизованных толщах Кокчетавской глыбы (месторождение Кумды-Коль) [1, 2, 5, 6].

Анализ геолого-структурной позиции района, его петрографо-минералогических и геохимических особенностей с большой степенью вероятности позволил предположить наличие подобного типа объектов в юго-западном обрамлении Сибирской платформы (Восточный Саян, Кузнецкий Алатау, Енисейский кряж и др.).

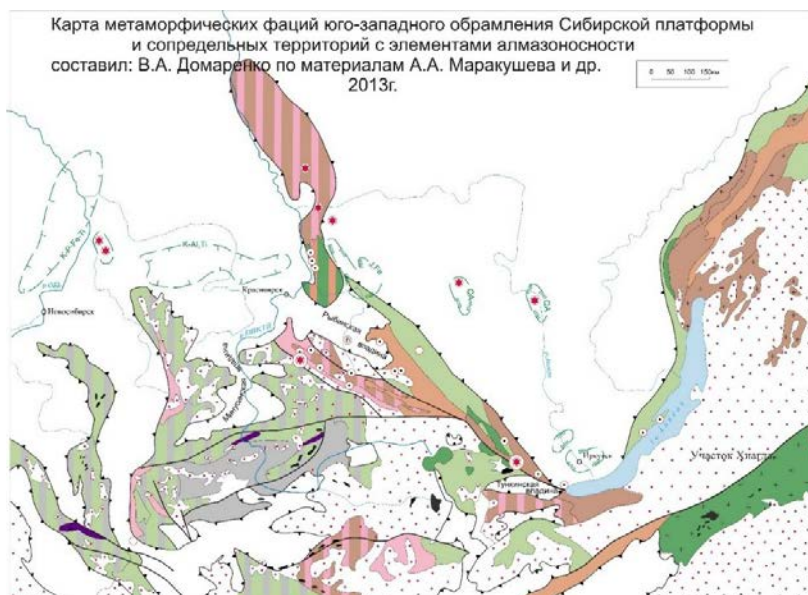
Строение и петрофизическая характеристика слоев консолидированной земной коры и верхней мантии района аналогичны кимберлитовым (Якутская) и лампроитовым (Западно-Австралийская, Уральская) алмазонасным провинциям. Для района исследований устанавливается широкое проявление разрывной тектоники со значительной амплитудой эпейрогенических движений.

Благоприятными предпосылками для такого заключения являются:

- наличие крупных региональных структур, сложенных породами высоких ступеней метаморфизма (гранулитовая, амфиболитовая фации) с высокобарическими минералами. К этим структурам относятся: Ангарино-Канский выступ Енисейского кряжа, Гарганская, Шарыжелгайская, Бельско-Китойская, Арзыбейская, Бирюсинская глыбы, Канский, Томский выступы, Дербинский, Сангиленский выступы, Билинский антиклинорий Алтае-Саяна (рисунок);
- присутствие в разрезе метаморфических толщ углеродистой составляющей как в виде сингенетического накопления, так и в виде эпигенетической графитизации, развитой вдоль тектонических структур;
- наличие разновозрастных и разнообразных по составу интрузивных комплексов-инициаторов изменения *P-T* условий и генераторов метасоматирующих растворов;
- наличие крупных тектонических структур как регионального, так и локального классов, трассируемых зонами милонитизации, гранитизации, интрузивными массивами и дайками лампроитового ряда (Томь-Колыванская зона), продуктами метасоматической деятельности самых различных рангов – от высокотемпературных кремнещелочных и скарноподобных пород до низкотемпературных диафоритов и аргиллизитов в областях развития метаморфических толщ, обогащенных углеродистым веществом;
- находки алмазов и его минералов-спутников как в аллювиальных отложениях рек вплоть до образования россыпных месторождений, так и в коренном залегании (бассейны рек Бирюсы, Чуны – Бирюсинская глыба, бассейн р. Крол – Дербинский антиклинорий, Гарганская и Арзыбейская глыбы Восточного Саяна, бассейн р. Тасеевой – Енисейский кряж, Томь-Колыванская зона и др.).

В 1991 году из зон высокометаморфизованных пород гранат-пироксен-амфиболового состава из района Верхне-Арзыбейского месторождения и примыкающих к нему отрогов г. Балахтисон в четырёх пробах обнаружены алмазы в количестве восьми кристаллов, в основном кубической формы, по морфологии аналогичные алмазам месторождения Кумды-Коль, расположенного в пределах Кокчетавской глыбы [1, 7].

Наиболее изученными являются Малиновское и Омутнинское алмазоперспективные поля Томь-Колыванской зоны, Туганского титанциркониевого рудного узла [3, 4]. Алмазоперспективные поля по занимаемой ими площади порядка 300–320 км² относятся к средним. Поля узлового типа и контролируются зонами пересечения глубинными разломами мобильных зон.



Условные обозначения к карте метаморфических фаций юго-западного обрамления Сибирской платформы и сопредельных территорий с элементами алмазоносности

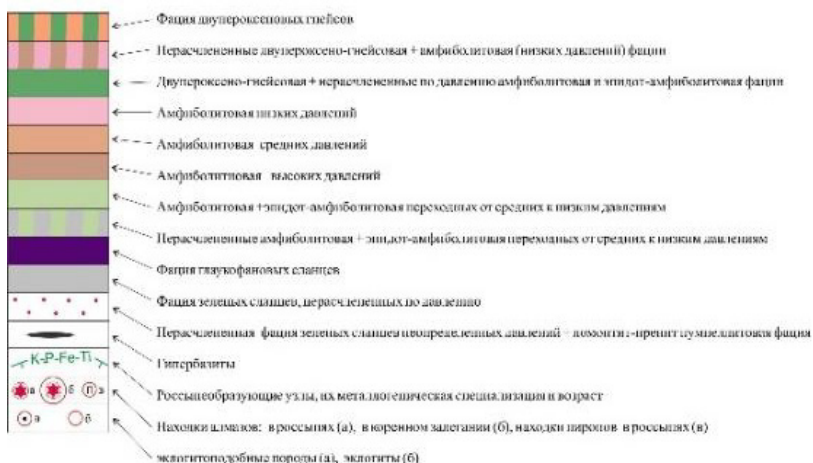


Схема распространения юга метаморфических фаций (с элементами алмазоносности) в складчатом обрамлении юга Сибирской платформы (составил В.А. Домаренко с использованием материалов А.А. Маракушева)

В пределах Малиновского поля в процессе изучения песчаных прибрежно-морских отложений кусковской свиты (P_2ks) были обнаружены алмазы, которые представлены различными морфологическими разновидностями. Преобладают правильные многогранники, в подчиненном количестве встречаются алмазы неправильной формы, агрегатные зерна, сростки и двойники.

Спектр основных габитусных групп туганских алмазов (плоскогранные, кривогранные и поликристаллические) наиболее близок к спектру основных габитусных групп алмазов Архангельской области и Северного и Восточного Кимберли Западной Австралии.

Вышеизложенные факты, как нам кажется, представляют несомненный интерес как с научной, так и с производственной точки зрения. Вполне возможно, что при организации широкомасштабных работ в этом регионе возможно открытие не только новой алмазоносной провинции, но и промышленно-значимых объектов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№19-45-700001 p_a).

Список литературы:

1. Ваганов В.И. Минеральное сырье. Алмазы // Справочник. – М. : Геоинформмарк, 1998. – 51 с.
2. Еремеев А.И. Глубинное строение Колывань-Томской складчатой зоны по данным ГСЗ и гравиметрии : материалы научно-практической конференции // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса и производительных сил Томской области. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2004.
3. Каменский Ф.В. Новый генетический тип промышленно-алмазоносных пород – лампроиты Западной Австралии. – М. : ВИЭМС, 1987.
4. Кашкаров И.Ф., Полканов Ю.А. Изучение алмазоносности технологической пробы из титаноносных песков Туганского месторождения. – Симферополь : ИМР Мингео СССР, 1971.
5. Лукьянова Л.И. [и др.]. Алмазоносность Урала: история исследований, состояние проблемы // Региональная геология и металлогения. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2005. – № 26.
6. Остроумов В.Р. Тектонический контроль и генетическая модель алмазных месторождений лампроитового типа // Разведка и охрана недр. – 2000. – № 3–4.
7. Печников В.А. Особенности локализации алмазопроявления в метаморфических породах // Разведка и охрана недр. – 1993. – № 4.
8. Трофимов В.С. Геология месторождений природных алмазов. – М. : Недра, 1980.

**Домаренко В.А. (чл.-корр. РАЕН), Пшеничкин А.Я.,
Перегудина Е.В., Кенесбаев Б.К. (ФГАОУ НИ ТПУ)**

О БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛАХ В ЧЕХЛЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

Западно-Сибирская плита (ЗСП) представляет собой типичную молодую платформу (плиту) и обладает свойственным этому типу структур земной коры двухъярусным строением. Складчатое основание (фундамент) плиты, имеющее, по-видимому, в основном палеозойский и лишь местами, возможно, докембрийский возраст, скрыто под мощным покровом спокойно залегающих или весьма слабодислоцированных отложений мезозоя и кайнозоя.

По особенностям геологического строения и условиям осадконакопления чехол ЗСП может быть подразделен на сформированный в пределах Внешнего пояса и Центральной области. Граница между ними чаще всего проводится вдоль участков сгущения изогипс кровли фундамента, представляющих собой уступы, к которым приурочено выклинивание ряда нижних горизонтов платформенного чехла (Земскова, 1991). Площадь работ целиком располагается во Внешнем поясе, представленном Приалтае-Саянской и Приенисейской моноклизмами, прослеживающимися от горно-складчатого обрамления на расстояние до 150–250 км.

В основании чехла ЗСП выделяются ниже-среднеюрские угленосные сероцветные континентальные и сероцветные отложения приморских равнин. Породы с разрывом залегают на древней коре выветривания и породах фундамента.

Угленосные отложения развиты по всей площади Чулымо-Енисейской впадины, в Приенисейской зоне и в эрозионно-тектонических грабенообразных структурах Кулундино-Барнаульской впадины. В Чулымо-Енисейской впадине и в Приенисейской зоне, в районе буроугольных месторождений, они выходят под чехол четвертичных отложений. В нижней части разреза залегают грубозернистые породы макаровской свиты с характерной повышенной глинистостью, обусловленной размывом и сносом древних глинистых кор выветривания. Отложения представлены озерно-аллювиальными, озерно-болотными сероцветными фациями песчано-глинистого состава с зеленовато-серыми, серыми, часто косослоистыми песчаниками, которые чередуются с темными глинами, алевролитами, аргиллитами и пластами бурых углей, развитых в пределах крупных впадин. В подчиненном количестве присутствуют прослои озерных мергелей и сидеритов, прослои погребенных почв.

Максимальная угленосность приурочена к верхней части разреза толщи (итатская свита), характеризующейся алеврито-песчаным составом с прослоями глин.

В этих отложениях содержатся в промышленных концентрациях Mo, Se, V, Re и другие полезные компоненты. Как попутные встречаются благородные металлы – золото, серебро. Металлы платиновой группы (МПГ) до последнего времени обнаружены не были. Однако самые последние исследования группы ВСЕГЕИ [6, 7] и ТПУ [1–5] показали, что в данных условиях могут образовываться значимые концентрации МПГ.

Этими исследователями выполнены определения МПГ, золота и серебра. В результате исследований получены следующие результаты:

1. В десяти разновидностях комплексных железо-редкоземельных руд Бакcharского рудного узла Западно-Сибирского пояса выявлены содержания золота (мг/т) 2,7–18,25, платины от 1,4 до 23,7, от 1 до 13,6. При этом минимальные концентрации отмечаются в слабожелезистых песчаниках, а максимальные – в рудах с содержанием железа более 40 %.

2. Установленное максимальное содержание платины, равное 0,57 г/т, приурочено к наиболее благоприятной из изученных геологических обстановок, характеризующейся наличием платиноносного прослоя лигнита в первично-сероцветных песках, выше и ниже которых располагаются окисленные породы. Значимые концентрации МПГ суммарно (в г/т): 0,178 (Pt – 0,06; Pd – 0,028; Ir – 0,09) выявлены ранее в лигните, расположенном на нижней границе зоны окисления вблизи ее латерального выклинивания.

3. В платиноносных лигнитах и бурых углях выявлено высокое содержание ряда редких и рассеянных элементов (в %): $n \cdot 0,1$ (Ni, Co, Zr, Sc, As, Y); $n \cdot 0,01$ (U, Yb, Be, Zn, Ge, V, Cr); $n \cdot 0,001$ (Mo), что может обеспечить комплексный характер оруденения, содержащего платиновые металлы. Такое комплексное оруденение, вероятно, распространено на значительных площадях. Его прогнозные ресурсы по ряду элементов могут быть значительными.

4. Установлено, что зоны окисления, контролирующие накопление МПГ, редких и рассеянных элементов, сформированные в результате проявления грунтово- и пластово-инфильтрационных процессов, имеют широкое распространение в мезозойско-кайнозойском чехле юго-восточной части и на восточной окраине Западно-Сибирской платформы. В юрско-нижнемеловой толще они установлены на правобережье р. Енисей. Протяженность границ выклинивания зон окисления в верхнемеловых и палеогеновых отложениях на территории Приенисейской моноклизы и в сопредельных районах Центральной тектонической облас-

ти достигает первых тысяч километров. В формировании зон окисления участвовали инфильтрационные потоки подземных вод, развивавшиеся в мезозойскую, кайнозойскую и современную эпохи от погружения Восточного Саяна, Енисейского кряжа, западного крыла древней Сибирской платформы и соответствующих палеоподнятий и от выходов мезозойско-кайнозойских отложений на поверхность. Для развития зон окисления благоприятен аридный климат, проявившийся в поздней юре – раннем мелу, а также аридизация климата в неогене – раннем антропогене.

5. Намечается тождественность геохимического типа платинометалльной специализации в аккумуляциях МПГ в черных сланцах, лигнитах и бурых углях [3]. Это может рассматриваться в качестве дополнительной аргументации практической значимости аккумуляций МПГ в лигнитах, бурых углях и вмещающих их проницаемых породах, связанных с развитием зон грунтового и пластового окисления, широко распространенных на обширной территории Западно-Сибирской платформы, на которой выделяется потенциально платиноносная Обско-Енисейская область.

6. Наряду с изучением эпигенетических процессов в проницаемых песчаных толщах мезокайнозоя предлагается одновременное выделение площадей под поисково-оценочные работы древних (погребенных) россыпей, локализующихся как в палеодолинах мезокайнозойского возраста, так и в прибрежно-морских песчаных отложениях с цирконом, титаномагнетитом и другими рудными минералами. Титаномагнетитовые россыпные месторождения известны по периферии Западно-Сибирской плиты в Томской, Новосибирской и Омской областях. В последние годы широкое распространение получает отработка россыпей золота и платиноидов методом подземного выщелачивания. Для этой цели наиболее благоприятны россыпи с глубиной залегания рудоносных песков 30–100 м, не связанные с современной речной сетью, с мелким золотом (< 1 мм) и коэффициентами фильтрации песков $> 0,5$ м/сутки (лучше > 3).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№19-45-700001 p_a).

Список литературы:

1. Домаренко В.А., Пшеничкин А.Я., Дмитриенко В.П. Комплексные руды Бакчара: история и перспективы // Вестник Российской академии естественных наук (Западно-Сибирское отделение). – 2019. – Вып. 22. – С. 37–50.

2. Коробейников А.Ф., Пшеничкин А.Я., Колпакова Н.А. Оценка осадочных железных руд Бакcharского месторождения на платиноиды // Качество – стратегия XXI века : материалы Международной научно-практической конференции. – Томск : НТЛ, 1998. – С. 40–41.
3. Платинометалльные месторождения мира. Т. III. Комплексные золото-редкометалльно-платиноидные месторождения / А.Ф. Коробейников. – М. : Научный мир, 2004. – 236 с.
4. Пшеничкин А.Я., Коробейников А.Ф., Колпакова Н.А. Проявление благороднометалльной минерализации в осадочных железных рудах Бакcharского месторождения // Проблемы и перспективы минерально-сырьевой базы предприятий ТЭК Сибири : материалы научно-практической конференции. – Томск : ТПУ, 2005. – С. 274–277.
5. Пшеничкин А.Я., Домаренко В.А. Петрографо-геохимические особенности руд Бакcharского месторождения // Вестник науки Сибири. Серия 1. Науки о Земле. – 2011. – № 1. – С. 13–18.
6. Шор Г.М. [и др.]. Рекомендации по дальнейшему развитию работ на Туганском россыпном месторождении. – Л. [СПб.] : ВСЕГЕИ, 1992.
7. Шор Г.М., Дитмар Г.В., Комарова Н.И. [и др.]. О формировании инфильтрационного оруденения элементов платиновой группы в чехле Западно-Сибирской платформы // Доклады РАН. – 1996. – Т. 351, № 4.

Дорохова Е.В., Белохвостик Д.М., Фролова А.А., Перхурова В.А.
(ООО «СЗГГК «Геокомплекс»), Воробьев Ю.В. (БГУП «ВСЕГЕИ»)

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ НАЛИЧИЯ ОБЪЕКТОВ КИМБЕРЛИТОВОГО СОСТАВА В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. БЕМБЕЗИ, РЕСП. ЗИМБАБВЕ

Кимберлит – порода ультраосновного состава с повышенной щелочностью. На южноафриканских месторождениях различают массивные кимберлиты, как правило, залегающие в форме жил, и кимберлитовые брекчии, заполняющие трубки взрыва.

Кимберлитовые трубки всех провинций мира разнообразны по морфологии, размеру, глубине заложения очагов, внутреннему строению, особенностям заполняющих пород, составу первичных материалов, а также основной массы кимберлитов, степени и характеру их переработки постмагматическими растворами и др. [2].

Несмотря на то, что кимберлитовые тела – это индивидуальные, практически не повторяющиеся в природе объекты, между ними суще-

ствуется много общего. На основании этого можно создать обобщенную модель кимберлитовой трубки для каждой из платформ: Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской [2].

Актуальность поиска кимберлитовых объектов связана с тем, что они имеют важное промышленное значение, являясь коренными источниками алмазов.

Наибольшее количество коренных и россыпных месторождений алмазов находится на территории Африки. Это обусловлено тем, что в тектонической инфраструктуре материка большое значение имеют древние архейские (2,5 млрд лет) и палеопротерозойские (2,0–1,8 млрд лет) кратоны. Согласно правилу Клиффорда, они являются структурами, наиболее благоприятными для образования кимберлитов и их алмазоносных формаций [1].

Расположение кимберлитовых полей Зимбабве контролируется тектоническими блоками архейских кратонов Зимбабве и Карру и метаморфических складчатых поясов Лимпопо, Мозамбика и Замбези позднеархейско-протерозойской консолидации [6]. В работе Серокурова Ю.Н. приведены результаты анализа космоснимков ЮАР, Анголы, Ботсваны, Зимбабве, Замбии. Согласно [8], рассматриваемый участок является благоприятным на обнаружение продуктов кимберлитового магматизма в связи с тем, что в пределах архейских кратонов Зимбабве развиты кольцевые структуры, контролирующие кимберлитовые поля с алмазоносными трубками. На основании этого на территории Зимбабве выделены два перспективных района – северный, в пределах кратона Зимбабве, и южный, – в пределах складчатого пояса Лимпопо. Территория поисковой концессии р. Бембези находится в пределах северного района с высокими перспективами развития кимберлитовых трубок [8].

Исследуемый участок работ приурочен к северной части архейского кратона Зимбабве, сложенного комплексом глубокометаморфизованных древних пород, большей частью представленных гранитогнейсами. Перекрывающими и россыпывещающими отложениями являются триасово-юрские толщи системы Карру и более молодые терригенные образования одноименной формации, а также четвертичные отложения речных террас. Осадочные породы, содержащие алмазы и золото, формировались непосредственно после внедрения кимберлитов в кембрийское и позже в юрско-меловое время. В фациальном отношении это аллювиально-пролювиально-озерные отложения. Они являются совместно с четвертичными отложениями основными коллекторами россыпей алмазов и золота [4].

Учитывая древний докембрийский возраст кимберлитов в пределах кратона Зимбабве, предполагается по крайней мере три цикла их

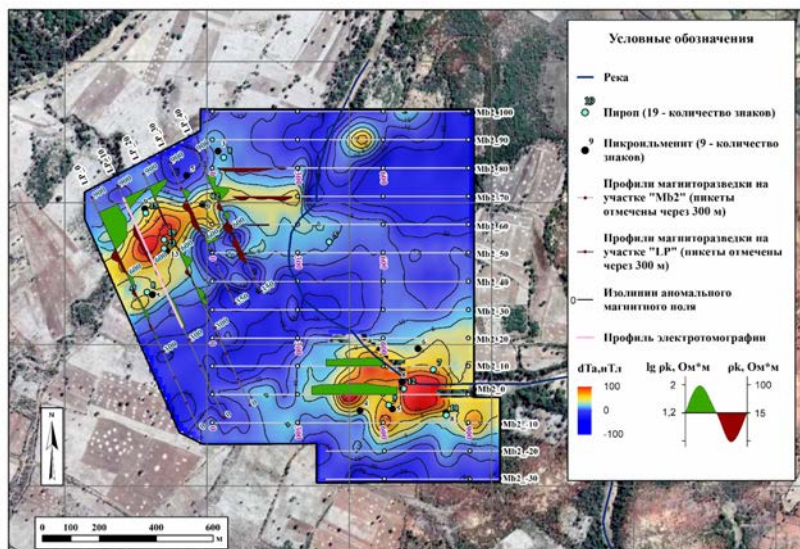


Рис. 1. Карта графиков кажущегося сопротивления (ρ_k) на изолиниях аномального магнитного поля (ΔT_a)

поствулканической эрозии и переотложения кимберлитового материала и алмазов в базальные горизонты формаций Карру, Калахари и четвертичные террасы современных речных долин [6].

Наличие базальных горизонтов, из которых и необходимо отбирать шлихо-минералогические пробы, является одним из важных факторов. Он отвечает за обнаружение коренных источников по ореолам рассеивания разрыва кимберлитов.

Наиболее важным критерием выбора участка работ в пределах площади концессии р. Бембези были находки минералов-спутников кимберлитов – пиропы, хромдиопсида и пикроильменита [4].

Петрофизические особенности кимберлитовых трубок. Магнитная восприимчивость кимберлитов изменяется в широких пределах и связана в первую очередь с присутствием магнетита. Наиболее часто встречаются значения магнитной восприимчивости кимберлитовых пород $(200\text{--}2500) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Плотность кимберлитов также изменяется в широких пределах – от 2,18 до 2,6–2,8 г/см³. Наиболее часто встречаются значения 2,2–2,5 г/см³. Что касается удельного электрического сопротивления кимберлитовых трубок, то оно зачастую меньше, чем у вмещающих пород, и меняется в пределах от единиц до первых сотен Ом·м. К примеру, на месторождениях Конго кимберлиты имеют сопро-

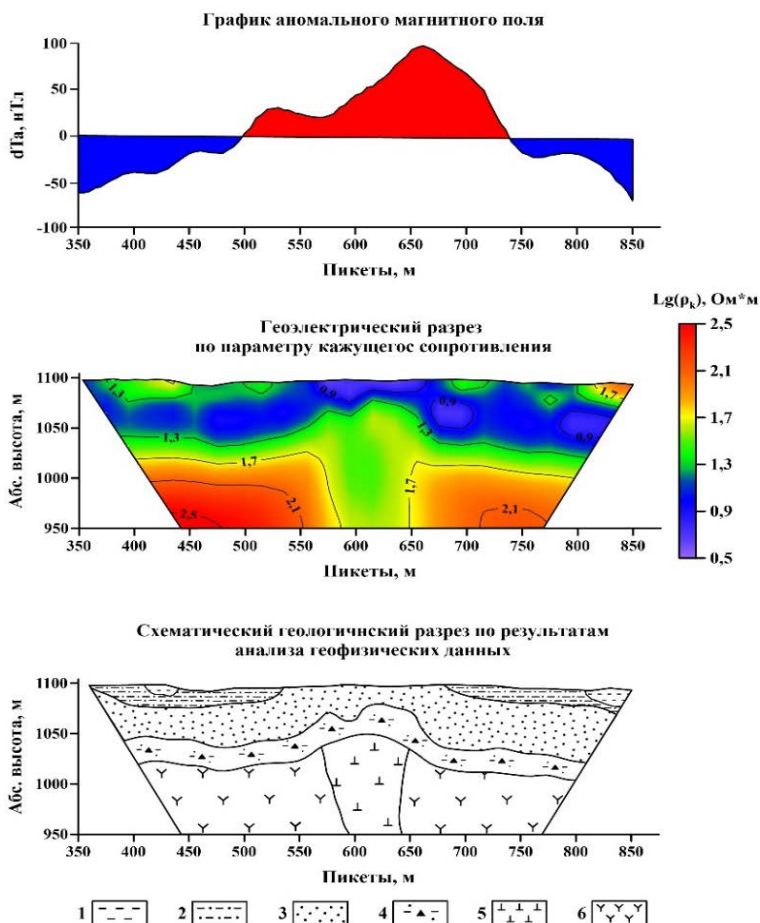


Рис. 2. Результаты работ по профилю 10:

1 – глинистые отложения; 2 – песчано-глинистые отложения; 3 – песчаные отложения; 4 – продукты разрушения; 5 – предполагаемое кимберлитовое тело; 6 – породы основного состава

тивление в среднем 20 Ом·м, а вмещающие их карбонаты – 390 Ом·м. В Южно-Африканской провинции сопротивление кимберлитовых даек составляет 3–4 Ом·м, а вмещающих глинистых сланцев – 12–15 Ом·м [3].

Изучение петрофизических особенностей кимберлитовых трубок позволило выбрать оптимальный комплекс методов при поисках данных объектов в районе р. Бембези (Зимбабве). Комплекс методов вклю-

чал в себя наземную магниторазведку, электроразведку методом сопротивлений и зондирование в модификации электротомографии для уточнения геометрии тел и глубины залегания верхней кромки.

Геофизические работы проводились в местах наибольшей концентрации минералов-спутников алмазов (МСА) с учетом их ореола рассеяния.

По результатам работ построены карта графиков кажущегося сопротивления (ρ_k), карта изолиний аномального магнитного поля (ΔT_a) (рис. 1), геоэлектрический разрез по сопротивлению (рис. 2).

По результатам комплексных геолого-геофизических работ были рекомендованы места для заложения скважин заверочного бурения.

Список литературы:

1. Дьяконов Д.Б. Кимберлитовые трубки Южно-Ангольского щита : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Дьяконов Дмитрий Борисович. – М. : МГУ, 2008. – 323 с.
2. Зинчук Н. Минералого-геохимические особенности кимберлитов и их прикладное значение. – 2012.
3. Никитский В.Е., Бродовой В.В. Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1987. – 471 с.
4. Никульшин А.М. Информационный отчет о поисковых работах на алмазы в долине р. Mbembezi (Республика Зимбабве). – М., 2012. – 27 с.
5. Устинов В.Н. Терригенные коллекторы алмазов Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ. – СПб. : Наука, 2015. – 531 с.
6. Kharkiv A., Romanko E., Zubarev B. Kimberlites of Zimbabwe: Abundance and composition // Russian Geology and Geophysics. – 2005. – V. 46, № 3. – P. 318–327.
7. Miracle Muusha. A geological study of the River Ranch kimberlite pipe and associated diamonds and mantle minerals: Limpopo mobil belt, Zimbabwe. – Thesis for the degree of Master of Science. – University of Cape Town. – 1997. – 56 p.
8. Remote forecast of kimberlite magmatism [Дистанционный прогноз кимберлитового магматизма] / Ю.Н. Серокуров, В.Д. Калмыков, В.М. Зуев ; Институт дистанционного прогноза руд (ООО) АК «АЛРОСА» (ПАО). – М. : Триумф, 2017. – 311 с.

**Дымшиц А.М., Шарыгин И.С. (ИЗК СО РАН, ИГМ СО РАН),
Мальковец В.Г. (НИГП АК «АЛРОСА»)**

**ТЕРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ, «РЕДОКС» УСЛОВИЯ
И МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАНТИИ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОГО КРАТОНА:
КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ АЛМАЗОНОСНОСТИ КИМБЕРЛИТОВ**

Кимберлиты являются коренными месторождениями алмаза. Однако для их экономической привлекательности необходимо, чтобы в субкратонной литосферной мантии (СКЛМ), которую кимберлитовые магмы опробовали, преобладали условия, благоприятные для существования алмазов. Ключевыми параметрами, определяющими эти условия, являются состав, строение, термическое и окислительно-восстановительное («редокс») состояние СКЛМ. В настоящем сообщении рассмотрено влияние последних двух факторов на потенциальную алмазоносность региона.

Для алмазов материнскими являются породы основания литосферной мантии (литосферного кля) с глубин более 130 км, которые транспортируются на поверхность кимберлитовыми магмами в виде ксеногенного материала. Для обозначения участка СКЛМ, находящегося по разрезу ниже глубины перехода графита в алмаз и выше границы литосфера-астеносфера, часто используется термин «алмазное окно»; мощность этого участка определяет количество потенциально алмазоносных пород в СКЛМ, которые могут быть захвачены кимберлитовой магмой. Глубина границы литосфера-астеносфера соответствует пересечению кондуктивной геотермы с адиабатой конвектирующей мантии.

На сегодняшний день существует несколько подходов для оценки термического состояния литосферной мантии. В данной работе для расчета палеогеотермы была использована программа FITPLOT, подробно описанная в [1]. Палеогеотерма реконструируется путем подгонки набора P - T данных, полученных с использованием минеральных термометров и барометров для мантийных ксенолитов и/или ксенокристаллов с учетом данных для толщины коры и ее теплогенерации. Программа FITPLOT количественно определяет толщину литосферы как пересечение кондуктивной геотермы с адиабатой конвектирующей мантии, а также позволяет рассчитать значение поверхностного теплового потока. Влияние входных параметров на построение результирующей геотермы наглядно представлено на рис. 1 и описано в работе [2].

Были проведены реконструкции палеогеотерм под кимберлитовыми трубками Комсомольская-Магнитная (КМ, Верхне-Мунское поле),

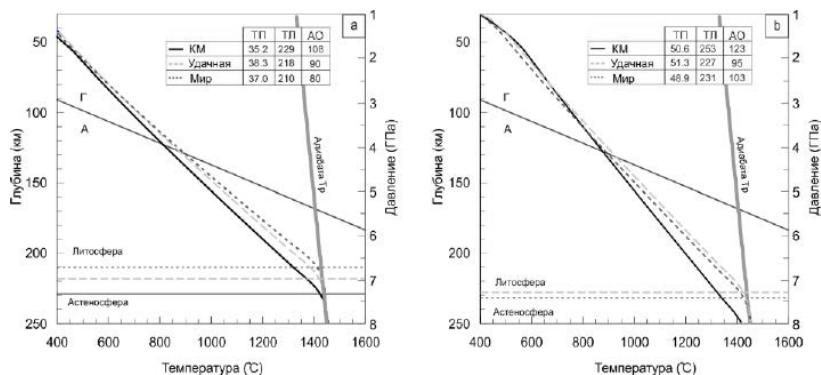


Рис. 1. Сравнение мантийных палеогеотерм под трубками Комсомольская-Магнитная (КМ), Удачная и Мир, построенных (а) с использованием данных для теплового потока земной коры из [3] и (б) автоматически заложенных в программе FITPLO:

ТП – тепловой поток на поверхности в мВт/м²; ТЛ – толщина литосферы в км; АО – «алмазное окно» в км, Тр – 1315 °С

Удачная (Далдынское поле) и Мир (Мирнинское поле) с использованием мантийных ксенолитов и ксенокристаллов клинопироксена [2]. Было проведено несколько расчетов с разными входными данными для теплогенерации коры. В модели #1 величины теплогенерации для верхней и нижней коры были зафиксированы при значениях 0,76 и 0,076 мкВт/м³, которые оценены для регионов, где находятся трубки, в соответствии с [3] (рис. 1, а). Для модели #2 были использованы более высокие значения – 1,12 и 0,4 мкВт/м³, рекомендованные в программе FITPLO (см. рис. 1, б). В пределах каждой модели были получены схожие, в пределах погрешности метода, значения толщины литосферной мантии и поверхностного теплового потока для всех трех полей (см. рис. 1, а, б). Модель #1 более корректна, так как в ней использованы данные для коры, полученные для изучаемого региона. Таким образом, для центральной части Сибирского кратона для трех кимберлитовых трубок – Удачная, Мир и КМ – были получены следующие оценки, варьирующие в узком диапазоне значений: тепловой поток ~ 35–38 мВт/м², толщина литосферы 210–230 км и толщина «алмазного окна» 80–110 км (см. рис. 1, а).

Судя исключительно по термическим параметрам и глубине литосферы, все трубки должны обладать одинаково высоким алмазным потенциалом. Однако для трубки КМ характерны низкая алмазоносность (0,6 кар/т) и высокое содержание округлых алмазов (до 33 %). В трубке Удачная таких алмазов гораздо меньше (12 %), а в трубке Мир они от-

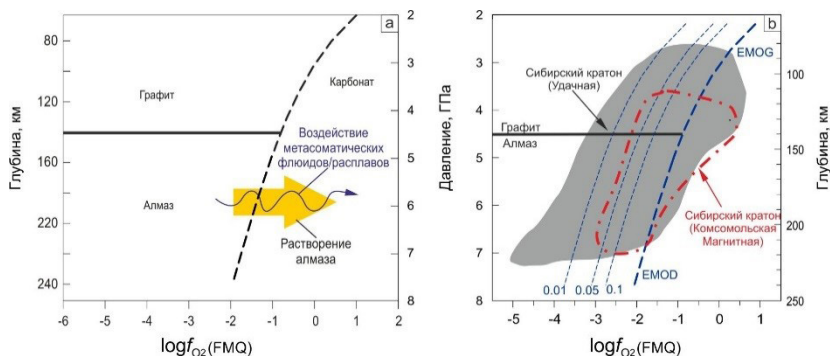


Рис. 2. Диаграмма давление – логарифм фугитивности кислорода ($\log f_{O_2}$) относительно буфера фаялит-магнетит-кварц (FMQ), показывающая (а) поля стабильности углерода в различных минеральных формах и (б) вариации фугитивности кислорода, рассчитанные для мантийных ксенолитов из трубок Удачная и Комсомольская-Магнитная:

пунктирные линии указывают фугитивность кислорода для карбонатного расплава с различной долей CO₂ (обозначена цифрами в мольных долях), буфер EMOG/G – реакция энстатит + магнетит = оливин + алмаз/графит

сутствуют, при том что алмазоносность этих трубок значительно выше – 1,2 и 3,5 кар/т, соответственно. Округлые алмазы формируются в процессе растворения [4]. Подобный процесс может быть связан с взаимодействием алмазов с кимберлитовым расплавом во время транспортировки к поверхности либо может происходить *in situ* в мантии под действием различных окисленных метасоматических флюидов/расплавов (рис. 2, а).

Используя результаты определения соотношения двух- и трёхвалентного железа в гранате мантийных ксенолитов из трубки КМ, нами в работе [5] были реконструированы окислительно-восстановительные условия, которые показали, что литосферная мантия под трубкой КМ неоднородна на глубинах 120–220 км и характеризуется вариациями фугитивности кислорода (f_{O_2}) от +0,26 до -2,64 логарифмических единиц относительно буфера фаялит-магнетит-кварц [FMQ] – дельта $\log f_{O_2}$ [FMQ] (см. рис. 2, б). Деплетированные перидотиты из трубки КМ дают более окисленные значения (на 1–2 логарифмические единицы в зависимости от глубины), чем деплетированные перидотиты из разновозрастной трубки Удачная (по данным работ [6, 7]). Более того, некоторые из дунитов и гарцбургитов из трубки КМ имеют значения f_{O_2} выше, чем лерцолиты трубки Удачная, расположенные на этих же глубинах.

Эти две трубки находятся на разных тектонических террейнах Сибирского кратона и различия «редокс» характеристик пород литосферной мантии могут указывать на то, что история метасоматического преобразования мантийных пород этих террейнов была разной.

Для удобства описания подобных процессов можно использовать EMOD/G буфер (реакция энстатит + магнетит = оливин + алмаз/графит) (см. рис. 2). Экспериментально было показано, что присутствие карбонатсодержащих расплавов сдвигает равновесие алмаз/графит–карбонат в область более низких значений fO_2 . Все образцы из трубки КМ лежат за пределами стабильности алмаз/графит, если в системе присутствует карбонатсодержащий расплав с долей CO_2 на уровне 0,05, в то время как для трубки Удачная большая часть гранатовых перидотитов остается в области стабильности алмаза. Эти данные могут объяснять более высокое содержания округлых, то есть растворенных, алмазов в трубке КМ. К сожалению, нет данных по определению «редокс» условий для мантийных перидотитов из трубки Мир.

Таким образом, информация об окислительно-восстановительном состоянии СКЛМ, рассмотренная в комплексе с термальным режимом и метасоматической историей СКЛМ региона, может быть использована для повышения эффективности поисковых работ и оценки алмазности кимберлитовых трубок.

Исследования поддержаны грантами Российского научного фонда (№ 18-77-00070, 18-77-10062, 18-17-00249).

Список литературы:

1. 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. – P. 729–742.
2. Dymshits A., Sharygin I., Liu Z., Korolev N., Malkovets V., Alifirova T., Yakovlev I., Xu Y.-G. Oxidation State of the Lithospheric Mantle Beneath Komsomolskaya-Magnitnaya Kimberlite Pipe, Upper Muna Field, Siberian Craton // *Minerals.* – 2020. – № 10. – P. 740.
3. Rosen O.M., Soloviev A.V., Zhuravlev D.Z. Thermal Evolution of the Northeastern Siberian Platform in the Light of Apatite Fission-Track Dating of the Deep Drill Core // *Izv.-Phys. Solid Earth.* – 2009. – № 45. – P. 914–931.
4. Khokhryakov A.F., Pal'Yanov Y.N. The evolution of diamond morphology in the process of dissolution: Experimental data // *Am. Mineral.* – 2007. – V. 92. – P. 909–917.

5. Dymshits A.M., Sharygin I.S., Malkovets V.G., Yakovlev I.V., Gibsher A.A., Alifirova T.A., Vorobei S.S., Potapov S.V., Garanin V.K. 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. – P. 549.
6. Goncharov A.G., Ionov D.A., Doucet L.S., Pokhilenko L.N. Thermal state, oxygen fugacity and C-O-H fluid speciation in cratonic lithospheric mantle: New data on peridotite xenoliths from the Udachnaya kimberlite, Siberia // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2012. – V. 357. – P. 99–110.
7. Yaxley G.M., Berry A.J., Kamenetsky V.S., Woodland A.B., Golovin A.V. An oxygen fugacity profile through the Siberian Craton – Fe K-edge XANES determinations of Fe³⁺/Fe in garnets in peridotite xenoliths from the Udachnaya East kimberlite // *Lithos*. – 2012. – V. 140. – P. 142–151.

Зайцева М.Н. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ОРУДЕНЕНИЯ МОРЯНИХО-МЕРКУРИХИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

В пределах Енисейского края (Красноярский край) наиболее перспективной на предмет выявления месторождений свинца и цинка является Ангаро-Большепитская минерагеническая зона. Наибольший промышленный интерес вызывают месторождения свинцово-цинкового стратиформного типа в карбонатных комплексах рифейского возраста.

В рамках проведённых (2017–2020 гг.) поисковых работ на свинцово-цинковое оруденение в пределах Морянихинской площади в Ангарском рудном районе были получены новые данные о геологическом строении и литолого-фациальных особенностях района работ, в том числе Морянихо-Меркурихинского рудного поля.

Территориально Морянихо-Меркурихинское рудное поле расположено в западной части Енисейского края, в пределах водораздельной части рек Меркурихи 2-й и Морянихи – правых притоков р. Татарки. В геологическом строении рудного поля принимают участие преимущественно верхнерифейские породы, соответствующие верхней части тунгусикской серии, представленные породами терригенно-карбонатной

формации, с которой ассоциирует свинцово-цинковый стратиформный тип месторождений в карбонатных комплексах. В пределах рудного поля выделяются три наиболее крупных рудопоявления – Меркурихинское, Морянихинское и Верхне-Пихтовое. Геологическое строение и литологический состав пород лучше всего изучены в районе Меркурихинского месторождения.

Рудопоявление Меркурихинское расположено в юго-восточной части Морянихинской антиклинали. Оруденение приурочено к вулканогенно-терригенной субформации терригенно-карбонатной формации. В тектоническом отношении Меркурихинское рудное поле относится к Большепитскому синклинию. Тектонические нарушения преимущественно имеют сбросо-сдвиговый характер. Вулканогенные породы представлены туффитами. В пределах рудного поля встречаются интрузии метаморфизованных доллеритов, в виде даек силлов, мощностью от десятков сантиметров до нескольких метров.

В основании разреза тонкое переслаивание темно-серых, глинистых и алевроито-глинистых сланцев и серых кварцитоидных алевролитов. В результате метаморфизма породы серицитизированы, хлоритизированы. В незначительных количествах в прослоях отмечается доломит. Повсеместно распространены порфиروбласты пирита. Залегание пород преимущественно наклонное или субвертикальное.

Выше по разрезу для пород характерно чередование интервалов терригенных пород и доломитовых разностей. Доломиты слоистые, массивные, в меньшей степени представлены строматолитовые, с брекчиевидными и подводно-оползневыми текстурами, местами перекристаллизованные до средне- и крупно-кристаллических мраморов, с примесью алевроитового и песчаного материала по прослоям.

Терригенные породы представлены глинистыми и алевроито-глинистыми сланцами (по алевролитам) с прослоями кремнисто-доломитистых алевролитов. Контакт между интервалами терригенных и доломитовых разностей постепенный и зачастую визуально не различим, выявляется по наличию доломитов. Породы перекристаллизованы, в терригенных разностях прослеживается градиционное распределение обломочного материала.

Все породы претерпели метаморфизм зеленосланцевой фации в большей или меньшей степени. Строение осложнено складчатостью нескольких порядков.

Рудовмещающая ассоциация литофаций характеризуется большим разнообразием слагающих пород и фациальной их изменчивостью. В нижней ее части выделяются следующие пачки (снизу-вверх): гравелистов; хемогенных железистых доломитов и известняков; доломитовых

и известняковых интракластов; биогермно-биостромовая водорослевых железистых доломитов. Выше залегает пачка алевроито-глинистых, глинистых и алевролитовых сланцев, относящихся к турбидитам. Отложения турбидитов являются инъективным элементом разреза рудовмещающей толщи. Они лишь на незначительное время меняли общий характер осадконакопления. Завершает разрез пачка карбонатных седиментационных брекчий, которые состоят из обломков доломитов, известняков, глинистого и карбонатно-алеврито-глинистого матрикса. В составе матрикса устанавливается наличие измененного пеплового материала. Анализ распространенности фациальных разновидностей оползневых отложений указывает на то, что оползанию подвергались отложения со склонов локальных подводных поднятий.

Текстура руд вкрапленная, прожилково-вкрапленная, часто брекчиевидная, в прожилках сложных руд – массивная. Структура обычно гипидиоморфнозернистая. Кроме галенита и сфалерита порою развит халькопирит, который образует вроски в галените, реже самостоятельные скопления. Пирит равномерно рассеян в породе или ассоциирует с галенитом и сфалеритом.

Список литературы:

1. Донец А.И., Конкин В.Д. Геолого-промышленные типы и региональные геологические особенности стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 31–39.
2. Зайцева М.Н., Инякин А.В. Типы месторождений свинца и цинка Енисейского края и основы их прогноза и поисков // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 167–168.
3. Зайцева М.Н., Инякин А.В., Кузнецов В.В., Конкина А.А. Прогнозно-поисковые модели полиметаллических месторождений Енисейского края // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 128–129.
4. Зайцева М.Н., Кузнецов В.В., Конкин В.Д., Серавина Т.В., Инякин А.В., Богославец Н.Н., Хачатуров М.М. Обстановки формирования месторождений свинца и цинка Ангара-Большепитской минерагенической зоны, Енисейский край // Руды и металлы. – 2020. – № 3. – С. 52–67.

5. Кузнецов В.В., Инякин А.В., Серавина Т.В., Зайцева М.Н., Корчагина Д.А. Перспективы выявления месторождений свинца и цинка в пределах Салаирской и Ангари-Большепитской минералогических зон // Цветные металлы и минералы – 2019. Сборник докладов Одиннадцатого международного конгресса. – 2019. – С. 677–686.

**Иванов Е.Е., Кравченко А.А. (ИГАБМ СО РАН),
Прокопьев И.Р. (ИГМ СО РАН), Иванов М.С., Журавлев А.И.,
Лоскутов Е.Е. (ИГАБМ СО РАН)**

**ОБЛОМОЧНЫЙ МЕТОД ПОИСКОВ РУДНОГО ЗОЛОТА
НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕГЛИЕРСКОГО УЗЛА
(АЛДАНСКАЯ ГРАНУЛИТО-ГНЕЙСОВАЯ ОБЛАСТЬ)**

Леглиерский золоторудный узел расположен в Эвотинском золотом районе Алдано-Станового щита [1, 2]. Узел характеризуется выходами докембрийских метаморфических и магматических пород, а также мезозойских щелочных магматических комплексов. С докембрийскими основными и мезозойскими щелочными магматическими породами связано коренное золото и современные золотые россыпи (рис., а). В районе ведется добыча золота из россыпей, но не ведется из коренных источников. Последние малочисленны и характеризуются небольшими запасами. Актуальной задачей является прогноз коренных источников для наращивания минерально-сырьевой базы золота [3].

Для определения ведущего типа минерализации и прогнозно-поисковых критериев золотоносности геологических комплексов проведены исследования петрографии и минералогии обломков горных пород в аллювиальных и делювиальных отложениях (см. рис., а). Сопоставлены количество знаков обнаруженного шлиховым опробованием золота и количество обломков различных типов горных пород в речном аллювии (см. рис., б). Сопоставление показывает, что количество шлихового золота в аллювии связано прямой корреляционной зависимостью с количеством обломков докембрийских кристаллосланцев, кварца, амфиболитов и долеритов (см. рис., б). Это свидетельствует о том, что наибольшими перспективами характеризуются докембрийские коренные источники.

Исследование минерального состава делювиальных обломков на различных площадях узла (см. рис., а) показало, что золото и серебро в

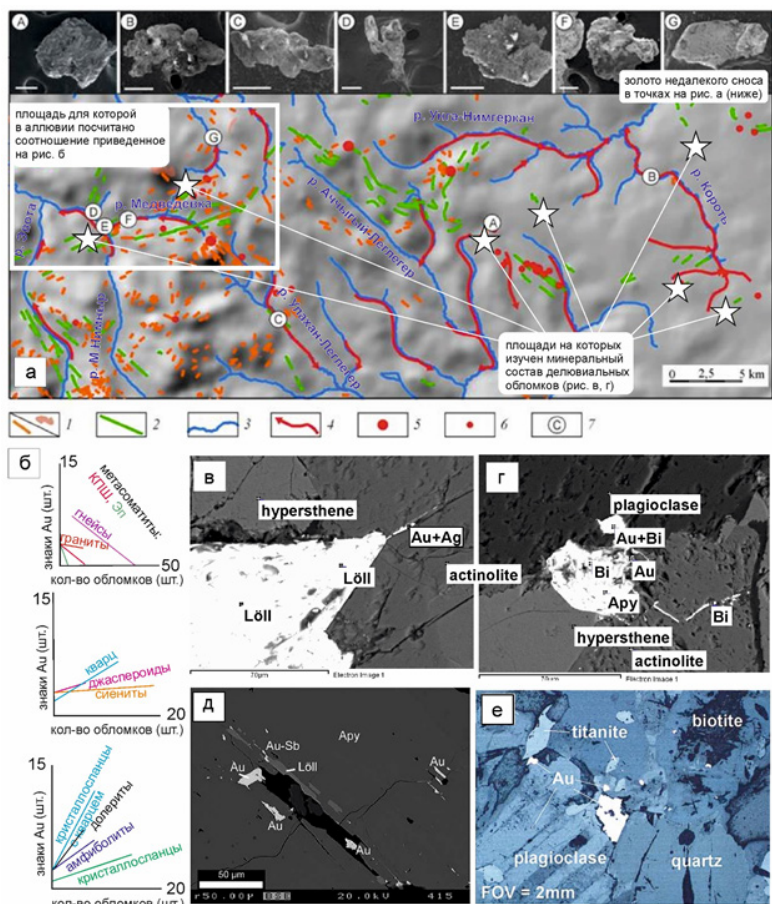


Схема опробования и результаты исследований: а – цифровая модель рельефа Леглиерского рудного узла; б – соотношение среднего количества знаков золота и среднего количества обломков различных пород в аллювиальных отложениях изученной площади (расположение см. а); в, г – минералы золотоносных парагенезисов, обнаруженные в делювиальных обломках (расположение см. а); д, е – сопоставимые золотоносные минеральные ассоциации гипозональных месторождений Fäboliden (Балтийский щит) [4] и Chalice (Австралийский щит) [5]:

1 – дайки и массивы мезозойских сиенитов; 2 – тела основных кристаллосланцев и амфиболитов; 3 – реки и ручьи; 4 – шлиховые ореолы рассеяния и россыпи золота; 5 – коренные месторождения золота в кристаллосланцах; 6 – точки с золотой минерализацией в различных породах; 7 – точки с шлиховым золотом недалекого сноса; Apy – арсенопирит; Löll – леллингит

Минеральный состав горных пород Леглиерского рудного узла по результатам исследований на микрозонде и сравнение с данными [4, 5]

№ пп	Рудовмещающие породы	Окружающие породы	В рудовмещающих породах обнаружены минералы		
			Интерметаллиды и т. п.	Сульфиды, арсениды и т. п.	Прочие минералы
Горные породы Леглиерского узла					
1	Амфибол-двупироксеновые кристаллические сланцы и амфиболиты	Гранат-биотитовые гнейсы (метаграувакки), гранитоиды, долериты	<u>Золото, Au + Bi ± Te, Bi ± Te ± Se ± Ni, Ag-Cu, Ag-Te...</u>	<u>Пирротин</u> , <u>пентландит</u> , <u>халькопирит</u> , <u>леллингит</u> , <u>арсенопирит</u> > <u>пирит</u> , <u>антимонит</u> , <u>молибденит</u> , <u>галенит</u>	<u>Плагиоклаз</u> , <u>диопсид-геденбергит</u> , <u>гиперстен</u> , <u>актинолит</u> > <u>магнетит</u> , <u>ильменит</u> ...
2	Кварц и метасоматиты	Амфибол-двупироксеновые кристаллические сланцы и амфиболиты	<u>Золото, серебро, висмут, Bi + Te ± Se, Ag-Te, Hg-Mo</u>	<u>Пирротин</u> , <u>халькопирит</u> , <u>леллингит</u> , <u>арсенопирит</u> > <u>галенит</u> , <u>сфалерит</u>	<u>Кварц</u> , <u>плагиоклаз</u> ± <u>пироксены</u> , <u>актинолит</u> , <u>хлорит</u> ...
Fäböliden гипозональное орогенное месторождение золота Балтийского щита					
3	Кварц-сульфидные жилы	Метаграувакки	<u>Золото</u>	<u>Арсенопирит</u> , <u>леллингит</u> , <u>пирротин</u> > <u>халькопирит</u> , <u>сфалерит</u> , <u>галенит</u> , <u>антимонит</u>	<u>Диопсид</u> , <u>кальциевый амфибол</u> , <u>биотит</u> , <u>кальцевый полевой шпат</u> , <u>плагиоклаз</u> ...
Chalice гипозональное орогенное месторождение золота Австралийского щита					
4	Кварц и метасоматиты	Амфиболиты	<u>Золото, Cu, Mo, Te-Bi, W</u>	<u>Пирротин</u> , <u>пирит</u> , <u>халькопирит</u> , <u>молибденит</u> , <u>галенит</u> , <u>сфалерит</u> ...	<u>Кварц</u> , <u>диопсид</u> , <u>гранат</u> , <u>амфибол</u> , <u>актинолит</u> , <u>Mg-роговая обманка</u> , <u>магнетит</u>

Примечание. Подчеркнуты минералы, ассоциирующие с золотом.

амфиболитах, кристаллосланцах и кварце связано главным образом с висмутом, теллуром, леллинgitом и арсенопиритом. С золотом также часто встречаются плагиоклаз, кварц и актинолит (таблица; см. рис., в, г). Минеральный состав золотоносных обломков схож на различных площадях. Схожа и морфология россыпного золота недалекого сноса (см. рис., а). Золото имеет плоские формы из-за того, что отлагается в трещинках (см. рис., в, г).

Форма выделений золота, сопровождающие его минеральные ассоциации и горные породы схожи с докембрийскими гипозональными месторождениями золота Балтийского и Австралийского щитов (см. рис., д, е; см. табл.) [4, 5]. На территории Леглиерского узла можно прогнозировать подобные месторождения.

Работы выполнены по госзаданию ИГАБМ СО РАН и договору с предприятием «Золото Селигдара».

Список литературы:

1. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. – М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.
2. Попов Н.В., Шапорина М.Н., Амузинский В.А., Смелов А.П., Зедгенизов А.Н. Металлогения золота Алданской провинции // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 5. – С. 716–728.
3. Молчанов А.В., Терехов А.В., Шатов В.В., Петров О.В., Кукушкин К.А., Козлов Д.С., Шатова Н.В. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 71. – С. 93–111.
4. Bark G., Boyce A., Fallick A., Weihed P. Fluid and metal sources in the Fäboliden hypozonal orogenic gold deposit, Sweden // Mineralium Deposita. – Published online: 04 April 2020.
5. Bucci L.A., Hagemann S.G., Groves D. I., Standing J.G. The Archean Chalice gold deposit: a record of complex, multistage, high-temperature hydrothermal activity and gold mineralisation associated with granitic rocks in the Yilgarn Craton, Western Australia // Ore Geology Reviews. – 2002. – № 19. – P. 23–67.

**^{190}Pt - ^4He ВОЗРАСТ САМОРОДНОЙ ПЛАТИНЫ ИЗ РОССЫПНОГО
ПРОЯВЛЕНИЯ РУЧЬЯ КУБАНАК (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)**

Одним из важных вопросов коренной платиноносности является стадийность кристаллизации МПГ, а также их возможная последующая перекристаллизация, связанная с моментом становления ультраосновных массивов на заключительном этапе. Одним из возможных методов решения данной задачи является метод ^{190}Pt - ^4He изотопного датирования.

Как было ранее установлено, высокая сохранность радиогенного гелия в самородных металлах платины позволяет оценить время образования и/или преобразования минералов платиновой группы в ходе геологической истории [3]. Цель работы – изучение возраста самородной платины из россыпного проявления р. Кубанак при помощи ^{190}Pt - ^4He метода изотопного датирования.

Россыпь, выбранная в качестве объекта исследования, локализована в северной части Республики Алтай и берет свое начало на склоне Малоаталыкского базит-ультрабазитового массива. Массив представлен вытянутой в северо-восточном направлении пластинообразной крутопадающей залежью ($2 \times 5,5$ км) [2]. Его основание сложено дунитами и близкими по составу серпентинизированными породами. Вверх по разрезу залегают верлиты и оливиновые клинопироксениты, реже встречаются оливиниты и оливиновые габбро. По возрасту массив отвечает раннему кембрийскому периоду и граничит с гранитами садринского комплекса ($\text{Є}_3\text{--O}_1\text{s}$) [1].

Изучаемые образцы были отобраны из концентратов, полученных при промывке золотоносных аллювиальных отложений.

Химический состав минералов платиновой группы был изучен в полированном шлифе методом микрозондового анализа на базе ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). Исследуемые минералы образуют зерна размером до 3 мм. Среди них преобладает изоферроплатина Pt_3Fe , характеризующаяся изоморфной примесью Cu до 3 ат. %. Сульфоарсениды МПГ, представленные ирарситом IrAsS и холлингвуртитом RhAsS , образуют включения в изоферроплатине. Значительно реже встречается лаурит RuS_2 , в единичных случаях – сперрилит PtAs_2 . Изученные минералы содержат включения силикатов, большая часть которых представлена амфиболом. Распространены включения орто- и клинопироксена, реже отмечаются плагиоклаз и стеклоподобные криптоагрегаты сили-

Табл. 1. Химические составы зерен изоферроплатины для анализа Pt-He возраста

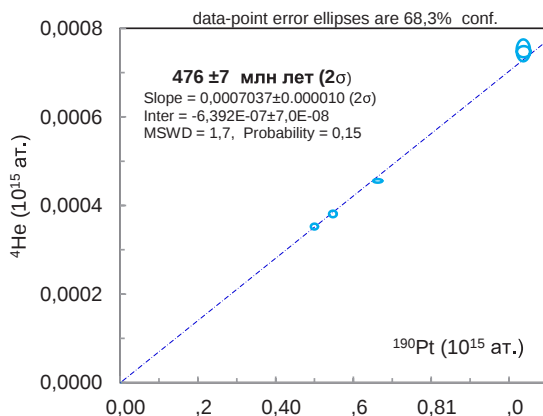
Проба	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Fe	Cu	Ni	Сумма
1-4	90,77	-	-	-	1,89	-	7,26	1,24	0,1	101,26
1-4	89,35	-	-	0,04	1,86	-	7,59	1,16	-	100
2-4	86,51	3,18	0,15	-	1,38	0,04	8,09	0,65	-	100
2-4	85,24	4,21	0,33	-	1,42	0,36	8,05	1,01	-	100,62
2-4	84,91	5,05	-	0,11	1,3	0,04	7,93	0,66	-	100
3-4	90,74	-	-	-	0,67	-	8,4	0,18	0,01	100
3-4	90,54	-	-	0,05	0,4	0,19	8,22	0,25	-	99,65

Табл. 2. Содержание ^{190}Pt , ^4He и Pt-He возраст изоферроплатины из р. Кубанак

Номер образца	Масса, мг	Pt, %	$^{190}\text{Pt} \times 10^{15}$ ат.	1 σ	$^4\text{He} \times 10^{15}$ ат.	1 σ	Pt-He возраст, млн лет	$\pm$
1.4 Б	1,388	90,0	0,4998	0,0061	35,24	0,43	477	6
1.4 Б	1,84	90,0	0,6625	0,0077	45,55	0,26	465	3
3.4 А	1,51	90,6	0,5473	0,0066	38,09	0,49	471	6
2.4 В	3,031	85,5	1,0368	0,0114	75,02	1,63	490	11
2.4 В	3,034	85,5	1,0378	0,0114	74,72	0,83	487	5

катов. После исследования состава для дальнейшего датирования были отобраны и выделены из шлифа три гомогенных образца изоферроплатины без включений (табл. 1).

Определение возраста самородной платины осуществлялось при помощи Pt-He метода в лаборатории изотопной геологии ИГГД РАН. Измерение проводится с использованием магнитного секторного масс-спектрометрического комплекса МСУ-Г-01-М для определения концентрации радиогенного гелия. Необходимый для точных измерений высокий вакуум достигается благодаря использованию трехступенчатой откачки: использование механического масляного насоса отвечает за получение форвакуума, масляный диффузионный насос – за достижение высокого вакуума [3]. Геттерные насосы экстрактора и анализатора поддерживают необходимый уровень вакуума и сорбируют выделяющиеся газы (H_2 , N_2 , O_2 , H_2O) во время анализа [3]. Подготовка проб для Pt-He метода изотопного анализа предполагает погружение предварительно взвешенного платинового зерна в «конверт» из танталовой фоль-



Линии регрессии в координатах ^{190}Pt – ^4He для образцов изоферроплатины р. Кубанак

ги совместно с чистой медью в соотношении 1:3. Далее проба помещается в специальную кювету из тугоплавкого материала, которая после откачки вакуума в шлюзе загружается в ренийевый цилиндр. Здесь происходит постепенное увеличение температуры в несколько этапов. Нагрев способствует выделению гелия из минерала, который затем путем диффузии попадает в анализатор масс-спектрометра. Полное выделение радиогенного гелия обеспечивают 1400 °С, отвечающие температуре плавления платины в присутствии меди. Результаты измерений концентраций радиогенного гелия представлены в табл. 2.

На основании полученных данных построена изохрона в координатах ^{190}Pt – ^4He при помощи программы Isoplot (рисунок). Возраст самородной платины, рассчитанный по тангенсу угла наклона изохроны, составляет 476 ± 7 млн лет.

Результаты исследования указывают, что время образования россыпных минералов платины находится в промежутке от верхнего кембрийского до нижнего ордовикского периода. Полученный возраст является более молодым относительно возраста раннекембрийского Малоаталыкского базит-ультрабазитового массива и соответствует времени внедрения гранитоидных интрузий садринского комплекса (ϵ_3 – O_1s). Таким образом, результаты Pt-He датирования изоферроплатины свидетельствуют о перераспределении платины под воздействием кислых растворов, подтверждая ее многоступенчатую историю образования. Полученные в результате исследований данные могут служить изотопно-геохимическими критериями типизации изоферроплатины.

Список литературы:

1. Богнибов В.И, Поляков Г.В. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири. – Новосибирск : НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1995. – 151 с.
2. Брысин М.П., Позднякова Н.Н., Шабалин С.И. Минералы платиновой группы бассейна реки Яман-Садра (Республика Алтай) // Металлогения древних и современных океанов-2019. – Миасс : ИМин УрО РАН, 2019. – С. 228–233.
3. Шуколюков Ю.А., Якубович О.В., Яковлева С.З. [и др.]. Геотермохронология по благородным газам. III. Миграция радиогенного гелия в кристаллической структуре самородных металлов и возможности их изотопного датирования // Петрология. – 2012. – Т. 20, № 1. – С. 3–24.

**Калинин М.А., Молчанов А.В., Терехов А.В., Михайлов В.А.,
Афанасьева Е.В. (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)**

ПЛАТИНОНОСНОСТЬ ТОММОТСКОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

Металлы платиновой группы являются одним из немногих видов минерального сырья с устойчивым спросом и крайне благоприятной экономической конъюнктурой. Интерес к ним обусловлен широким спектром отраслей применения: валютная сфера, автомобильная, электронная, нефтеперерабатывающая, ювелирная промышленность и многие другие. Из всей группы особенно ярко выделяется палладий: за последние пять лет его стоимость выросла более чем в три раза, заметно превысив стоимость золота. На этом фоне каждый новый платинометалльный объект приобретает все большее значение, а расширение ресурсной базы платиновых металлов государства становится все более актуальной задачей.

Развитие в России прогнозно-поисковых и разведочных работ позволило за последние 30 лет открыть и разведать ряд объектов, часть которых успешно эксплуатируется. Потенциал открытия легкодоступных объектов, выходящих на дневную поверхность, не исчерпан.

С точки зрения выявления перспективных на платиноиды объектов выгодно выделяется слабоизученная в данном отношении территория северо-востока республики Саха (Якутия). Многие десятилетия в пределах северо-востока Верхояно-Колымской складчатой области прово-

дились прогнозные и поисковые работы на различные виды полезных ископаемых, однако специфика геологического строения и спектр рудных ассоциаций по сей день делают платиноиды нетрадиционным для северо-востока Якутии видом минерального сырья.

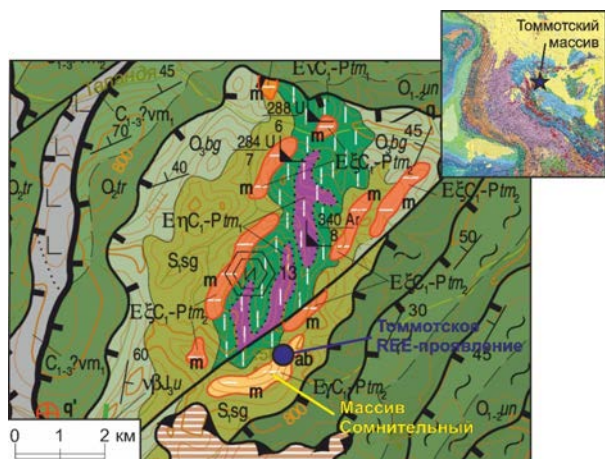
С момента обнаружения первых единичных находок металлов платиновой группы в шлиховых пробах в 1920-х годах до настоящего времени проведен относительно небольшой ряд исследований, посвященных проблеме платиноносности изучаемого региона [1, 5–7]. По результатам выше обозначенных и картосоставительских [2–4] работ выявлен ряд пунктов минерализации и рудопроявлений в пределах Селенняхского сегмента гипербазитового пояса Черского. Содержания суммы ЭПГ в рудных телах данных объектов от следов до 0,2 г/т (среднее ~0,08 г/т). Прогнозные ресурсы МПГ категории P_2 [3] составляют: 9,675 т – в Бурханской ветви гипербазитов и 90 т – в Эстериктях-Тасской.

В рамках работ по составлению комплекта Гостеолкарты-1000/3 листа R-54-Депутатский среди прочих задач авторами настоящего исследования изучается платиноносность данной территории. По результатам полевого сезона 2019 года впервые выявлены повышенные содержания металлов платиновой группы в магматических и метасоматических образованиях южной части позднепалеозойского Томмотского сиенит-щелочногаббрового массива.

Томмотский массив (рисунок) расположен на северо-востоке Якутии в пределах горной цепи Салтага-Тас в верхнем течении р. Таландя и представляет собой плитообразное, вытянутое в меридиональном направлении тело площадью около 8 км², с общим наклоном в восточном направлении.

Тектонически тело локализовано в пределах Верхояно-Колымской складчатой системы мезозоид северо-востока Азии, на западной окраине Колымо-Омолонского супертеррейна, в центральной части Селенняхского поднятия [3]. Структура последнего определяется преимущественно пологими дизъюнктивными нарушениями (надвиги и, реже, шарьяжи) северо-восточного простирания с падением плоскостей сместителя на юго-восток.

Щелочные и умеренно-щелочные габбро составляют большую часть массива площадью около 7 км² [12]. В них широко проявлены директивно-полосчатые текстуры, отражающие первичную расслоенность интрузива и наиболее четко проявленные в центральной части тела. С породами основного состава ассоциируют редкие жильные и линзовидные тела практически мономинеральных плагиоклазовых пород (плагиоклазитов) мощностью до первых десятков сантиметров и протяженностью первые метры [13].



Расположение Томмотского и Сомнительного массивов, по [3]

Щелочные пироксениты и горнблендиты вскрываются в центральной части массива, преимущественно на нижних гипсометрических уровнях, где образуют среди габброидов полосы меридионального простираения шириной до 500–700 м и протяженностью до 2,5 км. По направлению к подошвенной части интрузива наблюдается чередование габброидов и пироксенитов с общим увеличением основности пород по направлению к подошве тела.

Между первой и второй группой пород наблюдаются фациальные переходы как с резкой, так и постепенной сменой состава, а также тектонические контакты по малоамплитудным разрывным нарушениям, приуроченным к границам смены фаций. За счет интенсивного проявления постинтрузивных тектонических деформаций выходы пироксенитов и горнблендитов часто имеют блоковый характер.

Вмещающие Томмотский массив осадочные комплексы представлены преимущественно карбонатными породами Сычаганской толщи. В ее нижней части преобладают известняки тонкопереслаивающиеся, мелкозернистые и глинистые, слабо битуминозные, серой и темно-серой окраски, тонкопараллельно-слоистые с прослоями и крупными горизонтами глинистых и углеродисто-глинистых сланцев. Верхняя часть сложена известняками массивными, мелкозернистыми, серыми с редкими прослоями глинистых известняков.

У южного окончания Томмотского массива, выделяемого в *массив Сомнительный* (2,2 км²), сложилась особенная судьба: в 1954 году геологами «Дальстроя» здесь было открыто (в 1954 г. предварительно раз-

ведано) Томмотское редкоземельное месторождение, установлена связь колумбит-танталитовой и РЗЭ минерализации с телами альбититов, пегматитовыми и кварцевыми жилами, в которых выявлена вкрапленность редкоземельных минералов (монацита, ксенотима, ортита, чевкинита, пироклора, иттриалита, таленита, циркона, малакона, гадолинита, меланоцериата, фергусонита, торита, колумбита-танталита). Установлены также содержания золота до 5,97 г/т [13], приуроченные к сульфидизированным (молибденит, галенит, сфалерит, пирит, халькопирит) интрузивным породам.

На разных этапах изучения считалось, что практически вся выходящая на дневную поверхность площадь массива Сомнительный сложена щелочными гранито-гнейсами [8], окварцованными сиенитами и щелочными гранитами [9]. Несколько позже исследователи [3, 10, 11] на основании детального петрографического изучения установили локальное развитие продуктов щелочного метасоматоза.

В ходе изучения металлогенетических особенностей массива Сомнительный нами проведено опробование неизмененных осадочных, магматических, а также метасоматически проработанных пород. Большая часть интрузива вместе с экзоконтактами покрыта сколовым опробованием (42 образца) со сгущением в районе Томмотского проявления редких земель.

По результатам петрографических исследований установлено, что в составе массива Сомнительный резко преобладают кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты. Значительно реже встречаются тела альбит-кварц-полевошпатовых метасоматитов. Усредненному составу данных пород соответствует (в %): кварц (10–20), микроклин (15–70), эгирин (10–25), альбит (0–25), акцессории (щелочной амфибол, монацит, биотит, циркон, флюорит (1–10 %)). По характеру изменений они относятся к фенитам и образуют значительные ореолы вокруг сиенитовых и щелочно-сиенитовых тел, часто формируя переходные разности с первичными породами, что затрудняет их определение. Пироксены и щелочные амфиболы зачастую являются более поздними по отношению к кварц-полевошпатовой составляющей породы. Крупные кристаллы эгирина и щелочных амфиболов содержат многочисленные включения кварца и полевых шпатов.

Описанные породы повсеместно тектонизированы, что выражается в появлении линейности в ориентировки темноцветных минералов, локально наблюдается милонитизация. Подобные преобразования выражаются в гнейсовидности пород, осложняющей их диагностику.

В пределах восточной и западной частей массива локализуются тела кварц-микроклиновых пегматитов. По простиранию прослежива-

Содержания металлов платиновой группы в породах массива Сомнительный

№ пробы	Порода	Ru ppm	Rh ppm	Pd ppm	Ir ppm	Pt ppm	МПГ ppm	Au ppm
Пегматиты								
20187-1	Qz-Fsp пегматит	н.о.	н.о.	0,044	0,028	0,071	0,143	0,061
20190-1	Qz-Fsp пегматит	н.о.	н.о.	0,1	0,0026	0,0093	0,110	0,0045
20190-2	Qz-Fsp пегматит	н.о.	н.о.	0,12	0,019	0,057	0,196	0,061
1042/2	Qz-Fsp пегматит	н.о.	н.о.	0,021	0,02	0,052	0,093	0,057
1069/5-1	Qz-Fsp пегматит	н.о.	0,0027	0,2	0,11	0,27	0,583	0,33
1069/6	Qz-Fsp пегматит	н.о.	0,0034	0,13	0,0023	0,0059	0,142	0,04
1069/7	Qz-Fsp пегматит с амазонитом	н.о.	0,075	0,18	0,06	0,15	0,465	0,19
1069/14	Qz-Fsp пегматит	н.о.	н.о.	0,024	0,0068	0,019	0,050	0,031
40232/1	Qz жила в Qz-Fsp пегматитах	н.о.	н.о.	0,14	0,19	0,48	0,810	0,19
Метасоматиты								
20189-1	Qz-Fsp-Ab метасоматит	н.о.	н.о.	0,021	0,0046	0,015	0,041	0,035
20189-2	Qz-Fsp-Ab метасоматит	н.о.	н.о.	0,046	н.о.	н.о.	0,046	н.о.
20189	Qz-Aeg-Ab-Fsp метасоматит	н.о.	н.о.	0,082	н.о.	0,004	0,100	0,0025
20187-2	Qz-Aeg-Fsp метасоматит	н.о.	н.о.	0,12	0,078	0,24	0,438	0,072
20190-3	Ab-Qz-Fsp метасоматит	н.о.	0,03	0,14	0,0026	0,0066	0,179	0,013
Неизменные интрузивные породы								
20188	Сиенит щелочной	н.о.	н.о.	0,024	н.о.	0,0081	0,032	0,0032
20190	Эгириновый граносиенит	н.о.	н.о.	0,043	н.о.	н.о.	0,043	н.о.
40224/2	Гранит щелочной	н.о.	н.о.	0,052	0,0027	0,0083	0,063	0,003
40229/2	Габбро	0,0025	н.о.	0,061	н.о.	0,0052	0,069	0,042
40230/1	Пироксенит хлоритизированный	н.о.	н.о.	0,061	н.о.	0,0033	0,064	0,0095
40231/1	Гранит щелочной	н.о.	н.о.	0,016	0,014	0,042	0,072	0,058
1026/1	Пироксенит	н.о.	н.о.	0,042	н.о.	0,0046	0,047	0,026
1028/5	Габбро	н.о.	н.о.	0,036	0,0035	0,01	0,050	0,018
Вмещающие осадочные породы								
40221/1	Известняк	н.о.	н.о.	0,0086	н.о.	н.о.	0,009	-
40222/1	Известняк	н.о.	н.о.	0,031	н.о.	0,0029	0,034	-
40223/1	Мраморизованный известняк	н.о.	н.о.	0,025	н.о.	0,0044	0,029	-
40224/1	Сланец углеродисто-глинистый	н.о.	н.о.	0,031	н.о.	0,0034	0,034	-
40225/1	Известняк	н.о.	н.о.	0,031	н.о.	н.о.	0,031	-
40226/1	Сланец углеродисто-глинистый	н.о.	н.о.	0,03	н.о.	н.о.	0,030	-

Примечание. Анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории ФГБУ «ВСЕГЕИ» методом полного кислотного вскрытия (ICP-MS). Порог обнаружения – 0,002 г/т. Аналитики: В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов. Qz – кварц, Fsp – калиевый полевоый шпат, Ab – альбит, Aeg – эгирин, н.о. – значение ниже порога обнаружения, «-» – измерения не проводились. Оранжевом цветом разной интенсивности выделены значения: 0,05–0,1; 0,1–0,4; >0,4 ppm.

ются на первые сотни метров при мощности 0,5–15 м. В составе преобладает микроклин с кварцем, в меньших количествах – рибекит и эгирин. Порода характеризуется мелкопегматоидной структурой в виде сростаний неправильной формы зерен кварца и микроклина. Границы зерен нечеткие, ориентировка минералов отсутствует. Эндоконтактные зоны пегматитовых тел отличаются резким преобладанием кварца в составе, вплоть до монокварцевых жильных образований.

Лабораторно-аналитические исследования (ICP-MS и атомная абсорбция) проводились в ЦАЛ ФГБУ «ВСЕГЕИ». Среди прочих результатов впервые установлены систематически повышенные и выдержан-

ные концентрации металлов платиновой группы (представительная выборка дана в таблице).

Согласно новым данным в щелочных метасоматитах и кварц-микроклиновых пегматитах содержится от 0,041 до 0,81 г/т суммы МПГ. Среди платиноидов доминируют платина и палладий, в подавляющем большинстве проб прослеживается ряд $Pd \geq Pt \gg Ir$. Родий зафиксирован в четырех пробах (в пегматитах ~0,003 г/т, в углеродисто-глинистых сланцах 0,03 г/т), рутений повсеместно ниже порога обнаружения, осмий не определяли.

Общая картина опробования демонстрирует тяготение платиноидов к рудным телам Томмотского проявления, расположенным в восточной части массива Сомнительный. В описанных выше пегматитах, несущих колумбит-танталитовую и РЗЭ минерализацию, выявлены наиболее высокие концентрации суммы МПГ (в шести пробах из восьми содержания превышают 0,1 г/т, среднее 0,223 г/т), а кварцевая жила мощностью 0,5 м в краевой части пегматитового тела несет 0,81 г/т. Содержания в наиболее распространенных в пределах интрузива щелочных метасоматитах колеблются в пределах от 0,041 до 0,438 (среднее ~0,145 г/т). Встречающиеся значительно реже неизменные пироксениты, габбро, щелочные сиениты и граниты характеризуются концентрациями ЭПГ на уровне от 0,024 до 0,072 г/т.

Южный экзоконтакт массива Сомнительный опробован на всем своем протяжении, в известняках и углеродисто-глинистых сланцах значения не превышают 0,044 г/т суммы ЭПГ.

В ходе обработки данных опробования локализован участок площадью 1,5 км² с максимальными концентрациями платиноидов, сложенный щелочными метасоматитами со сгущением пегматитовых тел. Опробование проводилось на разных гипсометрических уровнях, что позволило подтвердить выдержанность содержаний не только в плане, но и на глубину ~200 м.

Предварительные авторские расчеты прогнозных ресурсов, основанные на методе прямого расчета по данным площадного опробования для локализованного участка 1,5 км² при глубине прогнозирования в 150 м, показали следующее: 35 т – палладий, 31 т – платина, 12 т – иридий.

Данная оценка не претендует на высокий уровень достоверности ввиду неполноты первичных данных, недостаточной плотности сетки опробования и отсутствия данных бурения.

По результатам проведенного исследования впервые установлена платиноносность массива Сомнительный, расположенного в южной части Томмотского позднепалеозойского сиенит-щелочногаббрового мас-

сива. Благодаря площадному опробованию в восточной части интрузива локализован наиболее перспективный участок, площадью 1,5 км², где среднее содержание платиноидов составляет 0,2 г/т. Выявлены пространственное тяготение повышенных содержаний ЭПГ к рудам Томотского проявления редких земель с золотом и приуроченность оруденения к телам кварц-полевошпатовых пегматитов и ореолам щелочных метасоматитов (фенитов), что лишний раз подчеркивает возможность комплексного освоения объекта в будущем.

В настоящее время нами проводятся работы по расширению аналитической базы как в количественном, так и в качественном отношении: дополнительный внешний контроль результатов лабораторно-аналитических исследований и расширение спектра элементов для более детального анализа метасоматических процессов. Ожидаются результаты определения содержаний платиноидов из центральной части Томотского массива – именно здесь выходят на дневную поверхность щелочно-ультраосновные комплексы, схожие с таковыми в пределах платиноносной Маймеча-Котуйской щелочной провинции.

Список литературы:

1. Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // Руды и металлы. – 2002. – № 6. – С. 25–37.
2. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Яно-Индигирская. Лист R-54-XXXIII, XXXIV. Объяснительная записка / Г.А. Гребенников, И.П. Шлыков. – М., 1963. – 95 с.
3. Петров Ю.Н., Шульгина В.С., Афанасьева Е.В. [и др.]. Отчет о результатах работ по объекту «Составление и подготовка к изданию Геолкарты-200 листов R-54-XXXIII, XXXIV (Томмотская площадь)». – М. : ФГУНПП «Аэрогеология», 2013.
4. Государственная геологическая карта СССР, масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист R-53-(55) – Депутатский. Объяснительная записка / Л.М. Натапов, Е.П. Сурмилова. – СПб., 1992. – 105 с.
5. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. [и др.]. Платиноносность золоторудных месторождений в черносланцевых толщах Северо-Востока СССР: проблемы и перспективы // Платина России. Т. 2. Кн. 2. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. – М. : Геоинформмарк, 1995. – С. 156–161.
6. Некрасов А.И. Перспективы платиноносности Верхояно-Колымской складчатой области // Платина России. – М. : Геоинформмарк, 2004. – Т. V. – С. 421–440.

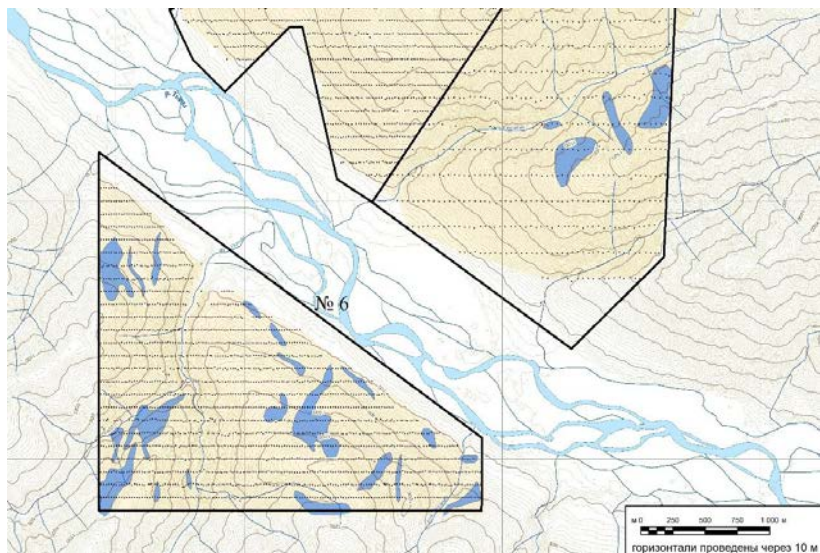
7. Некрасов А.И., Сенотрусов Ю.И., Тямисов Н.Э., Левин В.М., Соловьев В.Н. Перспективы платиноносности Северо-Восточной Якутии // Вестник Госкомгеологии РС (Я). – 2002. – № 1 (2). – С. 30–36.
8. Некрасов И.Я. Некоторые вопросы петрографии докембрийской кристаллической толщи Селенняхского кряжа на северо-востоке Якутии. Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской ЯАССР. – 1960. – Вып. 11.
9. Некрасов И.Я. Магматизм и рудоносность северо-западной части Верхояно-Чукотской складчатой области. – АН СССР, 1962.
10. Некрасов И.Я. Геохимия олова и редких элементов Верхояно-Чукотской складчатой области. – Наука, 1966.
11. Проценко Е.Г., Ненашев Н.И. Геологическая интерпретация радиогенного возраста пород Томмотской сложной габбро-сиенитовой интрузии // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. – 1969. – № 12. – С. 26–32.
12. Трунилина В.А., Орлов Ю.С. Томмотское месторождение редких земель. Отчет по работе «Доработка рабочей легенды к геологической карте м-ба 1:50 000 западной части Селенняхской серии листов и прогнозная переоценка Томмотского месторождения». – Якутск, 1995.
13. Шестеренкин Е.М. Отчет о результатах ревизионно-оценочных работ в бассейне среднего течения р. Уяндины за 1972–82 гг. (Тылындинский ревизионно-оценочный отряд). – Пос. Батагай, 1983.

Карась С.А., Панасенко Ю.М. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ

При проведении геохимических работ особое внимание следует уделять качеству отобранных проб. Данные аналитики, полученные по низкокачественным пробам, могут ввести в заблуждение при интерпретации полученных аномалий, что, в свою очередь, повлечет убытки недропользователя. На примере распределения некоторых элементов (Al, Sr, Y и др.) на Нежданнинском месторождении авторы продемонстрируют возможности выделения участков с отбором проб низкого качества. Также авторы выдвигают предположение о возможности использования значений изотопного состава S, C, O для этой же цели.

В основе гипотезы заложено представление о содержании в «плохих» пробах большого количества органических остатков растительности, что может отразиться в изотопном составе перечисленных выше



Отрицательные аномалии AI (обозначены синим), характеризующие участки с плохим материалом отбора

элементов [1]. Данный способ оценки качества предполагается особенно актуальным для районов с широким распространением многолетне-мерзлых грунтов, при опробовании которых определить качество отобранного материала представляется довольно сложной задачей. Проверка гипотезы будет проводиться на пробах Нежданнинского рудного поля, для которых известны типичный изотопный состав руд, магматических тел и осадочных пород [2]. Пробы для определений будут отобраны для анализа по профилям с заведомо известными участками опробования низкого качества и на участках, пересекающих рудные зоны (рисунок).

Список литературы:

1. Аньшакова В.В. Биотехнологическая механохимическая переработка лишайников рода *cladonia*. – М. : Академия Естествознания, 2013.
2. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.А. Нежданнинское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М. : ГЕОС, 2000.

**Козлов Г.А., Терехов А.В., Гузев В.Е., Соловьев О.Л.,
Хорохорина Е.И., Светлова Ю.Л. (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)**

**РУДНО-ФОРМАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ Pb-Zn-Mn
ОРУДЕНЕНИЯ В РАННЕКЕМБРИЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ
ОТЛОЖЕНИЯХ СИНСКО-БОТОМСКОЙ
СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННОЙ ЗОНЫ,
РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)**

Проявления свинцово-цинковой минерализации в карбонатных толщах юго-восточной части Сибирской платформы локально распространены в долинах рек Лена и Ботома юго-западнее г. Якутска. Рудовмещающими выступают отложения кембрийского карбонатного комплекса северного склона Алданской антеклизы. Они относятся к глинисто-доломит-известковой формации, формировавшейся в обстановке предрифового склона (Синско-Ботомская СФЗ). В позднедевонское время в связи с формированием Палеовилуйской грабен-рифтовой системы образовались протяженные зоны разрывных нарушений северо-восточного простирания, трассируемые дайками долеритов и кварцевых долеритов Чаро-Синской зоны. В мезокайнозойское время породы подверглись наложенным гипергенным изменениям.

На сегодняшний день известно пять рудопроявлений и более 40 пунктов Pb-Zn минерализации, которым повсеместно сопутствуют проявления марганца.

Предшественниками данные образования определялись как гидротермально-метасоматические жильные на основании предположения об их ассоциации с палеозойскими дайками долеритов [3] или нерасчлененными эффузивными образованиями, описываемыми как «крипто-карбонатиты» [1]; утверждалось, что причиной стратифицированного облика оруденения являются наложенные гипергенные процессы. Новые данные позволяют отнести оруденение к гидротермально-метасоматическому генетическому типу, стратиформной свинцово-цинковой рудной формации в карбонатных толщах (MVT тип), на что указывают выявленные на территории признаки, являющиеся атрибутивными для данного типа [2]:

1. Палеоклиматическая позиция – формирование рудовмещающих отложений во внутриплатформенной рифогенной обстановке в зоне перехода от лагунных солеродных к открыто-морским отложениям;

2. Приуроченность руд к карбонатной глинисто-известково-доломитовой формации;

3. Связь оруденения с рифтогенными внутриплатформенными разрывными нарушениями и минерализованными зонами дробления;

4. Сингенетично-эпигенетический облик оруденения;

5. Приуроченность оруденения к площадным зернистым тонкослоистым доломитам гидротермально-метасоматического происхождения и низкотемпературные окolorудные изменения вмещающих пород (джаспероидизация);

6. Линзовидная, пластовая морфология рудных тел средней части разреза при подчиненной роли гнездовидных и брекчиевидных руд в верхней части;

7. Выдержанный и простой минеральный состав руд (галенит, сфалерит, церуссит, смитсонит, пирит, марказит, пиролюзит, марганодомит);

8. Многоярусное размещение рудных залежей в рудовмещающем разрезе и характерная минеральная, геохимическая и текстурно-морфологическая зональность как на уровне рудопроявлений, так и на уровне потенциальных рудных узлов;

9. Характерный набор элементов-примесей как в рудах, так и в литохимических ореолах рассеяния в пределах потенциальных рудных полей (Ag, Cd, In, Sr, Co, Au);

10. Отсутствие прямой связи оруденения с магматизмом, распространение в пределах площади даек долеритов, трассирующих разрывные нарушения.

Установленное широкое распространение прямых и косвенных признаков оруденения позволяет говорить о перспективах обнаружения новых, в том числе промышленно значимых, объектов в пределах рассматриваемой территории.

Список литературы:

1. Гаев С.А. [и др.]. Отчёт о результатах поисков марганцевых руд в бассейне среднего течения р. Лены (Олёкминский и Орджоникидзевский районы Якутской-Саха ССР) : отчёт Правобережной партии за 1985–1991 гг. – Якутск : Якутскгеология, 1989.
2. 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. 31–38.
3. Масайтис В.Л., Трушков В.Н., Михайлов В.М. [и др.]. Золотоносность юго-западной Якутии. – Якутск : ИГЯФ СО АН СССР, 1970.

**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ДЕФЕКТНО-ПРИМЕСНОГО
СОСТАВА АЛМАЗОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК МИР И АЙХАЛ
(ЯКУТСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

Проведено исследование коллекции алмазов из месторождений Мир и Айхал с помощью методов инфракрасной (ИК) спектроскопии, фотолюминесценции (ФЛ) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В общей сложности изучены 70 образцов. Образцы из месторождений Мир и Айхал представляли собой октаэдрические кристаллы со ступенчато-пластинчатым и блоковым развитием граней с незначительными признаками природного растворения и травления. Алмазы месторождения Мир представлены бесцветными кристаллами, в то время как образцы из месторождения Айхал представлены бесцветными и окрашенными октаэдрами. По проанализированным ИК-спектрам алмазов было установлено наличие азота в формах А, В, плейтлетс и структурной примеси водорода. Преобладают кристаллы смешанного спектрального IaAB типа с различной концентрацией азота в А- и В-формах. Полученные данные по ИК-поглощению согласуются с литературными данными [1, 2]. Особенностью полученных спектров кристаллов из месторождения Айхал является значительное содержание плейтлетс (коэффициент поглощения от 1,2 до 54,5 см⁻¹). В целом кристаллы указанного месторождения характеризуются довольно высокой концентрацией примесных атомов азота (среднее содержание азота ~ 600 ppm) и степенью их агрегации в широком диапазоне 3–90 %. Интересно, что полученные данные по диаграмме Тейлора и по поведению плейтлетс показывают обособленность кристаллов с желтой и серой окрасками. Особенностью кристаллов месторождения Мир является высокое содержание низкоазотных алмазов типа Па с концентрацией азота меньше ~ 10 ppm. При этом общая концентрация азота для ряда кристаллов достигает значения приблизительно 1700 ppm. Для исследуемых кристаллов алмаза из месторождения Мир агрегация находится в широком диапазоне значений ~10–90 %. Следует отметить, что алмазы из выборки делятся на две группы согласно диаграмме Тейлора. Можно предположить, что имели место две стадии роста алмазов, и характерная внутренняя структура некоторых кристаллов обусловлена двухстадийным ростом.

Регистрация люминесценции при 77 К позволяет наблюдать тонкую структуру спектров и тем самым идентифицировать примеси и де-

фекты в алмазах. При возбуждении 405 нм преобладает голубое свечение, сопровождаемое зелеными и/или желто-зеленоватыми компонентами. Большинство образцов при возбуждении 532 нм имеют желто-оранжевое или оранжевое свечение. Изменение интенсивности и цвета свечения в пределах одного образца указывает на зональную структуру некоторых кристаллов. Основной вклад в синюю спектральную составляющую всех образцов вносит центр N_3V . Это один из наиболее изученных центров в алмазе с устоявшейся структурой трех атомов азота в первой координационной сфере вакансии. В желто-зеленой области спектра наблюдались центры S2, S3 и 532 нм. Эти центры широко распространены как в природных алмазах, так и в синтетических, выращенных в азотно-никелевых средах при температуре 1400 °C [3]. Парамагнитными аналогами данных дефектов являются центры NE2, NE1 и NE3, состоящие из иона Ni и двух или трех атомов азота в ближайших соседних положениях. Интересно, что низкоазотные кристаллы месторождения Мир характеризуются центром ФЛ 418 нм, для которого ранее была предложена структура дефекта в виде Ni-B в соседних углеродных положениях [4]. Центры H4 (B-центр + вакансия), H3 (A-центр + вакансия) и 491 нм (бесфоновая линия 490,7 нм) отмечены во многих кристаллах трубок Мир и Айхал. Центр 491 нм обычно наиболее интенсивен в природных пластически деформированных кристаллах алмаза типа IaA. Центр коррелирует с сигналом ЭПР в виде одиночной линии, которую ранее отнесли к проявлению оборванных связей в ядрах дислокаций [5]. Интересно, что этот дефект проявляется в спектрах люминесценции и ЭПР многих бесцветных кристаллов месторождения Мир. Широко распространенные в облученных образцах азотно-вакансионные центры NV^0 (575 нм), NV^- (637 нм) и GR1 (V^0) также наблюдались в некоторых кристаллах. Помимо известных люминесцентных дефектов, описанных выше, в большинстве кристаллов месторождений Мир и Айхал наблюдались малоизученные центры 563,5, 613, 676,5 нм. Причем данные центры проявляются как в окрашенных, так и в бесцветных образцах.

Для изучения трансформации дефектов и установления их структуры был проведен отжиг в диапазоне температур 600–1700 °C. При 600 °C полностью отжигается дефект 563,5 нм, что указывает на механизм междоузельно-вакансионной аннигиляции [6]. Отжиг при 1500 °C (high-pressure high-temperature) бесцветного образца приводит к появлению центра 576 нм, который характерен для пластически деформированных кристаллов алмаза с коричневой окраской, при этой же температуре полностью отжигается 676,5 нм. Дефект 613 нм полностью исчезает в результате отжига при температуре 1700 °C (high-pressure

high-temperature). Начало отжига дефектов 613 и 676,5 нм одновременно с появлением центра 576 нм при $T = 1500$ °C может означать взаимодействие с одиночными атомами азота. Известно, что при такой температуре наблюдается процесс агрегации с образованием А-центров [7]. Стоит отметить, что в результате отжига при температуре 1500 °C в кристалле типа IIa из месторождения Мир образуется центр 558,5 нм. Данный центр является характерным для месторождения São-Luís (Бразилия) [8]. Появление указанного дефекта в якутских образцах указывает на то, что алмазы из месторождения São-Luís образовались в условиях более высокой температуры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-77-00039).

Список литературы:

1. Хачатрян Г.К. Азот и водород в алмазах мира как индикаторы их генезиса и критерии прогноза и поисков коренных алмазных месторождений : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Хачатрян Галина Карленовна. – ЦНИГРИ, 2016. – 254 с.
2. Криулина Г.Ю. Конституционные характеристики алмаза из месторождений Архангельской и Якутской алмазоносных провинций : специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» : дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Криулина Галина Юрьевна. – М. : МГУ, 2012. – 201 с.
3. Nadolinny V.A., Yelisseyev A.P. New paramagnetic centres containing nickel ions in diamond // *Diamond & Rel. Mat.* – 1993. – V. 3. – P. 17–22.
4. Rakhmanova M.I., Nadolinny V.A., Yuryeva O.P. Impurity Centers in Synthetic and Natural Diamonds with a System of Electron Vibronic Lines at 418 nm in Luminescence Spectra // *Physics of the Solid State.* – 2013. – V. 55. – P. 127–130.
5. Nadolinny V.A., Yurjeva O.P., Pokhilenko N.P. EPR and luminescence data on the nitrogen aggregation in diamonds from Snap Lake dyke system // *Lithos.* – 2009. – V. 112S. – P. 865–869.
6. Komarovskikh A., Rakhmanova M., Yuryeva O., Nadolinny V. Infrared, photoluminescence, and electron paramagnetic resonance characteristic features of diamonds from the Aikhal pipe (Yakutia) // *Diamond Relat. Mater.* – 2020. – V. 109. – P. 108045.
7. Properties, Growth and Applications of Diamond / ed. by Nazare M.H., Neves A.J. – London : INSPEC, The Institution of Electrical Engineers, 2001. – 427 p.

8. Yuryeva O.P., Rakhmanova M.I., Nadolinny V.A., Zedgenizov D.A., Shatsky V.S., Kagi H., Komarovskikh A.Yu. The characteristic photoluminescence and EPR features of superdeep diamonds (São-Luis, Brazil) // *Physics and Chemistry of Minerals*. – 2015. – V. 42. – P. 707–722.

Курасов О.А. (ФГАОУ ВО НИ ТПУ)

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗАПАСОВ И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ КАОЛИНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Для эффективного и рационального использования и развития минерально-сырьевой базы месторождений каолина, а также решения стратегических и оперативных задач в области недропользования необходимо внедрение алгоритмов для анализа массивов данных с целью обеспечения мониторинга информации о текущем и прогнозном состоянии минерально-сырьевого потенциала (МСП) запасов и прогнозных ресурсов. Первоочередной задачей здесь является экономическая оценка МСП каолиновых руд на основе анализа конъюнктуры российского рынка минерального сырья с учетом определения их МСП.

Каолин – продукт разрушения горных пород, содержащий полевой шпат и слюдяные граниты, гранодиориты, гранитные гнейсы, слюдяные сланцы, аркозийские песчаники. Каолин возникает при разложении каолинизированных пород, богатых полевым шпатом. Разложение горных пород, образующих каолин, в природных условиях происходит в результате выветривания и воздействия гидротермальных процессов [1, 2].

Среди доступных в настоящее время методов расчета значения минерально-сырьевого потенциала (МРПМ) в недрах наиболее целесообразными следует считать следующие.

В.П. Василенко, В.А. Алискеров, М. Денисов и др. [3] рассмотрели следующие варианты расчета стоимости минерально-сырьевого потенциала:

1. МСП как валовая потенциальная стоимость всех полезных ископаемых в недрах с учетом стоимости всех разведанных и оцененных объектов недропользования (залежей) категорий А, В, С₁ и С₂, а также стоимости оцененных ресурсов категорий Р₁, Р₂ и Р₃ без учета потерь при добыче, обогащении и переработке.

2. МСП как стоимость части полезных ископаемых, добытых из недр, учитываемых в доказанных, ранее оцененных запасах и прогноз-

ных ресурсах объектов (месторождений) недропользования с учетом потерь при добыче, обогащении и переделе.

3. МСП как величина активных разведанных и оцененных запасов, извлекаемых из недр (категории А, В, С₁ и С₂), и оцененные ресурсы объектов недропользования (залежи). Последние относят к условной категории С₂ с помощью коэффициентов подтверждения, которые выводятся статистически на основе ретроспективного анализа результатов поисковых работ в регионе.

А.Я. Кац, С.А. Кимельман, Н.К. Никитина и др. [1, 4, 5] предлагают рассчитывать величину совокупного МСП, которая включает стоимостную оценку балансовых запасов (категории А, В, С₁ и С₂) и прогнозных ресурсов объектов недропользования (месторождений и прогнозных участков) различной степени перспективности. При этом прогнозные ресурсы категорий Р₁, Р₂, Р₃ предварительно должны быть приведены в запасы категории С₂ с применением соответствующих коэффициентов.

Вопросы комплексного изучения минерально-сырьевой базы каолиновых руд, воспроизводства минерально-сырьевой базы каолиновых месторождений с точки зрения системного подхода, а также эффективности минерального комплекса в области недропользования с учетом специфики этого сырья в настоящее время недостаточно хорошо изучены и требуют научного обоснования.

По происхождению каолины делятся на первичные (автохтонные) и вторичные (аллохтонные). Элювиальные, гидротермально-метасоматические и ремодифицированные бокситы относятся к первичным, глинистые осадочные каолины и каолинсодержащие пески – к вторичным. Элювиальные каолины, представляющие собой продукты выветривания кислых полевых шпатов и осадочных пород (гранитоиды, гнейсы, аркозовые пески) и образовавшиеся в результате переотложения каолинита, получили свое наибольшее развитие в промышленности.

Месторождение полезных ископаемых относится к первой и второй группам сложности геологического строения.

В зависимости от содержания (или отсутствия) конкретных минеральных компонентов в каолиновом сырье различают его основные природные типы: высокоглиноземистые, нормальные и щелочные каолины, каждый из которых, в свою очередь, делится на подтипы и разновидности.

Подавляющая часть добываемого каолина подвергается обогащению, с помощью которого удаляются вредные примеси, содержащие железо, титан и серу. Одновременно производится подбор ряда сырья, содержащего кварц, слюду светлую, калиевый полевой шпат, каждый из

которых также может быть использован в промышленности. Выбор технологической схемы обогащения определяется исходя из свойств минералов, входящих в состав каолинового сырья, и сопутствующих компонентов, с учетом требований потребителей к качеству обогащенного каолинового концентрата и побочных продуктов.

Основными методами обогащения каолинового сырья являются гравитационные методы, применяемые при влажном и сухом обогащении. Обогащаются как отдельные виды каолинового сырья, так и смеси различных видов в заданных пропорциях. Перед обогащением сырье подвергается дезинтеграции и гомогенизации, для чего используются дробилки, ударные мельницы и другое оборудование.

Независимо от способа обогащения важнейшей задачей является предотвращение технологического загрязнения получаемых концентратов (особенно железа).

Часть каолина, обогащенного с целью придания ему новых или улучшенных потребительских свойств, отправляется на дополнительную переработку. К видам такой обработки относят: рафинирование, то есть очистку от примесей; расслоение – расщепление более крупных пластинчатых частиц каолинита на более мелкие; прокаливание, с целью получения дегидроксилированного вещества; модификация – обработка химическими реагентами для изменения поверхностных свойств каолинита.

Особое значение имеют процессы переработки, которые позволяют удалить из обогащенного каолина часть присутствующих в нем оксидов железа и титана и тем самым повысить его белизну как в сухом состоянии, так и после прокаливания. Для этого в основном используется химическое отбеливание под воздействием восстанавливающей кислой среды и высокоградиентная электромагнитная сепарация. Первый метод преимущественно снижает содержание железа, а второй более эффективно удаляет мелкие минералы титана и связанные с ним минералы железа.

Повышение белизны этими методами требует дополнительных затрат, что экономически оправдано только для получения продуктов, пользующихся повышенным спросом, несмотря на относительно высокую стоимость. В процессе обогащения каолина получают каолиновый и кварцевый концентраты. При обогащении щелочных каолиновых и кварц-полевошпат-каолиновых песков дополнительно извлекается концентрат полевого шпата. Кварцевый концентрат может использоваться как сырье для стекольной и строительной промышленности, а также при производстве керамических изделий (в том числе фарфора и фаянса), абразивов (в том числе карбида кремния). Концентрат поле-

вого шпата используется в производстве керамики и, в частности, электрокерамики.

Оценка МСП проводится как для отдельного месторождения, так и для группы месторождений, рудных районов и т. д.

Для его расчета используется формула

$$МСП = (Q_{зан} + Q_{прогн} + K_{подтв})P,$$

где $Q_{зан}$ – запасы полезных ископаемых в недрах в единицах измерения, принятых Государственным балансом запасов (категории А, В, С₁, С₂); $Q_{прогн}$ – прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых (категории Р₁, Р₂, Р₃) или перспективные ресурсы углеводородов (категория D), общераспространенные полезные ископаемые и подземные воды в объемах, которые могут быть реализованы в относительно ограниченные сроки (до 50 лет); $K_{подтв}$ – коэффициент подтверждаемости прогнозных ресурсов; P – цена единицы конечной товарной продукции на мировом рынке.

В результате была построена таблица прогнозов добычи, производства и потребления товарного каолина (таблица).

МСП месторождений каолиновых руд рассчитан также для техногенных месторождений, которые являются востребованными благодаря минеральному сырью, содержащемуся в отходах горнодобывающей промышленности.

В целом ситуация на рынке каолина благоприятна для развития промышленного производства. Прогноз потребления и цен на товар-

Прогноз добычи, производства и потребления товарного каолина

Индикаторы	Единицы измерения	Годы		
		2005	2017	2021 (прогноз)
Мир				
Добыча (МСП)	млн т (млн руб.)	67	72 (936)	75
Производство	млн т	45	48	50
Россия				
Добыча (МСП)	млн т (млн руб.)	0,9	1,3 (16,9)	2,0
Производство *	млн т	0,5 (0,1)	0,7 (0,2)	1,0 (0,4)
Потребление *	млн т	0,8 (0,3)	1,0 (0,4)	1,4 (0,7)
Центральный федеральный округ				
Потребление *	млн т	0,3 (0,2)	0,5–0,6 (0,3)	0,6–0,7 (0,4)

Примечание. * – общее производство и потребление товарного каолина (производство и потребление обогащенного каолина).

ный каолин имеет положительную динамику. Однако товарная продукция российских производителей уступает зарубежным. Причинами этого являются низкое качество сырья и технология обратного обогащения. Основные российские потребители товарного каолина сосредоточены в Центральном, Северо-Западном и Уральском федеральных округах, что предопределяет целесообразность разработки и освоения собственных МСП каолиновых руд.

Список литературы:

1. Ахмет В.Х., Комаров М.А. Оптимизация параметров воспроизводственных циклов ГИН на основе развития основных положений контрактной системы в сфере закупок // Разведка и охрана недр. – 2014. – №. 7. – С. 59–65.
2. Геращенко Т.М. Инновации в обеспечении конкурентоспособности машиностроительного производства // Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития. – 2015. – С. 130–133.
3. Мелкумов Я.С. Организация и финансирование инвестиций. Учебное пособие. – 2002.
4. Ахмет В.Х. Рынок геологии и нерыночная основа ценообразования на продукцию и работы по ГИН и ВМСБ // Разведка и охрана недр. – 2011. – №. 11. – С. 49.
5. Горбачев Б.Ф., Чуприна Н.С. Минеральное сырье. Каолин: Справочник. – М. : Геоинформмарк, 1998.

Ливинский А.И., Горшков А.И., Новикова О.В. (ИТПЗ РАН)

РАСПОЗНАВАНИЕ РУДОНОСНЫХ МОРФОСТРУКТУРНЫХ УЗЛОВ НА КАВКАЗЕ

В работе с помощью математических методов распознавания образов предпринята попытка определить геолого-геофизические особенности морфоструктурных узлов, контролирующих локализацию рудных месторождений на территории Кавказа. Задача решается математическими методами распознавания образов на основе установленной ранее связи месторождений металлов с узлами пересечения морфоструктурных линейментов в горных поясах Средиземноморья [2, 3]. В этих работах использовалась информация о месторождениях металлов, представленная на металлогенических картах, которые в разных странах со-

ставлены по различным принципам, и характеристики месторождений на этих картах не унифицированы. К настоящему времени созданы электронные базы данных о месторождениях мира, использование которых позволяет на новом качественном уровне исследовать корреляцию рудных месторождений с узлами пересечения линеаментов. В работе использованы созданные электронные базы данных о месторождениях России и мира.

Исследование включало два этапа. Сначала было проанализировано положение месторождений металлов в линеаментно-блоковой структуре изучаемого региона, которая определена в результате морфоструктурного районирования, выполненного с использованием геологических, геоморфологических данных и материалов дистанционного зондирования Земли. Установлена связь месторождений металлов исследуемого региона с узлами пересечения линеаментов. На втором этапе с помощью алгоритма распознавания образов КОРА-3 [1] определены характерные геолого-геофизические и геоморфологические признаки узлов, в которых локализованы месторождения металлов. Обучение алгоритма КОРА-3 было проведено по двум выборкам. Выборку **Р** (рудноносные узлы) составляли узлы, в которых известны месторождения металлов рассматриваемых размеров. В выборку **НР** (нерудноносные узлы) включались узлы, в которых в настоящее время месторождения рассматриваемых типов и размеров не известны. Характерные признаки узлов классов **Р** и **НР** определены алгоритмом КОРА-3 в результате анализа обучающих выборок. Потенциально рудоносные узлы определены на основе этих признаков. В результате проведенного распознавания узлы, в которых известны месторождения рассмотренных типов и размеров, были классифицированы как **Р**, и определены узлы, которые по своим признакам схожи с рудоносными и могут рассматриваться как потенциально рудоносные.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ № 20-05-00171 А; 18-55-45004 ИНД_а.

Список литературы:

1. Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Кейлис-Борок В.И., Кнопоф Л., Пресс Ф., Рандцман Е.Я., Ротвайн И.М., Садовский А.М. Условия возникновения сильных землетрясений (Калифорния и некоторые другие регионы) // Исследование сейсмичности и моделей Земли. – М. : Наука, 1976. – С. 3–91.
2. Горшков А.И., Соловьев А.А. Определение характеристик рудоносных узлов методами распознавания образов // Крупные и супер-

- крупные месторождения: закономерности размещения и условия образования. – М. : ИГЕМ РАН, 2004. – С. 381–390.
3. Горшков А.И., Соловьев А.А. Распознавание облика рудных месторождений в поясе Тетис // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых : в трех томах. Том.1. Глобальные закономерности размещения. – М. : ИГЕМ РАН, 2006. – С. 361–374.
 4. Рундквист Д.В., Ткачев А.В., Черкасов С.В., Гатинский Ю.Г., Вишневская Н.А. База данных и металлогеническая карта крупных и суперкрупных месторождений мира: принципы составления и предварительный анализ результатов // Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования. – М. : ИГЕМ РАН, 2004. – С. 391–422.
 5. Государственный кадастр месторождений // Сервис доступа к электронной информации системы СОБР РОСНЕДРА. – <http://reports.geologyscience.ru/kadastr.php>

**Литвиненко Д.А., Литвиненко А.К. (ФГБОУ ВО «МГРИ»
им. Серго Орджоникидзе)**

О БИМЕТАСОМАТИЧЕСКОМ САПФИРЕ С МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТАЖ-2, ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР

Юго-Западный Памир (ЮЗП) является восточной частью Нуристан-Памирского срединного массива (AR_2) в составе Афгано-Южнопамирской киммерийской горно-складчатой области [1]. Данная область является самым северным сектором глобального Альпийско-Гималайского горно-складчатого пояса, имеющего длительную историю геологического развития от архея по квартер.

Породы ЮЗП полициклически метаморфизованы в условиях граунулитовой и амфиболитовой фаций [2]. Месторождение Стаж-2 расположено на левом борту одноименной речной долины в ее верхнем течении. Оно залегает в верхней части разреза горанской серии. В ней среди гнейсов присутствуют линзовидные тела магнезитовых мраморов. История его изученности и геологические особенности приведены ранее [2].

Сапфировая минерализация локализуется в шести апогранитных жилах, секущих магнезитовые мраморы. Они в форме линзы, размером 100×20 метров, согласно залегают в гранат-биотитовых гнейсах. Мощность жил от 0,3 до 1 м, протяженность до 23 метров. Детальные планы

зональных сапфиросносных тел представлены на рис. 1. Особенностью зон являются резкие контакты и одно- и двуминеральный состав.

Полная зональность между гранитами и магнезитами в контурах месторождения может быть представлена следующей метасоматической колонкой (табл. 1). Она составлена девятью метасоматическими зонами. Граниты в составе жил не сохранились (полностью заместились) и зональность проявлена концентрически.

Термин «магнезифиры» был предложен и использовался П.П. Смолиным [3]. Он по смыслу соответствует «кальцифирам», формирующимся в доломитовых и кальцитовых мраморах.

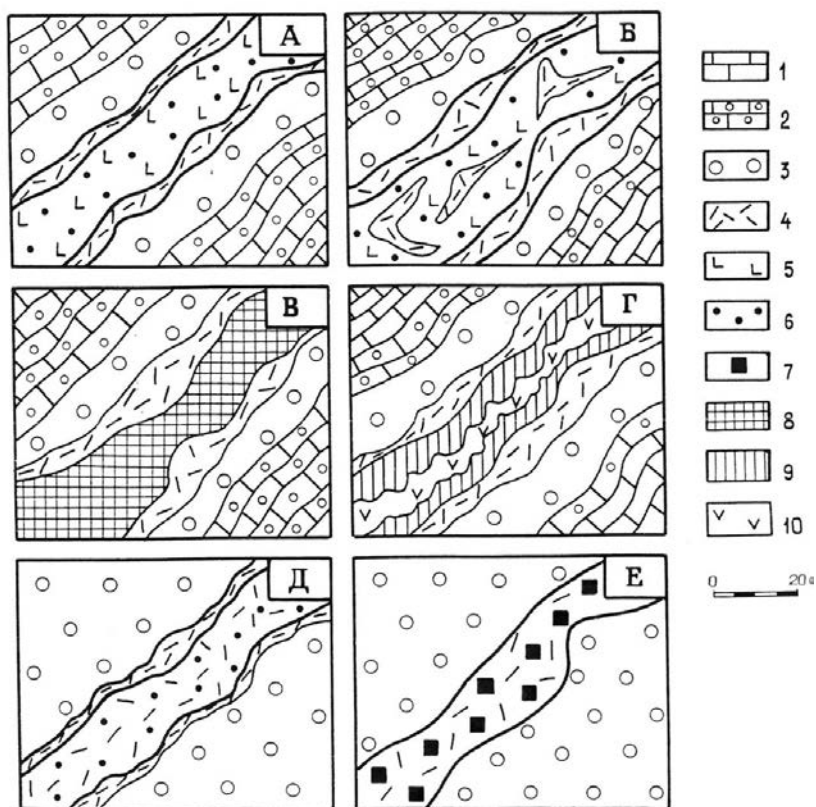


Рис. 1. Фрагменты сапфиросносных жил с месторождения Стаж-2:

1 – магнезиты; 2 – магнезифиры с форстеритом; 3 – форстерит; 4 – флогопит; 5 – плагиоклаз; 6 – сапфир; 7 – шпинель синяя; 8, 9 – мономинеральные метасоматические зоны: 8 – шпинелевая, 9 – сапфировая, 10 – кальцит жильный

**Табл. 1. Полная метасоматическая колонка между гранитами
и магнезитами**

Магнезиты	Метасоматические зоны									Гранитоиды
	Экзоконтактовые			Эндоконтактовые						
	Магнези- фирь	Форстери- товая	Энстатитовая	Флогопито- вая	Шпинелевая	Сапфировая	Плагноклаз- сапфировая	Плаггио- клазовая	Калишпат- плагнокла- зовая	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Табл. 2. Наиболее распространенная зональность

Магнезит	Метасоматические зоны					Магнезит
	Форстери- титовая	Флого- питовая	Плаггио- клаз- сапфи- ровая	Флого- питовая	Форстери- титовая	

Калишпат-плаггиоклазовая зона (см. табл. 1, № 9) сложена приблизительно равными количествами калишпата и плаггиоклаза. Зерна калишпата значительно крупнее плаггиоклаза и отличаются большим идиоморфизмом. В этой зоне плаггиоклаз имеет кислый состав от 22 до 32 % анортита. Калишпат определен рентгеноструктурным анализом как ортоклаз. Переход к плаггиоклазовой зоне (см. табл. 1, № 8) фиксируется под микроскопом при исследовании шлифов.

Сапфир образует (в зонах № 7 и 8, табл. 1) дипирамидальные и бочонковидные кристаллы до 7 см по длинной кристаллографической оси. Средний размер 1–2 см. Камень имеет различные оттенки синего цвета. Сапфир образует устойчивый парагенезис с плаггиоклазом среднего–основного состава, шпинелью (герцинитом) и флогопитом. Шпинель встречается относительно редко. Типоморфная сапфиросная порода может быть охарактеризована (рис. 2).

Наиболее часто на месторождении встречаются жилы с тремя зонами (табл. 2). В них плаггиоклаз-сапфировая зона занимает осевую часть жил. Их можно назвать концентрически-зональными.

Даже не приводя химических составов метасоматических зон можно отметить десиликацию гранитных жил, направленную в сторону магнезитов, которые, в свою очередь, претерпевают демагнезитизацию с образованием типоморфных минералов магнезиальных скарнов: энстатит-



Рис. 2. Зональный образец апогранитной жилы. В центре плагиоклаз с кристаллами сапфира, сверху и снизу – флогопитовая зона

та, форстерита и флогопита (см. табл. 1, 2). В сапфировой и шпинелевой (шпинель – герцинит) зонах произошла полная десиликация гранитоидов. Флогопитовая и частично шпинелевая зоны образуются благодаря магнезии из магнезитов. Таким образом, мы можем констатировать биметасоматические реакции минералообразования, происходившие между гранитами и магнезитами. При существенной потере гранитами кремнезема образуются отдельные кристаллы сапфира, а при ее максимальных значениях формируется мономинеральная сапфировая зона (см. рис. 1, табл. 1).

Представленные материалы объективно свидетельствуют о биметасоматическом образовании сапфировой минерализации на месте гранитных жил, залегающих в магнезитовых мраморах. Эти жилы всегда в различной степени десилицированы.

Список литературы:

1. Литвиненко А.К. Нуристан-Южнопамирская провинция докембрийских самоцветов // Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46, № 4. – С. 305–312.
2. Литвиненко А.К. Минерагения сапфиро- и рубиноносных метасоматитов Юго-Западного Памира. – Липецк : ЛГПУ, 2006. – 128 с.
3. Урасина Л.П., Другалева Т.А., Смолин П.П. Главнейшие магнезитовые месторождения. – М. : Наука, 1993. – 157 с.

**КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ОЛЬХОВСКО-ЧИБИЖЕКСКОГО
РАЙОНА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН): МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОХИМИЯ,
ПРОГНОЗНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ**

Ольховско-Чибихежский рудный район занимает северо-западную окраину Восточного Саяна и располагается в пределах Кизир-Казырской структурно-формационной зоны Восточного Саяна, которая на северо-востоке имеет тектонический контакт с байкалидами Дербинской структурно-формационной зоны, на западе ограничивается Минусинским межгорным прогибом девонского возраста, а на юго-западе, через Кандатский глубинный разлом, граничит со структурами Западного Саяна. Для него характерен двухъярусный геологический разрез: нижний ярус представлен нижнекембрийскими карбонатными, а верхний – вулканогенными толщами, прорванными интрузивными образованиями Ольховского габбро-диорит-гранодиоритового и Беллыкского гранитоидного комплексов, которые образуют крупные и удлинённые в плане батолитовые массивы [1].

Главной геотектонической структурой района является Артемовская мегантиклиналь, которая простирается в северо-западном направлении на 120 км. В строении мегантиклинали принимают участие в восточной части верхнепротерозойские метаморфические сланцы кувайской серии и существенно карбонатные отложения овсиниковской свиты. В западной части развиты кембрийские вулканогенно-осадочные образования колпинской (песчано-сланцевые нижнекембрийские), балахтисонской или чибихежской (конгломераты, известняки, доломиты), осиновской (туфогенные породы) и кизирской (вулканические породы) свит [2].

На всей территории Восточного Саяна рыхлые отложения, к которым приурочены древние россыпи, представлены: а) образованиями древней коры выветривания; б) переотложенными продуктами коры выветривания; в) аллювиально-делювиальными отложениями древних долин, не затронутыми химическим выветриванием [2, 3]. Первичное оруденение представлено метасоматически изменёнными сульфидными залежами и умеренно-сульфидными маломощными кварцевыми телами жильного и штокеркового типов, которые локализируются, главным образом, в гранитоидах. Минеральный состав первичного оруденения: кварц, карбонаты, пирит, в незначительном количестве пирротин, золото [4].

На изучаемой площади довольно широко развиты рыхлые отложения меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. На большей части площади района мощность рыхлого покрова не превышает 5–10 м, но на отдельных участках достигает 100 и более метров [5].

Остаточные коры выветривания мел-палеогенового возраста на изучаемой площади района пользуются широким распространением, развиты по кислым породам ольховского комплекса. Наиболее развиты коры выветривания каолинового и гидрослюдисто-каолинового составов. Продукты выветривания сложены глинистым и песчано-глинистым материалом [6].

Остаточная кора выветривания, сформированная на гранитах и гранодиоритах, традиционно характеризуется развитием полного профиля выветривания, в составе которого выделяются три основные зоны (снизу вверх):

1. Дресвяно-щебенистая;
2. Монтмориллонит-гидрослюдистая с каолинитом;
3. Каолиновая с охристыми включениями гидроокислов железа и марганца.

Для характеристики процесса корообразования и количественной их оценки были применены следующие параметры, предложенные Е.В. Складоровым (2001 г.) и И.И. Гинзбургом (1963 г.):

1. Индекс выветривания;
2. Коэффициент ферритизации;
3. Коэффициент окисления;
4. Коэффициент аллитизации;
5. Коэффициент выщелачивания;
6. Коэффициент разложения [7, 8].

Индекс химического изменения (CIA). В качестве критерия для разграничения отложений принято считать значение индекса, равное 70. Невыветрелые породы характеризуются значениями CIA порядка 50, тогда как сильно выветрелые разновидности соответствуют CIA около 100:

$$[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] * 100.$$

Коры выветривания, развитые по гранитам, характеризуются постепенным увеличением индекса химического выветривания снизу вверх, от слабо выветрелых исходных пород с индексом CIA 55 до интенсивно преобразованных пород с индексом CIA до 80.

Коэффициент ферритизации – отношение содержаний окиси железа к кремнезему в продуктах выветривания к такому же отношению в материнской породе:

$$(Fe_2O_3 / SiO_2) / (Fe_2O_3 / SiO_2)_{исх}.$$

Коэффициент ферритизации колеблется по профилю выветривания от 0,6 до 2,5, достигая максимальных значений в верхней части сформированной коры выветривания.

Коэффициент окисления – отношение суммы содержаний окиси железа, двуокиси марганца в продуктах выветривания к такой же сумме окиси и закиси железа и закиси марганца в материнской породе:

$$(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) \text{ исх.}$$

Значения коэффициента окисления находятся в пределах от 0,65 в зоне слабо выветрелых пород, которые представлены гранитом, гранодиоритом и обломками кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-эпидот-хлоритовых, кварц-мусковитовых и кварц-амфиболитовых метасоматитов и продуктами их разложения, и до 2,5 в охристо-каолиновой зоне.

Коэффициент аллитизации – отношение содержаний глинозема к кремнезему в продуктах выветривания к такому же отношению в материнской породе:

$$(\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2) / (\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2) \text{ исх.}$$

Коэффициент аллитизации находится в интервале от 0,65 до 1,12.

Коэффициент выщелачивания показывает степень выноса оснований в продуктах выветривания по отношению к материнской породе:

$$(\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) \text{ исх.}$$

Значение коэффициента выщелачивания колеблется в пределах от 0,1 до 1,7.

Коэффициент разложения – отношение содержания оксида трехвалентного железа к содержанию оксида кальция в материнской породе.

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{CaO} \text{ исх.}$$

Разброс в значениях коэффициента разложения весьма значительный. Минимальные значения характерны для слабо выветрелых пород и составляют 0,08, а максимальные фиксируются в верхней части профиля коры и имеют значение 25,67, что и отражает процесс корообразования с полным профилем выветривания [9]

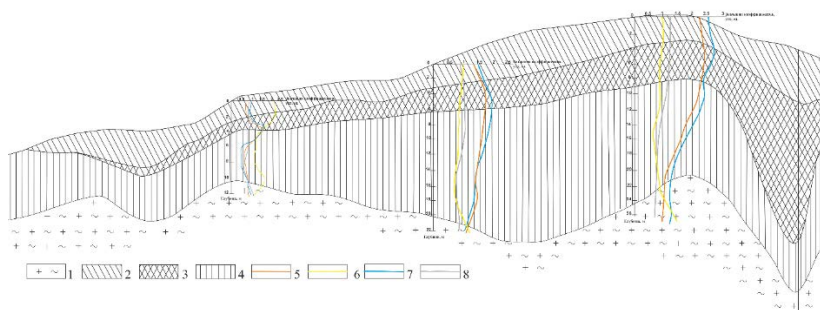
В результате проведенных исследований установлено, что охристо-каолиновая зона – верхняя, интенсивно проработанная зона сформированной коры выветривания. В минералогическом отношении характеризуется преобладанием пелитовой фракции крупности, которая состоит из кальцита, кварца, каолинита, разупорядоченного смектита, плагиоклаза, калиевого полевого шпата, иллита, гематита и гетита. Песчаная и алевролитовая фракции представлены следующими минералами: тяжелая фракция – магнетит, мартит и мушкетовит, гематит, ги-

дроокислы железа, амфиболы (роговая обманка, актинолит), циркон (гиацит), золото, ед. знаки – ильменит, пирит и псевдоморфозы лимонита по пириту, марганцевые минералы, хлоритоид, шпинель, корунд, рутил, анатаз; легкая фракция – обломки обохренного кварца, серицитизированный плагиоклаз, калиевые полевые шпаты, карбонаты. Древесная фракция (более 1 мм) – крупные обохренные обломки кварца, гематита, реже обломки интенсивно выветрелых материнских пород – гранитов, кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-хлоритовых и кварц-мусковитовых метасоматитов [10].

Выделенная охристо-каолиновая зона характеризуется следующими петрохимическими параметрами, рассчитанными по предложенной методике: коэффициент ферритизации от 2,2 до 2,46; коэффициент окисления – 1,7–2,27, коэффициент аллитизации – 0,71–0,94; коэффициент выщелачивания – 0,88–1,03. Коэффициент разложения в этой зоне имеет наибольшие значения от 6,5 до 17,8, а по отдельным скважинам достигает значений до 27. Индекс выветривания, рассчитанный по методике, предложенной Е.В. Складовым (2001 г.) и Я.В. Юдовичем (2000 г.), характеризуется высокими значениями от 68 до 76. Максимальные концентрации золота, которые достигают значений 4,5 г/т при среднем значении 2,7 г/т, приурочены к нижней части верхней охристо-каолиновой зоны.

Средняя, монтмориллонит-гидрослюдистая зона представлена минералами глинистой фракции – гидромусковитом и вермикулитом, монтмориллонитом и смешаннослойными хлорит-монтмориллонитовыми образованиями. Песчаная и алевролитовая фракции крупности представлены магнетитом, гематитом и гидроокислами железа, часто в виде псевдоморфоз по кубическим и пентагон-додекаэдрическим кристаллам пирита, амфиболами, редко ильменитом и рутилом, в незначительном количестве присутствуют хлоритоид, шпинель, корунд, циркон, эпидот, единичные знаки марганцевых минералов и самородного золота, легкая фракция – кварц, плагиоклазы, полевые шпаты и слюды. Древесная фракция крупности представлена обломками выветрелых кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-эпидот-хлоритовых, кварц-мусковитовых, кварц-амфиболитовых метасоматитов [10].

В петрохимическом отношении выделенная монтмориллонит-гидрослюдистая зона, в отличие от верхней охристо-каолиновой зоны, имеет более низкие коэффициенты: ферритизации от 1,2 до 2,1; окисления – 0,9–1,53; аллитизации – 0,56–0,7; разложения – 2,7–6,7 и более высокий коэффициент выщелачивания – 0,9–1,2. Индекс химического выветривания составляет 60–68. Содержание золота в монтмориллонит-гидрослюдистой зоне не превышает 0,5–1 г/т при среднем 0,43.



Схематический геологический разрез:

зоны: 1 – дресвяно-щебенчатая; 2 – охристо-каолиновая; 3 – нижняя часть охристо-каолиновой зоны с повышенными содержаниями золота; 4 – монтмориллонит-гидрослюдистая; коэффициенты: 5 – окисления, 6 – выщелачивания, 7 – ферритизации, 8 – аллитизации

Нижняя зона дезинтеграции сложена обломками кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-эпидот-хлоритовых, кварц-мусковитовых и кварц-амфиболитовых метасоматитов и продуктами их разложения. В незначительном количестве присутствуют минералы песчаной и алевролитовой фракций крупности – кварц, калиевый полевой шпат, серицитизированные плагиоклазы, слюды, магнетит, гематит, гидроокислы железа, в том числе и псевдоморфозы по пириту, амфиболы, циркон, единичные знаки ильменита, рутила, барита, корунда, шпинели. Пелитовая фракция представлена кальцитом, присутствуют кварц, разупорядоченный смектит, иллит, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, следы доломита, ангидрита.

Коэффициенты выветривания в выделенной зоне дезинтеграции указывают на породы со слабой степенью их гипергенной проработки. Коэффициенты: ферритизации от 0,4 до 1,02; окисления – 0,9–1,2; аллитизации – 0,45–0,7; разложения – 1,58–4,3; выщелачивания – 1–1,7 (рисунок). Индекс химического выветривания составляет 58–64. Повышенные содержания золота (до 3,8 г/т) отмечаются в единичных пробах при среднем содержании 0,5 г/т.

Помимо характеристики выделенных зон с помощью известной методики Гинзбурга, нами установлена зависимость между поведением золота в коре выветривания и значениями показателей выветривания. Так, максимальные содержания золота до 4,5 г/т приурочены к верхней охристо-каолиновой зоне с высокими значениями коэффициентов ферритизации, аллитизации и коэффициента окисления и минимальными значениями коэффициента выщелачивания. И наоборот, низкие содер-

жания золота характерны для менее выветрелых пород с минимальными значениями коэффициентов ферритизации, аллитизации и окисления [11].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700019).

Список литературы:

1. Золотоносные коры выветривания Сибири / под ред. С.С. Сердюка. – Красноярск : КНИИГиМС, 2002. – 116 с.
2. Хазагаров А.М. Мезозойские и третичные золотоносные россыпи Восточного Саяна и Кузнецкого Алатау // Геология россыпей / под ред. В.И. Смирнова. – М. : Наука, 1965. – С. 188–198.
3. Цыкин Р.А., Попова Н.Н. Кайнозой северо-западной части Восточного Саяна. – Красноярск : СФУ, 2009. – 115 с.
4. Коробейников А.Ф., Зотов И.А. Комплексные месторождения благородных и редких металлов. – Томск : ТПУ, 2006. – 327 с.
5. Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Прудников С.Г. Золотоносные коры выветривания юга Сибири. – Новосибирск : Гео, 2006. – 339 с.
6. Мартыненко И.В. Золото в продуктах коры выветривания Ольховского рудного поля // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения. Материалы XIV Международного совещания – Новосибирск, 2010. – С. 426–430.
7. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. – СПб. : Наука РАН, 2000. – 480 с.
8. Складов Е.В., Бараш И.Г., Буланов В.А., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Иванов А.В., Летникова Е.Ф., Миронов А.Г., Сизых А.И. Интерпретация геохимических данных. – М. : Интернет Инжиниринг, 2001. – 288 с.
9. K.R. Kovalev [et al.]. Relationship of antimony with gold mineralization in the ore districts of Eastern Kazakhstan // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – 55. – P. 1170–1182.
10. Мартыненко И. В., Мазуров А. К. Зональность и минералого-геохимический состав продуктов коры выветривания Ольховско-Чибихевского района // Известия Томского политехнического университета – 2011. – Т. 318, № 1. – С. 23–28.
11. Мартыненко И.В., Ворошилов В.Г., Тимкин Т.В., Зияи М.М. Петрохимическая характеристика кор выветривания Ольховско-Чибихевского района // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 12. – С. 136–144.

**Мирошникова А.П.^{1,2}, Дьячков Б.А.², Мизерная М.А.²,
Зимановская Н.А.², Кузьмина О.Н.²
(¹ Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», ² Восточно-
Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева)**

СООТНОШЕНИЕ ЗОЛОТОРУДНОЙ И РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА РЯДЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА, КАК ОДИН ИЗ ПОИСКОВЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОРУДЕНЕНИЯ

Рассматриваемая территория относится к казахстанской части Большого Алтая, где располагаются многие месторождения цветных, благородных, редких металлов и других полезных ископаемых. Актуальная задача заключается в укреплении минерально-сырьевой базы для действующих предприятий горно-металлургического производства на основе современных научно-методических технологий. Важное значение придается прогнозированию и оценке скрытых золоторудных и редкометалльных месторождений, включая полужакрытые и закрытые резервные территории.

В соответствии с современными геотектоническими представлениями собственно золоторудные месторождения на территории востока Казахстана сформировались в герцинский цикл в процессе косоугольной коллизии Казахстанского и Сибирского континентальных массивов и сосредоточены в Зайсанской сутурной зоне. К ведущим геолого-промышленным типам относятся золото-лиственитовое месторождение (Маралиха), золото-сульфидно-кварцевое (Кулуджун), месторождение Карлин типа (Суздальское и др.), золото-кварц-березитовые (Баладжал, Манка) и золоторудные объекты, связанные с черными сланцами (Бакырчик и пр.) [1].

Месторождения размещаются в крупном Восточно-Казахстанском золоторудном поясе, который на юго-восточном фланге продолжается в Китай. Рудоконтролирующее значение придается системе региональных глубинных разломов северо-западного направления (Чарский, Западно-Калбинский, Теректинский и др.), активизация которых сопровождалась внедрением приразломных малых интрузий и даек габбродиорит-диорит-гранодиоритовой серии коллизионного типа (кунушский комплекс и его аналоги, C_{2-3}) и синхронным поступлением золотоносных флюидопотоков. Определена пространственно-генетическая связь золоторудных объектов преимущественно с плагиогранитами кунушского комплекса, по изотопно-геохимическим данным сопоставимыми с гра-

нитоидами адакитового типа (AD-типа), производными деплетированной верхней мантии [2].

По результатам минералого-геохимических исследований (ICP-MS и растровая электронная микроскопия) выявляется сложный вещественный состав золоторудных месторождений, в которых наряду с известными типоморфными минералами (кварц, пирит, арсенопирит, золото, серебро и др.) присутствуют разнообразные сульфиды, окислы и другие минералы (магнетит, браунит, антимонит, монацит, карбонаты и др.). Особое значение имеет присутствие многочисленных редкометалльных минералов (касситерит, вольфрамит, микролит, шеелит) и довольно редких минералов (аламозит, кентролит, треворит и пр.), которые являются также поисковыми индикаторами рудообразования. Обнаружение в рудах тяжелых металлов (Ta, W, Ir, Au, Pt, U), наличие таких элементов как (Fe, Ni, Co, Cr) свидетельствуют о глубинном, корово-мантийном источнике рудного вещества [3]. Примеры совмещенности золоторудной и редкометалльной минерализации рассматриваются в данной статье.

Васильковское месторождение золото-сульфидно-кварцевого штокверкового типа расположено в Северном Казахстане в 17 км северо-западнее г. Кокшетау. Рудное поле приурочено к узлу пересечения Донгулягашского и Васильковско-Березовского разломов. Месторождение сформировалось в контактовой зоне габброидов и гранодиоритов зерендинского интрузивного комплекса (O_3) при ведущей роли разрывной тектоники и метасоматических процессов (микроклинизация, альбитизация, березитизация, окварцевание, сульфидизация, хлоритизация и т.д.) [4].

Зоны площадной микроклинизации являются дорудными, процессы альбитизации, активно проявленные в габброидах и гранодиоритах, сопровождалась привнесом (г/т): редких щелочей – Li (1212), Rb (1282), Cs (41,25) и редких элементов – Nb (38,92), Ta (6,26), Be (7,03), Sn (17,58). В альбитизированных гранитах также повышены содержания Zn, Pb, Cu, Bi при низких значениях As (11,3), Sb (1,33), Ag (0,85), Au (0,14). По данным растровой электронной микроскопии в гранитоидах установлены редкометалльные минералы: танталит-колумбит с примесью W до 3,8 вес. %, а также касситерит, с содержанием Ta до 2,5 вес. %. В измененных габброидах выявлено микровключение микролита (Ta – 77,04 вес. %).

В более позднюю стадию сформировался крупный золоторудный штокверк (площадью до сотен метров на поверхности), представленный серией золотоносных кварцево-карбонатных жил и прожилков. Распределение минералов изображено на рис. 1.

Рудная минерализация прослеживается до глубины более 1 км. Главные рудные минералы – арсенопирит, пирит, висмутит, золото

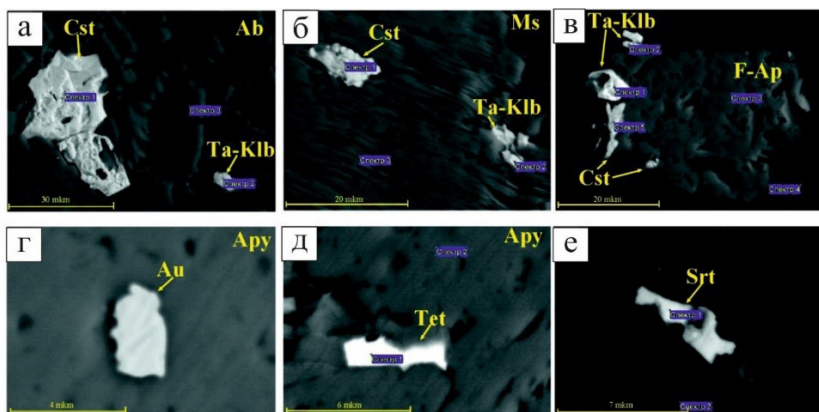


Рис. 1. Данные, полученные на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV на Васильковском месторождении:

а – вкрапленность касситерита (Cst) и танталит-колумбита (Ta-Klb) в альбите (Ab) и б – во фтористом мусковите (Ms); в – микровключения касситерита (Cst) и танталит-колумбита (Ta-Klb) на контакте с фторапатитом (F-Ap); г – золото (Au) комковидной формы в арсенопирите (Apy); д – вкрапленность тетрадимита (Tet) и е – сарторита (Srt)

(среднее содержание до 3,5 г/т). Основным минералом-концентратором золота является арсенопирит со средними содержаниями Au (от первых единиц до сотен г/т), Ag (5–50 г/т), Bi (от доли единиц до 100–300 г/т), платиноидов (0,3–0,5 г/т), базовых металлов – Cu, Pb, Zn, Co (до 0,01–0,1 %), Mo (20–50 г/т). Геохимические элементы-индикаторы рудообразования: As, Cu, Pb, Zn, Bi, Ag, Au, а также сопутствующие: Sn, W, Ta, Rb. Месторождение по запасам относится к крупным.

На *месторождении Жайма* (Западная Калба) рудные тела представлены зонами золото-сульфидной минерализации суздальского типа (Carlin type), локализованными в тектонически нарушенных вулкано-карбонатно-терригенных отложениях островодужной формации C_1V_{2-3} . Золото свободное и связанное с пиритом и арсенопиритом. Главные рудные минералы – пирит, арсенопирит, золото. К сопутствующим относятся антимонит, самородное серебро, пиrolюзит, галенит, сфалерит, халькопирит и т.д. В минерализованных породах также встречаются микровключения редких минералов – касситерит (с примесью Ta), микролит (Ta – 31,49, Mn – 13,56, Fe_2O_3 – 0,86, F – 20,29 масс. %), вольфрамит и шеелит. Повышенные содержания редких элементов определены по данным масс-спектрометрии (г/т): Sn (10,04–46,80), Nb (14,66),

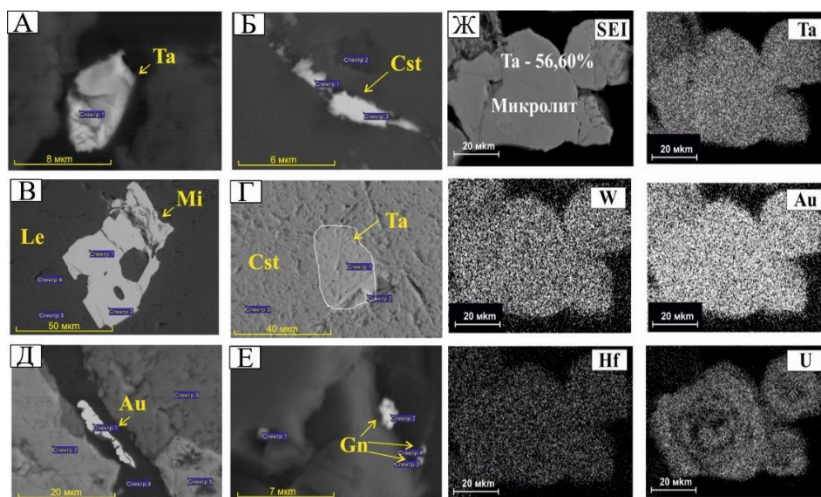


Рис. 2. Распределение редких и редкометалльных компонентов в рудах месторождения Юбилейное. Изображение на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV:

А – микрозерно танталита (Ta) овальной формы; Б – прожилковидная вкрапленность касситерита (Cst); В – микролит (Mi) в лепидолитовом (Le) грейзене; Г – танталит (Ta) с примесью золота в касситерите (Cst); Д – самородное золото (Au); Е – галенит (Gn); Ж – микролит с тонкодисперсным включением Ta, Au, W, U, Hf

Ta (4,94). В корях выветривания фиксируются максимальные содержания (г/т): Ta (43,16), Sn (37,9–446,0).

Редкометалльные месторождения сформировались в постколлизийной орогенной геодинамической обстановке (P_1 – T_1). Они размещаются в крупных гранитоидных поясах северо-западного простирания (Калба-Нарымский, Горноалтайский и др.), которые пересекают золоторудные структуры, являясь более поздними образованиями. Эти структуры сопоставляются с палеозойскими интрузивными массивами, широко проявленными в Центрально-Азиатском складчатом поясе (САОВ). По современным изотопным исследованиям (Sm-Nb) гранитоиды Калба-Нарымского пояса характеризуются положительными значениями $\Sigma Nd(T)$ до +3,5. Эти данные также указывают на ювенильный характер первичных магматических расплавов и предполагают их связь с деплетированной верхней мантией.

Ведущие месторождения представлены редкометалльными пегматитами (Ta, Nb, Be, Li b и др., месторождения Бакенное, Ахметкино

и др.) и литиеносными альбит-грейзеновыми метасоматитами (месторождения Ново-Ахмировское, Алаха и др.).

Юбилейное месторождение является примером редкометалльно-пегматитового оруденения, расположено в пределах Асубулакского рудного поля (Калба Нарым) и в структурном отношении контролируется субширотным разломом глубинного заложения в пределах Тастюбинского гранитного массива калбинского магматического комплекса. Месторождение характеризуется стадийным развитием минеральных комплексов оруденения от олигоклаз-микроклиновых (безрудных) до микроклин-альбитовых, альбит-мусковитовых (грейзеновых) и сподумен-содержащих цветных (рудных). Наиболее продуктивными являются сподумен-клевеландит-кварцевые и лепидолит-поллуцит-клевеландитовые пегматиты, содержащие комплексные руды Li, Cs, Ta, Sn и Be. Главные рудные минералы – танталлит, сподумен, поллуцит, берилл, касситерит. По результатам электронной микроскопии выявлено большое разнообразие танталлоносных минералов (колумбит, талиолит, танталлит-колумбит, марганец-танталлит, иксиолит, микролит). В танталлите установлено самородное золото прожилковой формы размером более 20 мкм (60,79 вес. %) и серебро 1,52 вес. %) (рис. 2, А, Д). Также отмечен оловоносный антимонит (Sb 47,14, Sn 21,19 вес. %) и галенит (см. рис. 2, Е). Также здесь фиксируются оксиды железа (с примесью Ni), касситерит, цинкит и другие минералы. В микролите отмечены тонкодисперсные примеси Au, W, U, Hf (см. рис. 2, Ж).

В результате исследований определен сложный смешанный состав золоторудных и редкометалльных месторождений, намечены типоморфные минералы и геохимические элементы-индикаторы рудообразования, которые могут быть использованы в практике геологоразведочных работ.

Список литературы:

1. Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Кочин В.П. [и др.]. Источники фанерозойских гранитов Центральной Азии: Sm-Nd изотопные данные // Геохимия. – 1996. – № 8. – С. 699–712.
2. Jahn V.M., Wu F., Chen B. Granitoids of Central Asian Orogenic Belt and continental growth in the Phanerozoic // Earth and Environmental Science Transaction of The Royal Society of Edinburgh. – 2000 – V. 91, Iss. 1–2. – P. 181–193.
3. Zatskovnyi V.I., Mizernaya M.A., Orazbekova G.B., Miroshnikova A.P. The Experience of modeling magmatogenic ore systems on the example of Zhumba Quartz-Vein Deposit, East Kazakhstan. Geoinformatics 2020 –

XIXth International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects». – 2020.

4. Mizernaya M.A., Dyachkov B.A., Zhunusov A.A., Miroshnikova A.P., Aitbayeva S.S., Umarbekova Z., Bissatova A. Formation Features and Prediction Criteria For Gold-Sulphide deposits (East Kazakhstan) // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2020 – V. 9, № 5 – P. 8758–8762.

**Мовзитова К.И., Голдырев В.В. (ФГБОУ ВО «ПГНИУ»),
Логутов Б.Б. (ООО «Каммир»)**

КРЕСТОВОЗДВИЖЕНСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПОЛИГОН: ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

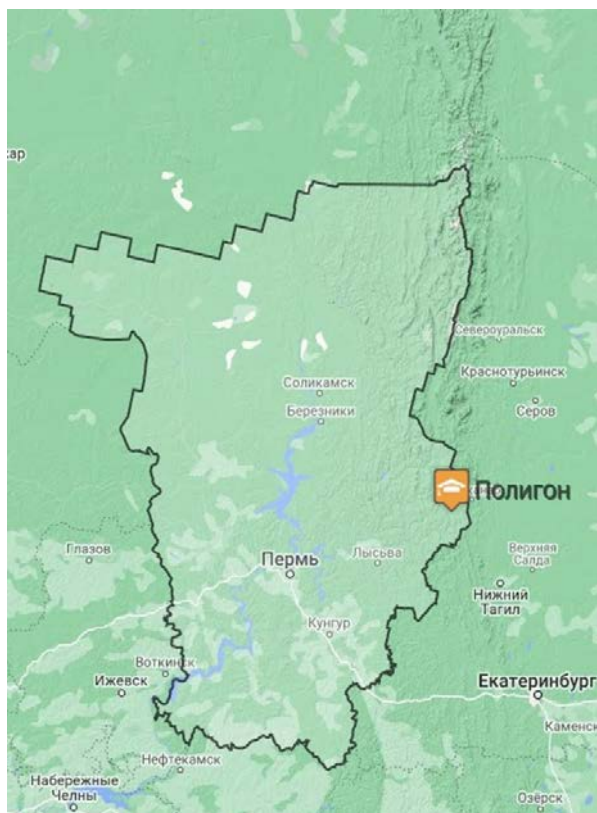
Проблема развития системы взаимодействия науки, образования и производственного комплекса в сфере недропользования остро стоит на сегодняшний день. Отрыв образовательных программ и научных разработок от реального производства можно решить с помощью создания научно-производственных полигонов.

Крестовоздвиженский экспериментальный научно-производственный полигон располагается в пределах золотороссыпного участка недр «Полуночный» (Горнозаводский район, Пермский край) (рисунок). Россыпные объекты полигона характеризуются уникальной комплексной золото-платино-алмазной специализацией и представлены несколькими генетическими типами: русловые и пойменные (современные аллювий), террасовые (современный и древний аллювий), ложковые, карстовые (в основном аллювиально-пролювиально-делювиальные), техногенные [1,2].

На территории Крестовоздвиженского полигона и в непосредственной близости располагаются разнообразные геологические памятники: палеонтологические, петрографические, стратиграфические, минералогические, горно-геологические, исторические [3]. Полигон обладает развитой инфраструктурой.

Крестовоздвиженский полигон может быть использован в качестве:

- площадки для проведения выездных сессий научно-практических конференций;
- испытания научных разработок и апробации технологий;
- опытного внедрения в производство новейших технологий;



Географическое положение Крестовоздвиженского полигона

- базы учебных и полевых практик в образовательном процессе ВУЗов.

На данный момент создана информационная карта полигона, разработаны внутрполигонные научные и образовательные маршруты и экскурсии, разработана геоинформационная база данных по объектам полигона и ведется разработка интерактивной геоинформационной модели Крестовоздвиженского экспериментального научно-производственного полигона.

Внедрение экспериментальных научно-производственных полигонов обеспечит разработку инновационных технологий в области геологоразведки и добычи полезных ископаемых, увеличит качество образовательных программ и, тем самым, позволит оптимизировать процесс недропользования от прогнозирования и разведки до стадии добычи.

Список литературы:

1. Зильберман А.М. Промежуточный геологический отчет о результатах поисковых работ на россыпное и рудное золото в Горнозаводском районе Пермской области и Нижне-Туринском районе Свердловской области по состоянию на 1 октября 1969 г.
2. Минеральные ресурсы Пермского края. Энциклопедия / под ред. А.И. Кудряшова. – Пермь : Книжная площадь, 2006. – 464 с.
3. Геологические памятники Пермского края. Энциклопедия / под. общ. ред. И.И. Чайковского ; Горный институт УрО РАН. – 2009. – С. 616.

Решетняк В.Н., Бударина Т.В., Леонов С.С., Писоцкая Л.И.
(АО «ВНИГРИУголь»)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ ПО УЧАСТКАМ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА УГОЛЬ

В АО «ВНИГРИУголь» в течение многих лет применяются при выполнении различных исследований геоинформационные системы ArcView GIS v.3.2 и ArcGIS v.9.3, в частности для сбора, обобщения и анализа информации по геологоразведочным работам на уголь.

Сбор, обработка геологической информации и ее хранение являются важнейшими задачами информационно-аналитического обеспечения геологической отрасли [1]. Вопросы совершенствования систем сбора, обработки геологической информации являются актуальными для недропользователей, научных и производственных организаций, проводящих работы по геологическому изучению и использованию недр.

В современных условиях для сбора обобщения и анализа значительных объемов информации приняты информационные технологии, позволяющие накапливать, систематизировать, учитывать, хранить и использовать различные материалы.

АО «ВНИГРИУголь» выполняет работы по созданию электронных каталогов геологических данных для автоматизированной обработки результатов поисковых работ на уголь. В состав электронного каталога входят следующие информационные части – фактографическая, картографическая и функциональная.

Фактографическая часть каталога содержит информацию об изученности, геологическом строении, характере угленосности, гидрогео-

логических и горно-геологических условиях участка работ (первичные данные по скважинам и каналам).

Картографическая часть каталога обеспечивает хранение графической информации (сканированной и векторной) по району работ с использованием программы ArcView (версия 3.2).

Функциональная часть каталога предназначена для автоматизированной обработки результатов поисковых работ и включает в себя программные модули.

Программные модули по работе с картографической частью предназначены для создания графических материалов по участку поисковых работ, разработаны на языке Avenue в среде ArcView 3.2.

Данные программные модули обеспечивают подготовку и отображение информации, необходимой для построения геологического разреза, а также создания литологических колонок по скважинам, схемы сопоставления (корреляции) колонок, детализационных колонок по угольным пластам, геофизических кривых по методам каротажных исследований, линий профилей на картах и цифровых зарисовок каналов.

В практике поисковых работ при описании обнажений и геолого-разведочных выработок применяется графическая документация в виде различного рода зарисовок. Зарисовка объективно передает все особенности и детали изученного геологического объекта [2]. Создание зарисовок в полевых условиях выполняется обычно на миллиметровке. Авторами предлагается технология построения цифровых зарисовок в среде ArcView 3.2a (программный модуль «GeoExcav»).

Построение схем зарисовок каналов производится в следующей последовательности. В первую очередь на плане участка с точками привязки каналов задается ось канала, проекция канала на план. Создаются необходимые слои канала (слой точек привязки, оси и полигона канала). Затем в диалоговом окне модуля «Нанесение канала на план» (рис. 1) задаются основные параметры горной выработки: азимут, длина, ширина канала, альтитуды точек привязки канала и глубины начала и конца канала.

На плане участка отображается заготовка – полигон канала, на который потом выносится проекция (дно) канала. После введения необходимых параметров в том же окне выбирается «Создать новый Вид», на котором будет помещена развертка выработки, и «Создать развертку сегмента» – во всплывающем окне выбираются необходимые элементы, и дальнейшие действия производятся в виде с разверткой канала.

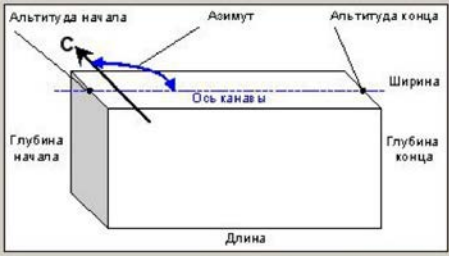
Развертка канала включает в себя слои: «Точки привязки схемы зарисовки», «Базисные линии схемы зарисовки», «Литологический состав

Построение канав

Привязка :
 ПРИВЯЗКА ОБЪЕКТА : Нанести точку привязки на карту  или выбрать из активной темы с помощью инструмента -> **Добавить точку привязки**

ПАРАМЕТРЫ ТОЧКИ ПРИВЯЗКИ ОБЪЕКТА :
 Координата X (Долгота) Альтитуда точки привязки, м
 Координата Y (Широта) Имя выработки

Параметры :
 ПАРАМЕТРЫ ОБЪЕКТА (сегмента) :



Добавить параметры

Создание развертки сегмента канавы :
 1. Выбрать слой с осью канавы и выделить нужный сегмент : Ось канавы к-10

2. Создать новый ВИД

3. Создать развертку сегмента

Рис. 1. Диалоговое окно «Нанесение канавы на план»

пород» и «Линейка схемы зарисовки». Для показа мест отбора проб создается также слой бороздового/точечного опробования канавы.

Далее редактируется информационный слой «Литологический состав пород» – разбивается на отдельные полигональные объекты (слои пород), редактируется граница канавы (по умолчанию заготовка имеет форму четырехугольной фигуры).

Под векторные слои подкладывается растровый файл – зарисовка канавы из полевого дневника (пикетажки), привязывается и на основе этого слой «разрезается» на отдельные полигоны. Затем в таблице атрибутов прописывается литологический состав пород, загружается легенда, и каждый слой окрашивается в соответствии с условными обозначениями. Дальнейшие действия представляют собой оформление полученного разреза: подписи глубин, линейки, азимута, масштаба и т.п. Ниже показан вариант оформленной схемы цифровой зарисовки канавы (рис. 2).

При наличии зарисовки дна канавы можно вынести проекцию дна канавы на план участка. Для этого выделяется ось дна канавы, поли-

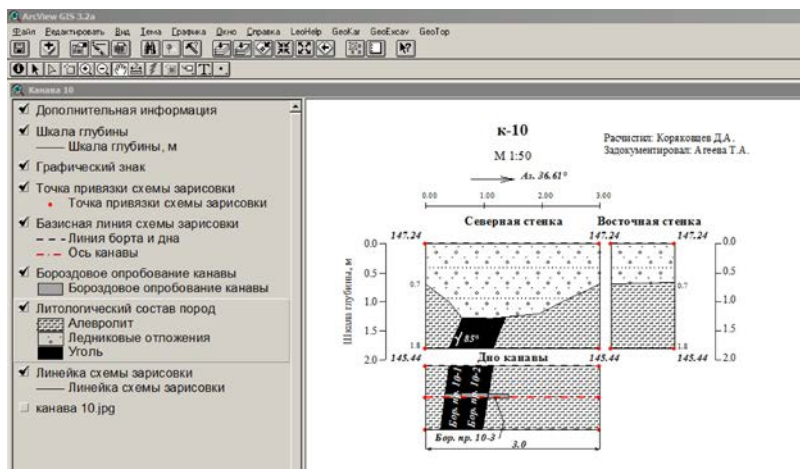


Рис. 2. Результат графического оформления канавы

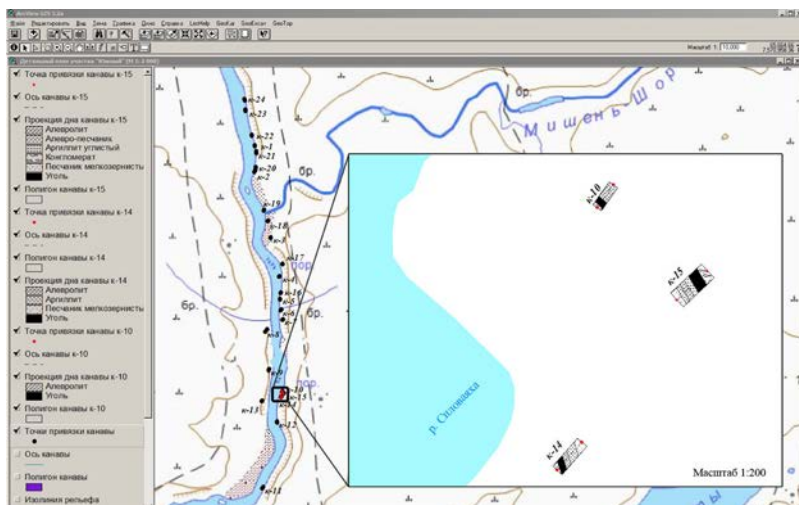


Рис. 3. Фрагмент плана участка работ с картой-врезкой проекции дна канав на план

гон дна канавы, в окне «Заготовки канавы» выбирается «Проекция дна канавы на план» и на месте заготовки полигона канавы на плане появляется новый слой «Проекция дна развертки» – разрезанный полигон дна канавы, к которому тоже необходимо добавить легенду.

Вынесение проекции дна канавы на план позволяет визуализировать особенности геологического строения, пространственное положение залегания угольных пластов (рис. 3).

При наличии густой сети канав и вынесенных на план проекций дна канав можно оценить пространственные характеристики исследуемого пласта, мощность пластов, углы и азимуты падения и т.д., что применяется при построении пластовых (гипсометрических) карт.

Таким образом, построенные цифровые зарисовки в среде ГИС позволяют отобразить геологическое строение угольных объектов на глобину и на плане в масштабе.

Данная технология была применена при выполнении поисковых работ на Лахской угленосной площади Сахалина и Силовской площади Печорского угольного бассейна.

Список литературы:

1. Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. N 1039-р.
2. Бурдэ А.И. Геологическая документация при геологосъемочных и поисковых работах / А.И. Бурдэ, А.А. Высоцкий, А.Н. Олейников [и др.]. – Л. [СПб.] : Недра, 1984. – 271 с.

Сайитов С.С., Печерский Р.Д. (ГУ «ИМР»)

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД И РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД УЧАСТКА ВОСТОЧНЫЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯНГИ-ДАВОН (УЗБЕКИСТАН)

Месторождение Янги-Давон расположено в Зиаэтдинском рудном поле на границе Зарафшано-Алайской и Зарафшано-Туркестанской структурно-формационных зон. Сложено оно метаморфизованными эффузивно-терригенными отложениями нижнего девона, дислоцированными в крупную Катармайскую антиклиналь ассиметричного строения, крылья которой осложнены складками более высоких порядков и многочисленными разновозрастными нарушениями преимущественно субширотного простираения. Месторождение Янги-Давон и его участок Восточный сложены породами третьей и четвертой подсвит катармайской свиты. Метаморфизованные эффузивно-терригенные отложе-

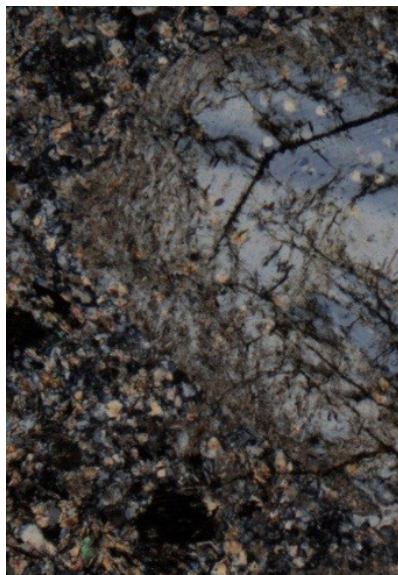


Рис. 1. Зональное строение плагиоклаза в граните. Ув. 150 $\times$; николи X

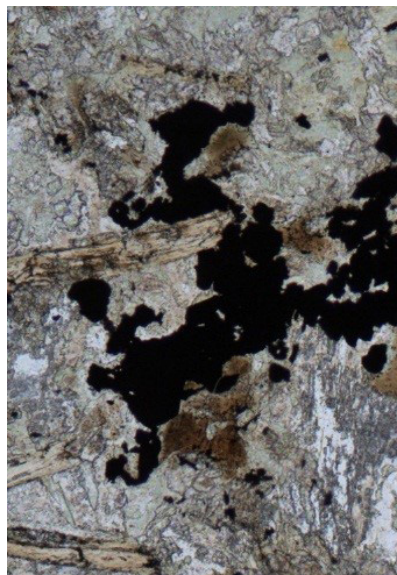


Рис. 2. Гнездовое скопление рудных минералов в минетте. Ув. 150 $\times$; николи X

ния третьей подсвиты катармайской свиты в верхней части представлены прослоями, линзами мраморизованных, доломитистых известняков, а в нижней измененными рассланцованными эффузивами основного состава, сменяющимися с глубиной окварцованными сланцами и редкими мелкими прослоями таких же эффузивов. Сланцы слюдисто-полевошпат-кварцевые, наиболее распространенные, размещаются между слоем мраморизованных доломитов и покровом измененных эффузивов основного состава. Терригенные отложения четвертой подсвиты катармайской свиты сложены монотонными слюдисто-полевошпат-кварцевыми и слюдисто-кварц-полевошпатовыми сланцами, которые согласно залегают на отложениях третьей подсвиты [4].

Магматические породы верхнекарбонового–нижнепермского (C_3 – P_1) возраста представлены следующими дайковыми образованиями: 1) биотит-роговообманковые гранодиорит-порфиры; 2) кварцевые диоритовые порфиры; 3) лампрофиры керсантит-спессартитовые.

Дайки гранитоидов мощностью до 10–12 м являются широко распространенными образованиями на участке Восточный. Структура пород гранобластовая, текстура массивная. Форма зерен минералов пани-

диоморфная, ксеноморфная. Размер зерен 0,1–1 мм, редко до 2 мм у кварца. Содержание кварца около 50 %, полевого шпата – 20 %. Полевые шпаты представлены ортоклазом и плагиоклазом. Установлено зональное строение плагиоклаза (рис. 1). Полевые шпаты в разной степени измененные. Замещаются серицитом. Слюдистые минералы представлены серицитом (10 %), биотитом (5 %). Бурые лейсты биотита имеют размер 0,1–0,7 мм. Распределение их неравномерное. Порода в разной степени изменена (серицитизирована, частично хлоритизирована, карбонатизирована). Карбонаты отмечаются в виде гнезд, содержание их до 5 %. Наблюдаются единичные зерна апатита. Дайки по своему химическому составу относятся к гранодиоритам, гранитам.

Лампрофировые дайки в своем составе имеют следующие минералы: биотит, роговую обманку, плагиоклаз, ортоклаз, карбонат, кварц, из рудных минералов отмечен пирит (1–2 %). Минералы имеют равномерное распределение. Структура лампрофировая, текстура массивная, вкрапленная (биотит, амфибол, полевые шпаты). Размер вкрапленных 0,1–1 мм. Карбонатные зерна имеют таблитчатую, пластинчатую форму зерен. Содержание карбоната 15–20 %. Полевые шпаты частично или полностью пелитизированы. Пирит имеет ксеноморфную форму и иногда фрагменты куба. Установлен в виде отдельных вкраплений, а также гнездовых скоплений (рис. 2). Углистое вещество отмечается по сланцеватости, а также в виде включений в пирите.

Основными рудовмещающими породами на участке Восточный являются углисто-слюдисто-полевошпат-кварцевые алевросланцы, метапесчаники углисто-кварцевые с прожилками, гнездами карбоната, углисто-полевошпат-кварцевые алевросаммиты, кварц жильный, эффузивные образования основного состава, алевросаммиты серицит-хлорит-полевошпат-кварцевого состава. Эффузивные породы по своему химическому составу представлены андезибазальтами.

Рудовмещающие породы участка Восточный в основном алюмосиликатного состава. Также отмечаются повышенные содержания CaO до 10,56 %, MgO до 9,07 %, Fe_2O_3 до 11,48 % в некоторых пробах руд. Химический состав руд по данным полного силикатного анализа 16 проб составляют следующие компоненты (в %): SiO_2 – 60,13; Fe_2O_3 – 3,63; FeO – 2,21; TiO_2 – 0,58; MnO – 0,03, Al_2O_3 – 12,94; CaO – 4,85; MgO – 2,23; Na_2O – 3,43; K_2O – 2,88; P_2O_5 – 0,32; $\text{S}_{\text{общ.}}$ – 0,22; CO_2 – 3,02; H_2O – 0,60.

Содержание золота в составе руд участка Восточный установлено атомно-абсорбционным анализом. Содержание золота в составе руд достигает 9,69 г/т, по данным анализа 43 проб в среднем составляет 1,27 г/т.

Основная часть золота связана с тяжелыми фракциями гравитационного обогащения, в которых содержание элемента достигает до 718,02 г/т. В остальных продуктах гравитационного обогащения содержания золота значительно ниже в сравнении с концентратами. Т.е. основная масса золота – самородная, свободная или связана с сульфидами и меньше с породообразующими минералами.

Серебро является основным попутным компонентом. Содержание элемента в исходных рудах достигает 193,58 г/т по данным атомно-абсорбционного анализа. Высокое содержание серебра также подтверждается ИСП-масс-спектрометрическим анализом. Сходимость результатов хорошая. Содержание остальных элементов не представляет практического интереса. В единичных пробах установлено повышенное содержание свинца (до 2100 г/т), цинка (до 640 г/т), висмута (до 6,9 г/т), селена (до 8,1 г/т), кобальта (до 110 г/т).

Минеральный состав пород получен путем пересчета результатов силикатного анализа на количественный минеральный состав и скорректирован результатами описания шлифов. В среднем 95 % массы руд представлены нерудными минералами, среди которых преобладают кварц, полевые шпаты, серицит. В подчиненном количестве установлены карбонаты, глинистые минералы, амфибол, хлорит и др. Содержание нерудных минералов меняется в зависимости от состава рудовмещающих пород. Содержание кварца в отдельных пробах руд достигает 49,6 %, плагиоклаза – до 47,8 %, калиевого полевого шпата – 33,0 %, серицита – до 43,8 %, хлорита до 27,0 %. Средний минералогический состав руд, по данным 16 проб, следующий (в %): кварц – 29,6, плагиоклаз – 28,5, калиевые полевые шпаты – 7,4, серицит – 13,8, хлорит – 5,4, глинистые минералы – 1,3, карбонаты – 7,7, амфибол – 1,0, ярозит – 0,7, рутил – 0,5, пирит, арсенопирит (в первичных рудах), гидрооксиды железа (в окисленных рудах) – 4,6. Из аксессуарных минералов в составе руд отмечаются апатит, циркон, монацит, барит, целестин, турмалин и др.

Текстура руд вкрапленная, тонкопрожилковая, каемчатая, порошковая, гнездовая, брекчиевидная. Структура мелко-, среднезернистая, неравнозернистая. Минерализация довольно неравномерно распределяется в рудах.

Пирит и арсенопирит являются основными рудными минералами первичных руд. В зоне окисления замещаются гидроксидами железа, гетитом, лимонитом, скородитом. В подчиненном количестве или в единичных зернах в составе руд установлены халькопирит, марказит, пирротин, сфалерит, галенит, блеклая руда, висмутин, магнетит, гематит, халькозин, ковеллин, золото самородное.

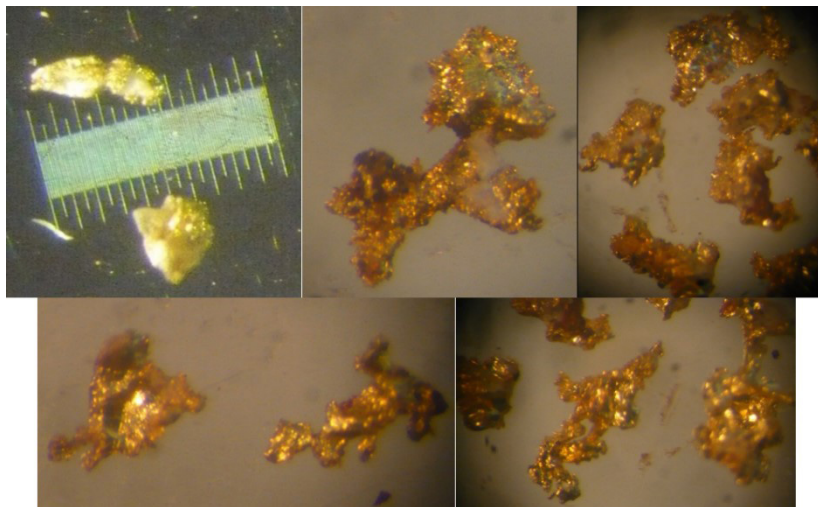


Рис. 3. Форма зерен самородного золота участка Восточный месторождения Янги-Давон под бинокляром. Размер золотинок составляет 0,1–0,6 мм

Золото самородное является основным ценным минералом в составе руд. Установлено в аншлифах, концентратах гравитационного обогащения. Количество золотинок составляет от 1 знака до >40 знаков. Форма золотинок – дендритовидная, пластинчатая, угловатая, ксеноморфная, с ямчатой поверхностью. Размер зерен самородного золота составляет от <0,01 мм до 0,6 мм. Преобладают золотины размером 0,1–0,3 мм. По классификации Н.В. Петровской (1973) золото самородное участка Восточный соответствует пылевидной, очень мелкой и мелкой группам по размеру. Цвет желтый, насыщенно-желтый. Золото самородное встречается в свободном виде или в сростках с гетитом и кварцем в концентратах (рис. 3).

Золото самородное постоянно находится в ассоциациях с рудными минералами, пиритом, арсенопиритом, блеклой рудой или их вторичными минералами – гетитом, лимонитом, скородитом. Золото самородное развивается по трещинам рудных минералов, отмечается в виде включений (рис. 4, 5).

Пробность самородного золота установлена рентгеноспектральным локальным анализом на микрозонде Superprobe JXA-8800R. Золото относится к категории весьма высокопробного [2]. Пробность проанализированных золотинок участка Восточный следующая: Au – 963,4–

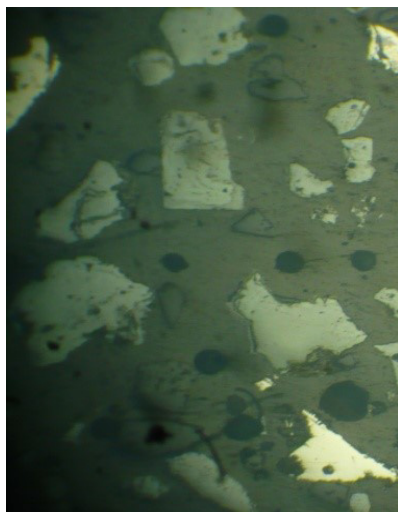


Рис. 4. Самородное золото в сростке с гетитом. Яркое зерно насыщенно желтого цвета – золото. Ув. 300 $\times$; без анализатора

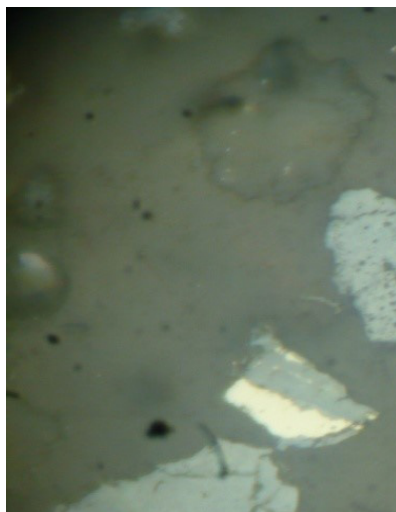


Рис. 5. Включение самородного золота в гетите. Ув. 300 $\times$; без анализатора

995,4 %. В качестве примесей установлены Ag – 0,18–0,94 %; Cu – 0,01–0,13 %; Fe – 0,29–1,75 %.

По вещественному составу руды участка Восточный относятся к убого- и малосульфидным золото-кварцевым с количеством сульфидов до 5 %. Золотая минерализация связана с пирит-арсенопиритовой с золотом парагенетической минеральной ассоциацией раннесульфидной стадии гипогенного минералообразования.

Список литературы:

1. Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. – М. : Недра, 1974. – 248 с.
2. Петровская Н.В. Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 347 с.
3. Рамдор П.М. Рудные минералы и их сростания. – М. : Иностранная литература, 1962. – 1132 с.
4. Стратиграфический словарь Узбекистана // Труды ИМР. – Ташкент : ГИДРОИНГЕО, 2001. – 580 с.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГДП-200 ПО ПРОГНОЗУ РОССЫПНОЙ
ЗОЛОТОНОСНОСТИ (ЛИСТЫ Р-55-XXIV, Р-56-XIX,
ВЕТРЕНСКАЯ ПЛОЩАДЬ)**

Ветренская площадь (листы Р-55-XXIV, Р-56-XIX) расположена в Магаданской области на территориях Тенькинского и Ягоднинского районов.

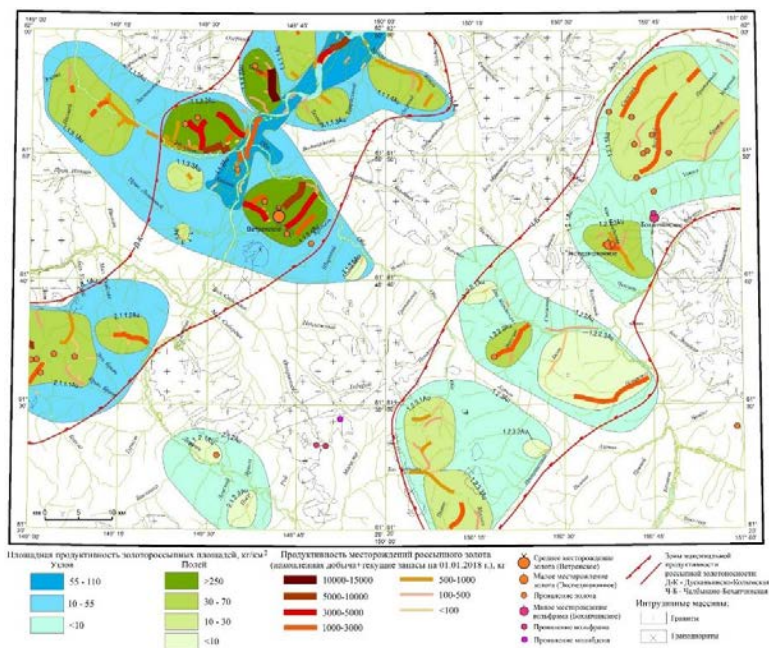
В рамках ГДП-200 ЦНИГРИ выполнял блок работ, связанный с полезными ископаемыми. Основными геологическими задачами, определенными геологическим заданием, являются следующие: составление карты полезных ископаемых и закономерностей их размещения, комплекта современной геологической основы масштаба 1:200 000 (авторский вариант Госгеолкарты-200); уточнение границ известных и вновь выявленных минерагенических таксонов, перспективных на обнаружение месторождений полезных ископаемых; локализация перспективных площадей, оценка прогнозных ресурсов категории P_3 золота и других полезных ископаемых.

При выполнении работ особое внимание уделялось обобщению и анализу данных по россыпной золотоносности из-за наличия на площади большого количества россыпных месторождений золота, представленных несколькими крупными, десятками средних и мелких в бассейнах рек Колыма, Обо, Эльгенья, Бохапча.

На подготовительном этапе были собраны опубликованные, фондовые и архивные материалы по данной территории, в том числе: паспорта месторождений россыпного золота; данные ГБЗ, отчетные материалы поисковых и разведочных работ, обобщающие и тематические отчеты.

При проведении минерагенического районирования территории на уровне узлов и полей районирование выполнено отдельно для коренных и россыпных ПИ. По авторскому минерагеническому районированию россыпной золотоносности выделено 7 россыпных узлов и 21 россыпное поле. Такое раздельное районирование требуется для корректного отображения границ россыпных минерагенических объектов, определения количественных показателей (площадь, продуктивность) и прогнозного потенциала.

В результате обработки и анализа данных россыпной золотоносности составлена схема, на которой отображены количественные показатели россыпей (накопленная добыча) и россыпных полей и узлов (площадная продуктивность) (рисунок).



Продуктивность россыпных месторождений и россыпных площадей на золото

По анализу пространственного расположения россыпных объектов и максимумам продуктивности на рассматриваемой территории выделены две крупные транзитные полосовые структуры – Чалбыкано-Бохапчинская и Дусканынско-Колымская региональные россыпные зоны северо-восточного направления. В пределах этих зон расположены все промышленные россыпи территории.

Полученные данные использованы в качестве критериев прогнозирования на россыпное и рудное золото.

По всем количественным показателям россыпной золотоносности на Ветренской площади максимальными значениями характеризуются Ветренский и Сибик-Тызллахский россыпные узлы. В том числе, это обусловлено и развитием здесь коренного оруденения, представленного Ветренским месторождением рудного золота и многочисленными проявлениями золоторудной кварцевой формации.

На описываемой территории практически все долинные россыпные месторождения выявлены и отработаны, перспектив значительного прироста ресурсов нет.

В качестве основных результатов по определению перспектив территории на россыпное золото нами рекомендовано переоценить россыпные проявления, связанные с высокими террасами долины р. Колымы. Проявления приурочены к IV–V надпойменным террасам (120–150 м), которые фрагментарно развиты на обоих бортах долины р. Колымы ниже по течению устья р. Детрин. Уровень этих террас характеризуется недостаточной изученностью. Они пересечены единичными поисковыми линиями УК-бурения, по которым в отдельных скважинах выявлены повышенные концентрации золота. Ранее в связи с относительно невысокими, по сравнению с эксплуатируемыми в то время россыпями, содержаниями металла и большой мощностью торфов, они не рассматривались в качестве промышленного типа. В настоящее время в связи со значительным понижением кондиций, а также заполнением Колымского водохранилища эти объекты требуют переоценки.

Авторская оценка прогнозных ресурсов по категории P_3 по данному типу проведена по 7 участкам: террасы руч. Роскошный, р. Обо, левобережье р. Колыма (участок Штрихи), руч. Отвесный, руч. Хайлик, руч. Гул, руч. Ошибка. Они выделены по материалам поисковых работ на россыпное золото, дешифрированию КС и геолого-геоморфологическому анализу. Суммарное значение прогнозных ресурсов по категории P_3 россыпного золота составило порядка 1,8 т, где 0,7 т прогнозируются в пределах Ветренского россыпного узла, а 1,1 т в пределах Сибик-Тыэллахского. Существуют перспективы выявления нескольких малых месторождений.

Итоговым результатом работ ГДП-200 являются составление авторских вариантов карт полезных ископаемых и закономерностей их размещения масштаба 1:200 000, схем минерагенического районирования россыпных ПИ и прогноза россыпных полезных ископаемых масштаба 1:500 000 и количественный прогноз на россыпное золото.

Список литературы:

1. Булгаков В.С., Портянко А.Л. [и др.]. Карта золотоносности масштаба 1:25 000 Санга-Талонская группа листов. Объяснительная записка. – Усть-Омчуг, 1973.
2. Маннафов Н.Г. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Охотско-Колымского региона. Масштаб 1:500 000. Карты, объяснительная записка в 4-х кн. / ред. Г.М. Сосунов ; Комитет природных ресурсов по Магаданской области. Магадан : Магадангеология, 1999.

ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ
ЗОЛОТО-МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

Золото-молибден-медно-порфировое месторождение Кызык-Чадр выявлено и оценено в пределах Кызыкчадрского рудного узла Ожинского рудного района Алтае-Саянской минерагенической провинции [3]. В 2017–2019 гг. на объекте были проведены ревизионные поисковые и оценочные работы силами АО «Сибирское ПГО» (подразделение АО «Росгеология») при участии ФГБУ «ЦНИГРИ».

Тело золото-молибден-медно-порфировых руд месторождения представляет собой крутопадающий линейный штокверк ($1700 \times 100\text{--}300 \times 300\text{--}500$ м), который локализован в экзо-эндоконтактной области вытянутого в субширотном направлении крутопадающего плагиноклазового интрузива гранодиорит-порфиров [1]. Оруденение представлено пирит-молибденит-халькопиритовой прожилково-вкрапленной минерализацией, сопровождается концентрически зональным ореолом метасоматических изменений [1, 4] (рис. 1).

В составе широкого комплекса геологоразведочных работ специалистами ЦНИГРИ выполнены геолого-минералого-геохимические исследования, позволившие уточнить вещественный состав руд и метасоматитов, выявить закономерности зонального строения рудно-метасоматического ореола месторождения, позиции в нем меднорудной зоны и промышленного рудного тела [1, 4 и др.]. Отдельное внимание было уделено анализу характера вторичных ореолов рассеяния (ВОР) основных элементов-индикаторов медно-порфирового оруденения.

Проведенная авторами обработка результатов площадного опробования по ВОР масштаба 1:25 000 АО «Сибирское ПГО» (определение элементов выполнялась методом ПКСА) показывает, что комплекс полученных геохимических ореолов в полной мере соответствует ореолам, характерным для медно-порфировых месторождений, характеризуется комплексностью и высокой контрастностью (рис. 2).

Минерализованная зона в ВОР отражается ореолом Cu с концентрациями выше $10 \cdot 10^{-3} \%$, протяженностью 2,14 км и шириной до 640 м. Меднорудное тело достаточно однозначно фиксируется концентрациями Cu $> 30 \cdot 10^{-3} \%$, однако в западной части месторождения ореол Cu смещен к северу относительно рудного тела (подтверждено бурением). Ореол рассеяния Mo с концентрациями $0,5\text{--}10 \cdot 10^{-3} \%$ и выше в целом

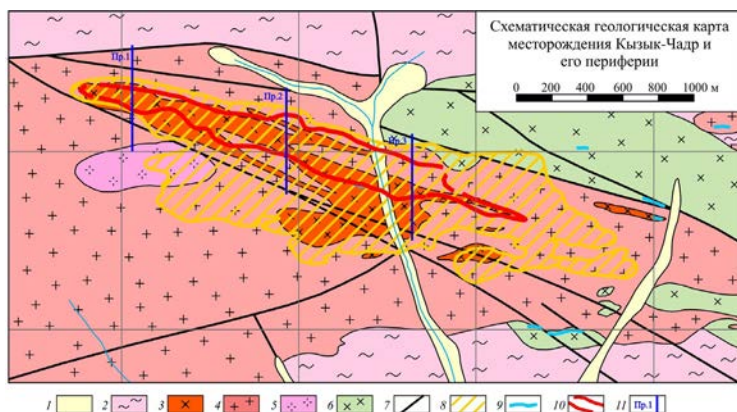


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Кызык-Чадр и его периферии (по материалам ГРР разных лет и собственным данным): 1 – четвертичные рыхлые отложения; 2 – метаморфизованные туфогенно-сланцевые толщи (V–Є₁); кызыкчадрский габбро-диорит-гранодиорит-гранитовый комплекс (Є₂₋₃); 3 – кварцевые диорит-порфиры, гранодиорит-порфиры (рудноносные фазы), 4 – граниты, гранодиориты, 5 – гранодиориты мелкозернистые, 6 – диориты, габбро-диориты; 7 – разрывные нарушения; 8 – ореол метасоматитов существенно серицит-кварцевого состава с сульфидной минерализацией; 9 – крупные кварцевые жилы, в том числе золотоносные; 10 – контур золото-молибден-медно-порфировых руд; 11 – геолого-геохимические профили

соответствует ореолу Cu, но развит несколько шире, так как молибденитовая минерализация распространена и за пределами меднорудной зоны. Ореол рассеяния Au > 10 мг/т охватывает значительную часть рудно-метасоматического ореола месторождения, достигая наибольших концентраций в пределах меднорудной зоны. Кроме того, на периферии месторождения Au образует собственные аномалии в ВОР к югу от меднорудной зоны, которые фиксируют линейные зоны золото-сульфидно-кварцевой минерализации с осевыми кварцевыми жилами.

Ореолы рассеяния Pb в ВОР $5-10 \cdot 10^{-3}$ % сосредоточены на флангах месторождения. В связи с асимметричным строением рудно-метасоматического ореола месторождения, концентрации Pb локализованы преимущественно в южном и восточном обрамлении меднорудной зоны. Положение ореолов Zn с концентрациями $15-50 \cdot 10^{-3}$ % и выше практически соответствует положению ореолов Pb. Ag образует ореолы повышенных концентраций 1–2 г/т и более на южной и восточной периферии рудной зоны в ассоциации с Pb и Zn, в меньшей степени проявлены в пределах меднорудной зоны.

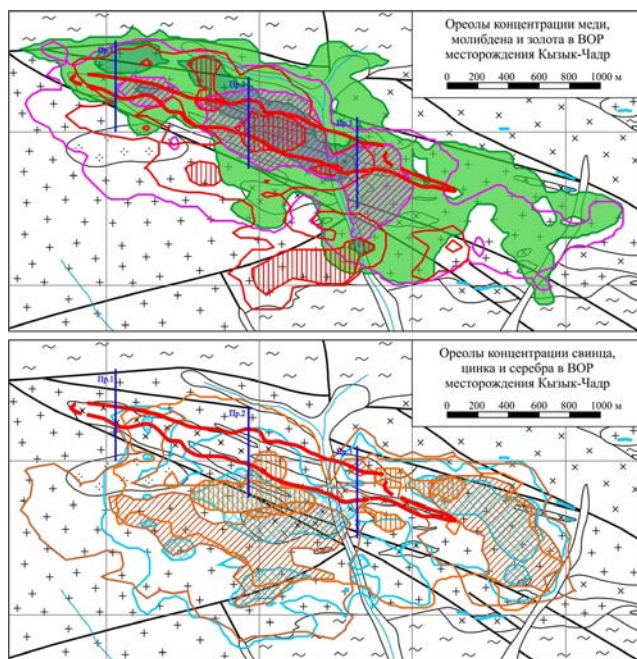


Рис. 2. Схемы-накладки с ореолами концентраций в ВОР основных элементов-индикаторов медно-порфирового оруденения (интерпретация результатов опробования АО «Сибирское ПГО»)

ореолы концентраций элементов в ВОР – меди: 1 – $5 \cdot 10^{-3}$ – $30 \cdot 10^{-3}$ %, 2 – $> 30 \cdot 10^{-3}$ %; молибдена: 3 – $0,25$ – $1 \cdot 10^{-3}$ %, 4 – $> 1 \cdot 10^{-3}$ %; золота: 5 – 10 – 25 мг/т, 6 – > 25 мг/т; свинца: 7 – 5 – $10 \cdot 10^{-3}$ %, 8 – $> 10 \cdot 10^{-3}$ %; цинка: 9 – 15 – $30 \cdot 10^{-3}$ %, 10 – $> 30 \cdot 10^{-3}$ %; серебра: 11 – $0,5$ – $1,5$ г/т, 12 – $> 1,5$ г/т

В ходе анализа геохимических данных, кроме основных элементов-индикаторов медно-порфирового оруденения (Cu, Mo, Au, Pb, Zn, Ag), был выявлен еще ряд элементов, входящих в состав комплексного геохимического ореола месторождения: W, Mo, Sn, Sb, As, Hg. Наиболее ярковыраженными элементами выноса являются Co, Cr, Mn, Ni, V.

Для более детального анализа структуры исследуемого геохимического поля авторами было проведено опробование по ВОР по трем геолого-геохимическим профилям длиной по 600 м с шагом 20 м в разных частях месторождения (рис. 3). Пробы проанализированы ИСП-анализом и атомно-абсорбционным анализом на Au.

Полученное на графиках распределение основных рудных элементов по профилям (см. рис. 3) в целом соответствует результатам интер-

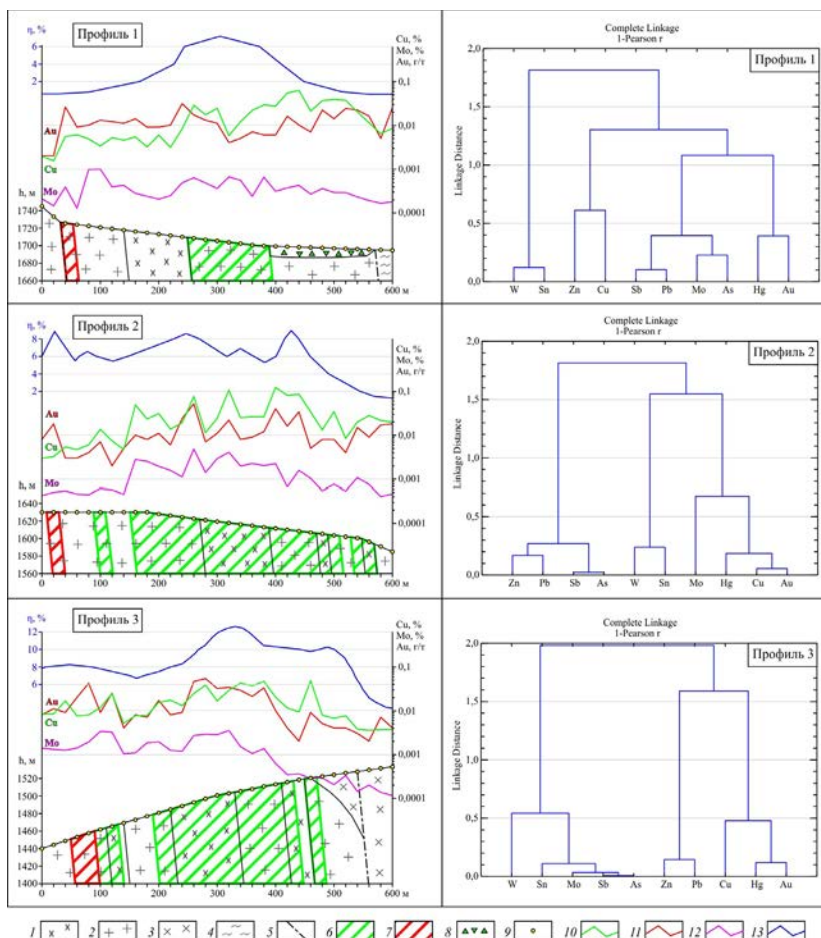


Рис. 3. Схематические геологические разрезы по геолого-геохимическим профилям с данными распределения основных рудных элементов в ВОР и дендрограммы корреляции основных элементов комплексного геохимического ореола:

Кызыкчадрский интрузивный комплекс: 1 – гранодиорит-порфиры (рудноносные), 2 – граниты, гранодиориты, 3 – диориты, габбро-диориты; 4 – метаморфические образования; 5 – крупные разрывные нарушения; 6 – зоны золото-(молибден)-медно-порфировой минерализации; 7 – зоны золото-сульфидно-кварцевой минерализации; 8 – делювиальный рудный шлейф, выраженный в геохимических полях; 9 – пункты отбора проб по ВОР; кривые распределения содержания элементов в ВОР: 10 – меди, 11 – золота, 12 – молибдена; 13 – кривая вызванной поляризуемости (по данным ГРП 1976–1978 и 2014–2016 гг.)

претации площадных ореолов, однако полученные рудные аномалии (Cu, Mo, Au) более контрастно отражают рудную зону. Полученные в результате статистического анализа матрицы корреляции и дендрограммы показали характер распределения этих элементов в латеральной зональности минерализованной зоны.

На дендрограммах (см. рис. 3) видно, что характерная для медно-порфировых месторождений геохимическая зональность наиболее четко выражена на профиле 2 через центральную часть минерализованной зоны, где предполагается среднерудный уровень эрозионного среза. Здесь ведущий набор элементов разделяется на 3 кластера, соответствующих золото-молибден-медно-порфировой ассоциации – Cu+Au+Hg+Mo, фланговой ассоциации – Zn+Pb+Sb+As и сопутствующей олововольфрамовой ассоциации – W+Sn. На западе минерализованной зоны (профиль 1), где предполагается нижнерудный эрозионный срез и выклинивание меднорудной зоны, наблюдается дробная кластеризация и разделение золотой, медной и молибденовой минерализации. На востоке (профиль 3), где установлен максимальный вертикальный размах оруденения (более 500 м) и предполагается верхнерудный эрозионный срез, четко выделяются кластеры золото-медной ассоциации (Cu+Au+Hg) и фланговой полиметаллической ассоциации (Zn+Pb), остальные элементы, включая Mo, составляют единый смешанный кластер.

Рассматривая характер ВОР месторождения Кызык-Чадр необходимо также отметить комплексирование геохимических аномалий и аномалий вызванной поляризуемости (ВП). Как видно на рис. 3, меднорудная зона достаточно однозначно выделяется областями совпадения значений ВП > 6 % и аномалий Cu, Mo и Au, при этом в пределах аномалий, смещенных относительно рудного тела (север профиля 1), такой закономерности не отмечается. На периферии месторождения совмещение геохимических аномалий Au и аномалий ВП фиксирует зоны золото-сульфидно-кварцевой минерализации.

Исходя из изложенного, можно заключить, что рудопроявление Кызык-Чадр и его периферия выражены крупным (протяженностью 3,5 км и шириной более 1 км) контрастным комплексным геохимическим ореолом Cu+Au+Mo+Ag+Pb+Zn, характерным для типовых месторождений медно-порфирового семейства [2]. Имеет типичное зональное строение – концентрации Cu+Au+Mo в меднорудной зоне, а Pb+Zn+Ag на ее периферии. По размеру комплексного ореола можно оценить масштабы распространения рудной минерализации, а контрастные ореолы продуктивной ассоциации позволяют предположить размеры потенциального рудного тела.

Список литературы:

1. Гирфанов М.М., Андреев А.В., Авилова О.В., Старостин И.А. Геолого-поисковая модель золотосодержащих медно-порфировых объектов Кызыкчадрского рудного поля (Республика Тыва) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. IX Международная научно-практическая конференция. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – С. 166–167.
2. Кудрявцев Ю.К., Третьякова Е.Н., Сальников А.Е., Рахимипур Г. Геолого-геохимические модели разноранговых рудных объектов (Au)-Мо-Си-порфировых семейств – М. : ИМГРЭ, 2012. – 142 с.
3. Семенов М.И., Юркевич Л.Г. Геология, геохимия и рудоносность Ожинского интрузивного плутона // Геологическое строение и полезные ископаемые Центральной Сибири : сборник статей. – Красноярск : Сибирское ПГО, 2019. – С. 110–119.
4. Старостин И.А., Авилова О.В., Андреев А.В. Золотосодержащее молибден-медно-порфировое месторождение Кызык-Чадр в Туве: особенности рудно-метасоматической зональности и морфологии рудных тел // Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче : сборник тезисов докладов I молодежной научно-образовательной конференции. – М. : ЦНИГРИ, 2020. – С. 183–186.

Фан Т.Х.^{1,2}, Петров А.В.¹, До М.Ф.^{1,3} (¹ ФГБОУ ВО МГРИ им. Серго Орджоникидзе, ² Ханойский горно-геологический университет Вьетнама, ³ Геофизическая Федерация Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама)

РАЙОНИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ СКРЫТЫХ БЛОКОВ МАГМЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ВЬЕТНАМА ПО АНАЛИЗУ ДАННЫХ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ

В статье представлены результаты районирования скрытых блоков магмы, связанных с тектонической активностью, по анализу данных магнитных аномалий в центральной области Вьетнама с помощью алгоритма относительного распределения магнитных масс по Андрееву Б.А. и процедуры решения 3D прямой задачи магниторазведки с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D».

Ключевые слова: магнитное поле, компьютерная технология «КОСКАД 3D», центральная область Вьетнама, обратная и прямая задачи, объемное моделирование.

Центральная область Вьетнама – это место развития и пересечения крупных структур, таких как обжимной пояс Труонгсон, сутура Поко (или Секонг), Контум террейн, где границы этих структур являются разломами по направлениям субдолготы, субшироты и юго-западному (рис. 1, А). Одновременно здесь появились древние метаморфические породы, прорванные и трансформированные магматическими образованиями, состоящими из ультрамафической кислоты, обнаруженной на поверхности. Эти тектонические особенности очень благоприятны для образования и накопления эндогенных месторождений полезных ископаемых (меди, железа, золота, олова, вольфрамовых руд и т. д.) [6,7].

Образования блоков ультрамафической магмы и мафической магмы часто характеризуются значениями большой положительной магнитной восприимчивости, которые мы можем наблюдать на положительных аномальных магнитных полях на поверхности Земли (рис. 2, Б)

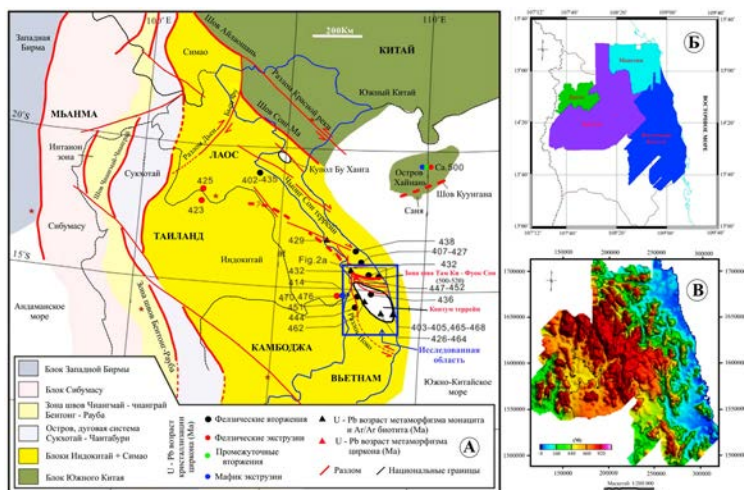


Рис. 1. Упрощенная тектоническая карта Юго-Восточной Азии и возраст магматических и метаморфических пород [6, 7] (А), схема аэромагнитных съемок территории масштаба 1:50 000 (Б) и карта рельефа исследуемого района в масштабе 1:200 000 [11] (В)

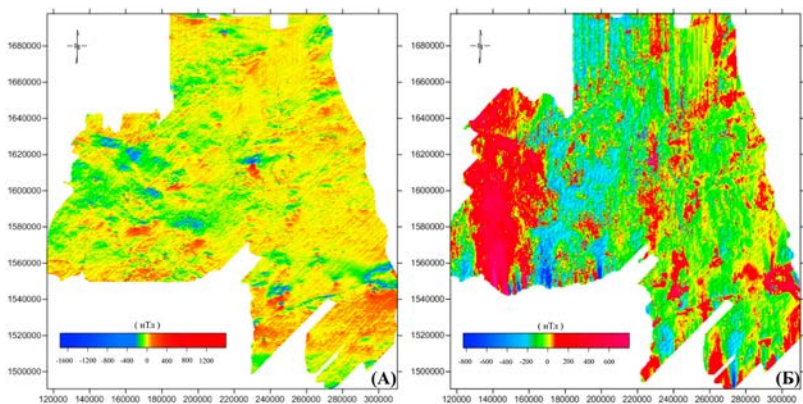


Рис. 2. Карта исходного аномального магнитного поля (А) и карта аномального магнитного поля, редуцированная к полюсу (Б) в центральной области Вьетнама в масштабе 1:50 000

Источники используемых данных

Общая площадь четырех аэромагнитных съемок в районах Мангзим, Дакто, Контум и восточный Контум составляет 24 240 км². Съемка проводилась с использованием протонного магнитометра МАР-4 с чувствительностью ± 1 нТл. Погрешность измерения составляла $\pm 10,5$ нТл. Для измерений суточных вариаций магнитного поля использовался квантовый магнитометр М-33, с помощью которого получена карта аномального магнитного поля [1, 2] (см. рис. 2, А).

Учитывая то, что исследуемая территория расположена в экваториальной части Земли, первоначально была выполнена редукция аномального магнитного поля к полюсу (см. рис. 2, Б) с помощью стандартной процедуры компьютерной технологии Geosoft [8, 9].

Интервал изменений аномального магнитного поля в районе исследований лежит в диапазоне от -850 нТл до +750 нТл. В магнитном поле выделяются 2 основных простирания магнитных аномалий: юго-восточное и юго-западное. На западе исследуемой области наблюдаются выраженные положительные аномалии с амплитудой от +100 нТл до +700 нТл, в то же время мы наблюдаем положительную магнитную аномалию, растягивающуюся по юго-восточному направлению с амплитудой от + 50 нТл до + 500 нТл в центре исследуемой области.

Магнитное аномальное поле, пересчитанное к полюсу, содержит много локальных магнитных аномалий, разбросанных в этом районе, особенно мы наблюдаем большие положительные магнитные аномалии в центральной области с амплитудой более + 350 нТл. В юго-вос-

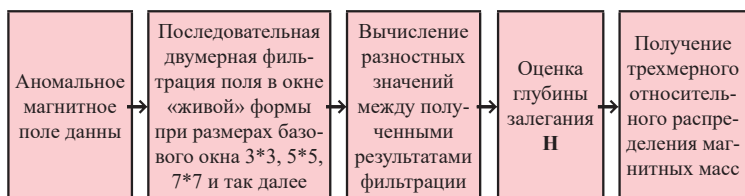


Рис. 3. Схема алгоритма оценки параметров магнитного поля по Б.А. Андрееву на основе полосовой фильтрации в окне «живой» формы.

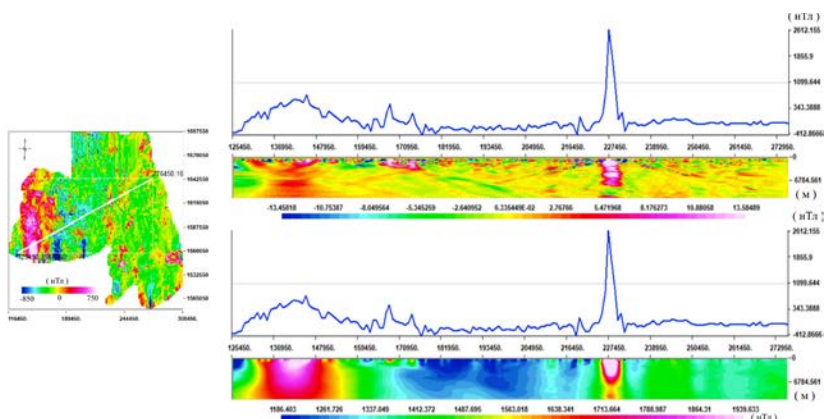


Рис. 4.

точной области наблюдается довольно большая удлиненная аномальная масса в форме закрытого тюрбана с амплитудой более + 200 нТл.

Сценарий интерпретационной обработки магнитного поля с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» включал оценку относительного распределения магнитных масс по Андрееву Б.А. и процедуры решения 3D прямой задачи магниторазведки.

Метод решения 3D прямой задачи магниторазведки

Метод основан на алгоритме комбинации статистических методов, спектральной корреляции методов и двумерной фильтрации методов в окне «живой» формы для оценки геометрии и относительного распределения аномальных источников в соответствии с глубиной [3–5, 10]. Процесс, обратный прямой 3D-модели, осуществляется согласно схеме алгоритма, показанной на рисунке 3.

Наблюдая результаты обратной оценки параметров прямой 3D-модели аномальных магнитных полей по Б.А. Андрееву (рис. 4) вдоль профиля до глубины 12 км, мы видим на профиле 2 большого блока магмы

(показанного красным), непрерывно простирающегося до глубины 12 км, в середине профиля распределяют маленькие дисперсные магматические блоки магмы, которые образуются в результате разрушенной тектонической активности, а затем перемещаются и проникают в осадочные слои около поверхности. Следовательно, в этой области тектоническая активность играет важную роль в перемещении блоков магмы снизу вверх и формировании полезных ископаемых –металлических скрытых месторождений вблизи от поверхности.

Список литературы:

1. Нгуен Ч.Л. [и др.]. Измерение полета по гамма-спектру в масштабе 1:50 000 и измерение гравитационного поля в масштабе 1:100 000 в Центральном Вьетнаме / Федерация физики и геологи ; Главное управление геологии и минералов Вьетнама. – Вьетнам. – 2000. – 250 с.
2. Нгуен Х.С. [и др.]. Проект проекции измерения магнитно-гамма-спектра в масштабе 1:50 000 и измерения силы тяжести в масштабе 1:100 000 в районе Кон-Тум / Федерация геофизики ; Главное управление геологии и минералов Вьетнама. – Вьетнам. – 2000. – 150 с.
3. Никитин А.А., Булычев А.А. Комплексный анализ и комплексная интерпретация геофизических полей. Учебное пособие. – М., 2015. – 88 с.
4. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации. Учебное пособие. – М., 2017. – 127.
5. Петров А.В., Юдин Д.Б., Соели Хоу. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2010. – № 2. – С. 126–132.
6. Hai Thanh Tran [et al.]. The Tam Ky- Phuoc Son shear zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications // Gondwana Research. – 2014. – № 26. – P. 144–164.
7. Quyen Minh Nguyen, Qinglai Feng, Jan-Wei Zi, Tianyu Zhao, Hai Thanh Tran, Thanh Xuan Ngo, Dung My Tran, Hung Quoc Nguyen. Cambrian intra-oceanic arc trondhjemite and tonalite in the Tam Ky – Phuoc Son suture zone, central Vietnam: Implications for the early Paleozoic assembly of the Indochina block. – Gondwana Research. – 2019. – № 70. – P. 151–170.
8. Geosoft, Ver. 7.01: Manuals, Tutorials, and Technical Notes. Geosoft inc. – 2008.
9. www.geosoft.com
10. <http://www.coscad3d.ru/index.php>
11. https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗОЛОТОРУДНЫХ УЗЛОВ И ПОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА

Район исследований расположен в пределах Центрально-Колымского региона, который является одним из самых перспективных на обнаружение новых крупных золоторудных месторождений и обеспечен высокоточными аэрогеофизическими съемками масштаба 1:50 000 [2].

В работе рассматриваются результаты анализа геофизических полей золоторудных объектов на территории Центрально-Колымского региона в целях выявления геофизических признаков, отражающих проявленность в геофизических полях тектонических, магматических, литологических, метасоматических и др. факторов, благоприятных для рудообразования [1, 3, 4].

Выполнена систематизация геофизических признаков (критериев) для эталонных рудных узлов (РУ) с золото-кварцевой минерализацией, локализованных в зонах смятия и дробления углеродистой терригенно-осадочной толщи (Арга-Юрях-Дегдеканский, Омчакский, Ветренский) и приуроченных к гранитоидным интрузиям и надынтрузивным апикальным зонам (Дусканьинский) (таблица).

На основе выделенных геолого-геофизических признаков созданы прогнозно-поисковые геофизические модели рудных узлов и полей с золото-кварцевым оруденением в углеродисто-терригенной толще и в гранитных штоках.

Разработанные модели могут быть использованы для повышения достоверности прогнозной оценки золотого оруденения в условиях Яно-Колымской провинции.

Список литературы:

1. Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Зубов Е.И., Лаврова Т.Ю., Трусов А.А. Интерпретация аэрогеофизических данных при поисках месторождений твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. – № 5. – 2006. – С. 18–27.
2. Золоторудные месторождения России / ред. М.М. Константинов. – М. : Акварель, 2010.
3. Наталенко М.В., Стружков С.Ф., Политов В.К., Голубев С.Ю., Цымбалюк Н.В. Геологические критерии и поисковые признаки крупнотоннажных золото-кварцевых месторождений Центрально-Ко-

Характеристика геолого-геофизических признаков локализации разнотипных рудных узлов в пределах ЦКР

Поисковые признаки	РУ с золото-кварцевой минерализацией, локализованные в зонах смятия и дробления углеродистой терригенно-осадочной толщи (Арга-Юрях-Дегдеканский, Омчакский, Ветренский)	РУ с кварцево-жильной Au минерализацией, приуроченные к экзоконтактовым зонам гранитоидных интрузий (Пионерский)	РУ с Au-Ag минерализацией, приуроченные к гранитоидным интрузиям и надынtruзивным апикальным зонам (Дусканьинский, Арга-Юряхский)
Положение в региональных радиохимических и геофизических структурах	Приуроченность к внешним частям концентрически-зональных (купольных?) региональных структур, проявленных в геофизических и геохимических полях	Локализация во внешних частях региональных концентрически-зональных структур в узлах сочленения дуговых и радиальных линейаментов	Локализация в разных частях региональных концентрически-зональных структур в узлах сочленения их дуговых и радиальных элементов
Стратиграфическая позиция	Локализация в пределах или в непосредственной близости от специализированной на золото компетентной толщи, благоприятной для концентрации руденения и проявленной в радиохимическом поле К, К+U доминантой	Отсутствие явно выраженной приуроченности к определенному стратиграфическому горизонту	Отсутствие явно выраженной приуроченности к определенному стратиграфическому горизонту

Тектоническая позиция	Контроль протяженными зонами складчато-разрывных дислокаций. РУ с наиболее крупными месторождениями приурочены к узлам пересечения внешнего обрамления региональных куполовидных структур ветвями крупных рудоконолирующих разломов преимущественно СЗ простирания	Приуроченность к узлам сочленения зон складчато-разрывных дислокаций СЗ простирания с разломами СВ и субширотного простирания	Приуроченность к узлам сочленения зон складчато-разрывных дислокаций СЗ простирания с разломами СВ и субширотного простирания
Особенности наблюдаемого гравиметрического поля (план)	Приуроченность к положительным значениям вертикального градиента и локальных составляющих поля силы тяжести ранга РУ	Приуроченность к границе положительным зонам на границе положительных и отрицательных локальных аномалий Δg_b	Приуроченность к локальным отрицательным аномалиям поля силы тяжести
Особенности «глубинных» срезов потенциальных полей (геофизические «разрезы»)	Высокоградиентные положительные аномалии поля силы тяжести линзообразной формы шириной до 30 км с центрами на глубинах 8–10 км, совмещенные с положительными аномалиями магнитного поля	Линзообразные положительные аномалии Δg_b шириной до 10–15 км с центрами на глубинах 2–8 км, совмещенные с преимущественно положительными ореолами ΔT_a	Линзообразные положительные аномалии Δg_b шириной до 10–15 км с центрами на глубинах 2–8 км, совмещенные с преимущественно положительными ореолами ΔT_a

- лымского региона // Тихоокеанский Рудный Пояс : материалы новых исследований. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – С. 146–164.
4. Шахтыров В.Г. Сдвиговые структурные ансамбли и золотое оруденение Яно-Колымской складчатой системы : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Шахтыров Василий Григорьевич. – Иркутск : Иркутский ГТУ, 2010. – 50 с.

Чеботарев Н.Ф., Тимошенко В.Д.
(ФГБУ РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина)

СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ НАЦИОНАЛЬНОГО БОГАТСТВА СТРАНЫ

Сырьевые ресурсы – любые полезные ископаемые, продукты сельского хозяйства, рыболовства и др., стоимость которых лишь в незначительной степени зависит от обработки.

Природные ресурсы оцениваются по рыночной цене. Вовлечение их в производственную деятельность предполагает определенные затраты: по улучшению земель, передаче прав собственности и др. [1].

Эти затраты увеличивают стоимость основного капитала и рыночную цену ресурсов.

В состав национального богатства в качестве природного капитала входят как воспроизводимые, так и невоспроизводимые запасы природных ресурсов. Использование невоспроизводимых (не возобновляемых) ресурсов – нефть, газ, уголь, другие виды полезных ископаемых – сокращает их количество. Вместе с тем открываются новые месторождения, появляются заменители, повышается эффективность использования ресурсов. Если страна использовала свои полезные ископаемые, но не сумела включиться в производство новых видов ресурсов, то сокращение ее природных ресурсов серьезно сказывается на ее национальном экономическом потенциале.

Национальное богатство страны в его традиционном понимании увеличивается в результате накопления активов и инвестиционной деятельности, обеспечивающих производство товаров и услуг. При расширенном воспроизводстве часть прибыли направляется на увеличение воспроизводимого капитала (капитализируется). Накопление ка-

питала характеризует вложение средств резидентами в объекты национального богатства с целью получения доходов в будущем.

В экономике (цифровой) информационного общества развиваются тенденции к децентрализации управления, большей ориентации на горизонтальные связи, что вступает в противоречие со сложившимися иерархическими институтами, как в российской экономике, так и в мировой [2].

С учетом размеров инвестиционных затрат Всемирный банк оценивает разведанные запасы полезных ископаемых на территории РФ в 10 трлн долл.

В докладе о состоянии минерально-сырьевых ресурсов, представленном Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, стоимость разведанных полезных ископаемых была оценена в 28,6 трлн долл., а прогнозные запасы – в 140 трлн долл. [3].

К высоколиквидным видам минерального сырья относятся алмазы; по их запасам и добыче Россия остается мировым лидером. Это открывает перспективы обнаружения новых скоплений драгоценных камней на территории России и требует интенсификации проведения геологоразведочных работ на алмазы со стороны государства и недропользователей.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 21.02.1992. № 2395-1 «О недрах».
2. Чеботарев Н.Ф. Глобальные рынки ресурсов. – М. : Проспект, 2020.
3. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах. Государственный доклад. – М. : Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – 2018.

Чжан Чи, Заернюк В.М. (ФГБОУ ВО МГРИ им. Серго Орджоникидзе)

РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ КИТАЯ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассмотрены основные тенденции развития золотодобывающей отрасли Китая, к которым относятся, в том числе, наращивание производственных мощностей и увеличение объемов ресурсной базы. Показаны существующие проблемы и текущий уровень сохранения ре-

сурсной базы золотодобычи и ее комплексного использования за последние годы в разрезе нескольких основных аспектов, таких как «трехуровневый» стандарт, передовые применимые технологии и развитие «зеленой» добычи. Данные аспекты будут способствовать всестороннему сбережению и эффективному использованию ресурсов золотодобычи в Китае.

Ключевые слова: золотые прииски, комплексное использование.

Недра Китая богаты полезными ископаемыми, прежде всего, углем, нефтью, газом, золотом, серебром, железными, полиметаллическими, марганцевыми, вольфрамовыми, алюминиевыми, медными, ртутными рудами и др. Поэтому в стране широкое развитие получила горнодобывающая промышленность.

В последние годы китайская золотодобывающая отрасль увидела резкий рост во всей производственной цепочке (включая разведку, добычу, обогащение и аффинаж, торговлю, проектирование, переработку, потребление и инвестиции) и значительный прогресс в области науки и техники. Китай стал крупнейшим в мире производителем, потребителем и оператором золота (Цуй Цзяньгуо, 2017).

Согласно данным исследования GFMS Thomson Reuters, на сегодняшний день больше всего золота добывается в Китае – 399,7 т по итогам 2018 года. На втором месте – Австралия с показателем 312,2 т. Россия замыкает тройку мировых лидеров [1].

Золотые ресурсы являются одними из важных минеральных ресурсов в провинции Шаньдун. Провинция имеет большое количество золотых рудников полного цикла добычи, обогащения и восстановления, ориентированных на комплексное использование минерального сырья. Такие рудники являются типичными для провинции. Это важное преимущество для основных видов полезных ископаемых в провинции. Согласно предварительной статистике, по состоянию на начало 2018 г. в провинции насчитывалось в общей сложности 38,5 тыс. золотодобытчиков, 85 золотых рудников, находящихся в обычном производстве и в процессе строительства, а также 18, 45 и 22 крупных, средних и малых золотых рудников, соответственно.

Ежегодно провинция разрабатывает и использует более 80 полезных ископаемых (включая субминералы). В общей стоимости выпуска продукции и общей прибыли региона значительная доля, помимо предприятий нефтегазового комплекса, приходится на предприятия золотодобывающей промышленности. Следует отметить, что под влиянием международной и внутренней ситуации начиная с 2015 г. произошли значительные изменения в области минерально-сырьевых ресур-

сов, что привело к снижению темпов экономического развития горнодобывающей промышленности. Более того, производство 9 минералов, таких как уголь, железо и др., в Шаньдуне понесло убытки. Хотя и со снижением золотодобывающая отрасль провинции Шаньдун все же получила совокупную прибыль в размере 1,737 млрд юаней, что свидетельствует о том, что данная отрасль играет важную роль в горнодобывающей экономике провинции.

В целях рационального освоения и использования золотых ресурсов в провинции Шаньдун введены так называемые «Три ставки» («трехуровневый» стандарт): 1) скорость восстановления добычи золота; 2) степень извлечения из отходов обогащения; 3) комплексное использование попутных минеральных ресурсов. Эти показатели стали основными для оценки золотодобывающих предприятий в плане рационального использования минеральных ресурсов.

В целях дальнейшей реализации комплексной стратегии установления приоритетов в области сохранения ресурсов, уточнения параметров интенсивного и всестороннего использования важнейших минеральных ресурсов, повышения уровня разумного освоения и использования золотых рудников и других ресурсов в провинции Шаньдун на регулярной основе проводится мониторинг по результатам внедрения «трехуровневого» стандарта для ресурсов золотых рудников. В общей сложности 116 золотодобывающих компаний (3 открытых и 113 подземных) заполнили «трехскоростной» вопросник с показателями за период 2012–2016 гг. После сортировки представленных данных 12 золотодобывающих компаний были отобраны для проверки на месте.

Министерство земли и природных ресурсов [3] по результатам исследования и анализа данных о добыче золота в 116 провинциях Шаньдун опубликовано документ по разумной эксплуатации минеральных ресурсов, содержащий «трехуровневые» минимальные требования к разработке месторождений золота, железа, угля и других минеральных ресурсов» [2].

Показатели (индексы) «трехуровневого» стандарта Министерства земли и ресурсов представлены следующими коэффициентами:

- Коэффициент восстановления добычи. Показатели коэффициента извлечения минерального сырья из подземных рудников Министерством земли и природных ресурсов подразделяются в зависимости от стабильности и нестабильности в отношении устойчивости окружающих пород;
- Коэффициент извлечения из отходов обогащения. По отношению к показателям Министерства земли и природных ресурсов минимальные требования к показателям разумного освоения и использования

ресурсов золотодобычи в провинции повышают коэффициент извлечения и степень извлечения легкообрабатываемой руды на 3 %, коэффициент извлечения низкосортной руды, соответственно на 15 %;

- Коэффициент комплексного использования. Когда золотодобывающее предприятие сосуществует с другими полезными ископаемыми, коэффициент комплексного использования составляет не менее 60 %, а в случае, когда золотодобывающий рудник не связан с другими полезными ископаемыми, коэффициент комплексного использования составляет не менее 40 %.

Список литературы:

1. Обзор золотодобывающей отрасли России по итогам 2018 года // Союз золотопромышленников России : [сайт]. – URL : [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-gold-survey-2019-rus/\\$FILE/ey-gold-survey-2019-rus.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-gold-survey-2019-rus/$FILE/ey-gold-survey-2019-rus.pdf).
2. Wang Li, Chang Hongliang, Yin Jiguang, etc. Tails enriching the gold of the island of Sanshan // Complex use in scientific research. 2011. № 27 (11). – P. 42–44.
3. Go Bin. The Sanshan question of sustainable development // China's mine engineering. – 2017. – № 46 (2). – P. 50–56.
4. Chu Jianhua. Strong Ocean Trends and Directions of China's Mining Green // China's mining industry. – 2017. – № 26 (2). P. 1220.

Чумаков А.В., Аликин О.В., Сениюшкин Н.Р.

(ООО «ЦНТ Инструментс»),

Мизиряк Д.Г., Марченко А.Г. (ООО «Теллур Северо-Восток»)

МЕТОД ГИДРОСЕПАРАЦИИ ДЛЯ ПОИСКОВОЙ МИНЕРАЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЛИХОВЫХ ПРОБ МУРУНСКОЙ ПЛОЩАДИ (РЕСПУБЛИКА САХА)

Мурунская площадь расположена на территории Олекминского уезда на юго-западе Республики Саха (Якутия) в пределах северной части Олекмо-Чарского нагорья. В геологическом отношении площадь принадлежит северо-западной окраине Чаро-Олекминской гранит-зеленокаменной области Алдано-Станового щита. Геологические образования представлены интенсивно дислоцированными гнейсами, кристалличе-

скими сланцами и амфиболитами олекминской серии архея, прорванными интрузиями архейских–раннепротерозойских гранитов, метагабброидов, а также терригенными и карбонатными породами рифея и кембрия.

Территория подверглась значительной тектоно-магматической активизации в позднем мезозое, выразившейся во внедрении многочисленных щелочных интрузий алданского фергусит-щелочно-сиенитового и лебединского монцонит-сиенит-гранитного. С щелочным магматизмом поздней юры связаны основные метасоматические преобразования, выразившиеся в скарнировании, фенитизации, березитизации, серицитизации вмещающих пород. Наиболее крупным интрузивом является уникальный Мурунский щелочной массив, с которым связаны месторождения и рудопроявления чароита, барий-стронциевых карбонатитов, титана, торий-уранового и полиметаллического оруднения, золото-медно-порфирового и золото-сульфидно-малокварцевого оруднения. Кроме Мурунского массива и его экзоконтактов, в пределах Мурунской площади были выделены и другие перспективные на золотое оруднение аномальные геохимические поля [1].

Для получения информации о минеральном составе шлиховых проб в лабораторию ООО «ЦНТ Инструментс» была передана 51 шлиховая проба – «чёрные» шлихи различной степени промывки, отобранные на обширной территории к востоку от Мурунского массива.

Основная задача состояла в обнаружении зёрен самородного золота и минералов-индикаторов. Самородное золото как полезный компонент имеет несколько отличительных поисковых признаков: низкие концентрации; обычно малые размеры зерен (знаки); высокие значения плотности знаков золота ($\sim 15\text{--}19\text{ г/см}^3$ в зависимости от количества примесей).

Для обогащения проб, содержащих золото, а также отличающихся невысокими концентрациями полезного компонента, использовался гидравлический классификатор и метод гидросепарации [2–4].

Метод гидросепарации осуществляет разделение материалов с разной плотностью в пульсирующем водном потоке. Конкуренция масс частиц, захваченных восходящим слабым ламинарным потоком, приводит к осаждению тяжелых частиц на дне разделительной трубки и удалению легкой фракции. Предварительная классификация материала по размерам зерен – все зерна в пределах одной фракции имеют близкие размеры – обеспечивает при гидросепарации реальное разделение образца по плотности фаз, а не по весу частиц, как это имеет место практически во всех гравитационных приборах и технологиях. Обогащение измельченных материалов методом гидросепарации позволяет получить «тяжелый» концентрат (HS-концентрат), обеспечивающий статистически представительную информацию о «тяжелых» минералах

[5] для всего объема образца в интервале крупности частиц от < 10 до 500 мкм.

В зависимости от массы исходной пробы материал разделялся через колонку сит мокрым либо сухим рассевом (если материала < 10 г) на 4 размерных класса, мм: > 1 , $-1 + 0,315$, $-0,315 + 0,1$, $< 0,1$. При помощи гидросепаратора CNT HS-11 в каждом классе крупности получено несколько технологических продуктов:

1) «лёгкие» хвосты (T1) гидросепарации путем предварительного удаления лёгких минералов на длинной трубке LGST;

2) промежуточные хвосты (T2) гидросепарации путем сокращения материала на длинной трубке LGST;

3) «тяжёлые» (C) и предварительные (PC) концентраты путем доводки на короткой трубке SGST.

Фракции > 1 мм контролировались визуально в целях обнаружения «крупных самородков» золота. Основные операции пробоподготовки отображены на рисунке.

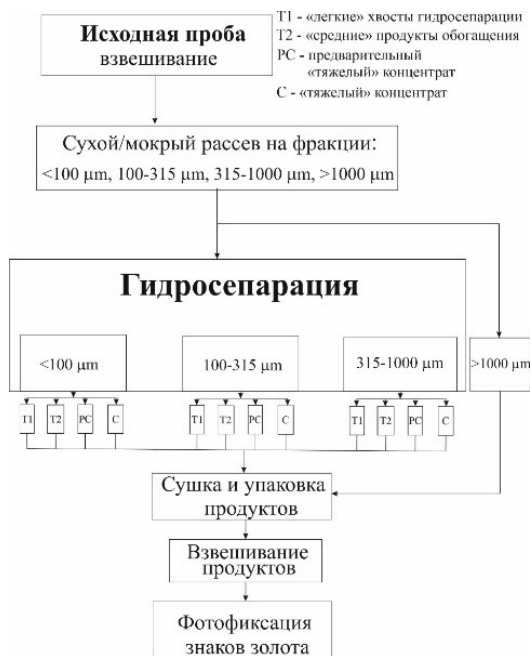
Процесс и качество технологического обогащения контролировались при помощи цифровой камеры CNT-Image2. Для каждой пробы диагностика минералов выполнялась визуально под увеличением от $24\times$ до $100\times$ в два этапа: 1) в процессе обогащения (первичный осмотр и контроль продуктов гидросепарации); 2) после сушки и упаковки всех продуктов (поиск зёрен самородного золота и их фотофиксация).

В результате выполненных работ получена информация о минеральном составе продуктов гидросепарации шлиховых проб, диагностированы и зафиксированы единичные зёрна самородного золота.

Состав «легких» субфракций представлен в основном кварцем и полевыми шпатами, также диагностированы единичные зерна слюды, осколков дерева, составляющих бумаги и др.

Состав фракций, «средних» по плотности (T2), также довольно однообразен и представлен амфиболами (преимущественно роговой обманкой), эпидот-цоизит, гранат, оливин и диопсид.

Состав «тяжелых» фракций (C и PC) довольно однообразен, в то же время эти технологические продукты составляют наибольшую долю (до 80%) от масс исходных проб. В незначительно отличающихся соотношениях тяжёлые минералы представлены преобладающими магнетитом и гетитом, а также ильменитом, гематитом, гранатами и цирконами. Лейкоксен представлен в виде примазок на титансодержащих минералах – титаномагнетите и ильмените. В единичных количествах встречены зёрна-сростки пирита, сфалерита, галенита и халькопирита с нерудными минералами, а также свободные зёрна самородного золота, рутила/анатаза и титанита. Две данные субфракции представ-



Принципиальная схема исследования шлиховых проб Мурунской площади

лены в большем количестве шлиховых проб как преобладающие по массе.

Самородное золото представлено в виде уплощенных, в редких случаях субизометричных, пластинчатых зерен. Стоит отметить, что 7 из 8 знаков самородного золота обнаружены в фракции $< 0,1$ мм. Один знак диагностирован в классе $-0,315 + 0,1$ мм.

Золото встречается в виде зерен уплощенной, таблитчатой и субизометричной формы. Зерна имеют характерный для золота желтый цвет, их размер варьируется от 30×40 мкм до 130×100 мкм. Степень окатанности весьма различна: от почти угловатых и до хорошо окатанных зерен.

Минералы-спутники золота – сульфиды – обнаружены в 14 исследованных пробах. Среди них резко преобладает пирит, значительно реже (чаще это единичные зерна) халькопирит, галенит и сфалерит.

Пирит представлен кубическими зернами, редко со штриховкой на гранях, единичные зерна – обломки пентагон-додекаэдра. Замещается лимонитом и гетитом. Пирит отмечен в продуктах гидросепарации клас-

сов: $< 0,1$, $-0,315 + 0,1$ мм. Окатанность пирита в различных пробах варьируется от угловатых зерен до окатанных. Распространены зерна-сростки – в виде тонких вкраплений пирита в кварце. Халькопирит представлен осколками с характерной побежалостью, зерна слабоокатанные, обнаружен только в «тяжелых» продуктах гидросепарации нескольких проб в классах $-0,315 + 0,1$ мм. Галенит представлен единичными угловатыми зернами кубической сингонии, серого цвета с ярко-выраженными гранями спайности в концентрате класса $< 0,1$ мм, сфалерит – слабоокатанными зернами с алмазным блеском. Зерна обнаружены в продукте концентрата классов $< 0,1$ и $-0,315 + 0,1$ мм.

Полученные результаты показали принципиальную возможность использования метода гидросепарации в поисковой минералогии на примере поиска зерен золота и минералов-спутников. В отличие от методик с применением тяжелых жидкостей и концентрационных столов, метод гидросепарации более чувствителен к зернам размером < 100 мкм, не токсичен и не загрязняет пробы минералами, в отличие от тяжелых жидкостей, где зерна с одинаковой плотностью равномерно распределяются по всему объему. Метод гидросепарации – универсальная методика для выделения «тяжелых» фракций и поиска зерен золота.

Список литературы:

1. Менчинская О.В., Соколов Е.П., Мишнин В.М. Геолого-геохимическая модель золото-порфирового (?) оруденения в щелочных породах Мурунского массива. // Разведка и охрана недр, 2013, № 8. – С. 32–36.
2. Патент № 216530. Российская Федерация. 2001. Гидравлический классификатор. / Рудашевский Н.С., Лупал С.Д., Рудашевский В.Н.
3. Патент № 2281808. Российская Федерация. 2006. Гидравлический классификатор. / Рудашевский Н.С., Рудашевский В.Н.
4. Гидравлический классификатор, полезная модель. Патент № 69418, Российская Федерация. 2007. / Рудашевский Н.С., Рудашевский В.Н.
5. R. Pric J., Cabri L.J. [et al.]. Gold characterization of a sample from Malartic East (Québec) using concentration by hydroseparator // Proc. International Symposium on the Treatment of Gold Ores, Calgary, Alberta / eds. by G. Deschênes, D. Houdin, L. Lorenzen. – 2005. – P. 17–29.

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В статье представлен обзор экологических проблем, связанных с переработкой редкоземельных руд. Рассмотрено развитие рынка РЗМ в связи с расширением использования в различных областях. Показана расчетная удельная стоимость РЗМ для ряда реализуемых в мире проектов. Представлена классификация видов воздействия на окружающую среду при разработке месторождений РЗМ и примеры таких воздействий. Выявлено распределение содержания радиоактивных элементов и РЗМ в рудах разных месторождений.

Ключевые слова: редкоземельные элементы (металлы), месторождения, технологические схемы, воздействие на окружающую среду, радиоактивные элементы.

Как известно, существует несколько видов классификации редкоземельных элементов. В частности, в геохимической классификации и в так называемой рыночной классификации выделяют только «легкую» (LREE) и «тяжелую» (HREE) группы. При этом в геохимии ряд HREE – от Tb до Y, а в исследованиях рынков он шире, поскольку включает также Eu и Gd. Классификация, принятая в металлургии, с выделением «средней» (MREE) группы – Sm, Eu, Gd, представляется нам наиболее показательной.

Динамика производства РЗМ в мире, взятая за довольно длительный период (70 лет), дает наглядное представление об этапах развития рынка. Выделяются несколько периодов, в течение которых на рынке превалировали разные страны и различные сырьевые источники.

В 50-х годах уровень производства составлял не более 6–8 тыс. т, РЗМ получали исключительно при добыче россыпей из монацита. В 60–80-х годах прошлого столетия основное количество сырья добывалось в США на месторождении Mountain Pass, где основным минералом является бастнезит. С середины 80-х годов, когда началась добыча на месторождении Вауап Обо, лидерство перешло к Китаю.

В последние годы объемы добычи РЗМ в мире существенно выросли и в 2019 г. составили около 192 тыс. т (в пересчете на оксиды). Доля Китая несколько снизилась (с 90 до 70 %) за счет разработки ряда новых месторождений, в частности, Mount Weld в Австралии.

По объему производства среди отдельных редкоземельных металлов выделяются церий (по оценке, в 2019 г. выпущено в мире свыше 60 тыс. т), лантан (43 тыс. т) и неодим (31 тыс. т) [1].

При этом уровень цен на РЗМ напрямую не коррелирует с объемом производства. Если наиболее распространенные – церий и лантан – отличаются сейчас низкой стоимостью (2–3 долл/кг), то цена неодима, являющегося основным компонентом для производства редкоземельных магнитов, выше, чем у церия и лантана в 15–20 раз.

Из представленных РЗМ наибольшей стоимостью отличается тербий (494 долл/кг в 2019 г.) и диспрозий (256 долл/кг в 2019 г.), мировое производство которых не превышает нескольких тыс. т.

Характерным является разнонаправленный характер использования различных редкоземельных металлов в промышленности. Например, церий потребляется в основном в производстве полирующих порошков, добавок в стекла, автокатализаторах и металлургии. Для лантана характерно применение главным образом в катализаторах крекинга и батареях, и в меньшей степени, в металлургии. Неодим, празеодим и самарий в основном используется для выпуска магнитов, а иттрий – для производства высокотехнологичной керамики.

Основными видами продукции на основе РЗМ являются в настоящее время катализаторы (крекинга и автокатализаторы-нейтрализаторы) и редкоземельные магниты (неодим-железо-бор и самарий-кобальт). На их долю приходится около 50 % всей редкоземельной продукции в мире.

Переработка руд редкоземельных металлов с получением готовой товарной продукции характеризуется наличием достаточно большого количества стадий технологического процесса. Она включает обогащение руд с получением редкоземельного концентрата (в некоторых случаях эта стадия отсутствует, в частности, при переработке ионно-абсорбционных глин в Китае); гидрометаллургическая (и часто термическая) переработка концентрата, разделение РЗМ на индивидуальные соединения с помощью экстракционных процессов; получение товарной продукции (чаще всего оксидов РЗМ, а также металлов и сплавов).

В схемах переработки часто присутствует цикл получения сопутствующей продукции, а также операции по выведению в отдельные продукты радиоактивных элементов. При этом в технологическом процессе используется значительный объем энергии, воды и реагентов, он характеризуется наличием технологических газообразных выбросов и образованием жидких отходов.

В данном случае основными проблемами переработки редкоземельного сырья являются значительный объем использования хими-

ческих веществ (кислоты, щелочи, растворители); выделение в процессе электролиза фторсодержащих газов; содержание Th и U в рудах, необходимость их выделения при переработке и последующем хранении; наличие в технологическом процессе пыли, которая содержит радиоактивные вещества.

Изучение воздействия на природную среду технологической цепочки на китайских предприятиях показало, что выпуск 1 т оксидов РЗМ на месторождении Bayan Obo влечет за собой образование 63 тыс. м³ вредных газов, содержащих S и F; 200 м³ подкисленных сточных вод и 1–4 т радиоактивных отходов, связанных с Th. По оценке Китайского общества редкоземельных металлов, производство 1 т произведенного РЗМ сопровождается выделением 8,5 кг фтора и 13 кг пыли [2].

В связи с засильем китайских РЗМ на рынке, с одной стороны, и высоким спросом на редкие земли, с другой, в мире активно развиваются проекты новых месторождений РЗМ (в Австралии, Канаде, странах Африки), их насчитывается уже свыше 25.

Эти проекты довольно значительно отличаются минеральным составом сырья, содержанием РЗМ в руде и концентрате, методами обогащения и гидрометаллургической переработки. Следует отметить, что действующие предприятия по переработке редкоземельного сырья, действующие в Китае, Австралии и США, перерабатывают руды с более высоким содержанием РЗМ, чем подавляющее большинство проектов (не считая ионно-абсорбционного сырья Китая).

В основном заложенные в проекты технологические схемы переработки редкоземельного сырья включают главным процессом обогащения – флотацию, чаще всего в сочетании с магнитной сепарацией [3]. Есть несколько проектов, где предполагается использование в голове процесса рентгенометрической сепарации (PPC).

В ряде проектов не планируется для переработки руд использовать методы механического обогащения (Dubbo, Round Top). Для них характерны невысокое содержание РЗМ в руде и сложный минеральный состав (наличие комплекса минералов-концентраторов РЗМ и других ценных компонентов), тонкая вкрапленность. Руды этих месторождений характеризуются повышенным уровнем дорогостоящей «тяжелой» группы РЗМ, что должно компенсировать высокие затраты на гидрометаллургическую переработку сырья.

Проведен анализ стоимости 1 кг РЗМ разных по составу месторождений РЗМ. Выявлена высокая степень влияния «тяжелых» РЗМ, содержащихся в рудах, на интегрированную стоимость. В частности, стоимость 1 кг РЗМ («корзины») для месторождений Round Top и Browns Range в ценах 2019 г. составляет свыше 40 долл/кг РЗМ, что определя-

ются «ураганными» содержаниями в рудах диспрозия, тербия и эрбия [4]. Так, например, в руде Round Top (США) относительное содержание Dy_2O_3 и Er_2O_3 – свыше 5 %. Высокая стоимость взвешенной «корзины» РЗМ предопределяет высокую вероятность реализации проектов даже в условиях стагнирующих цен на РЗМ.

Наоборот, высокие доли лантана и церия, характеризующиеся ценой на уровне 2–4 долл/кг, являются причиной низкого уровня общей стоимости 1 кг РЗМ действующих месторождений – как Ловозерского месторождения в России, так и месторождения Mountain Pass в США. Суммарная доля церия и лантана в них находится на уровне 82–85 %.

Анализ экономических показателей проектов по разработке месторождений редкоземельного сырья показал, что подавляющий объем затрат приходится на циклы переработки концентрата химическими методами (выщелачивание, экстракция, восстановление). Доля этих затрат составила для разных проектов от 40 до 66 %.

В частности, для месторождения Canaklı (Турция), характеризующегося сложным минеральным составом, крайне низким содержанием РЗМ в руде и поэтому наличием в технологической схеме прямой гидрометаллургической переработки без использования методов механического обогащения, расчетная доля химических процессов в общих затратах составляет 65,8 %.

Одной из важных особенностей редкоземельного сырья является наличие достаточно высоких содержаний радиоактивных элементов (урана и тория). Наиболее высоким уровнем присутствия тория характеризуется монацит (до 27 % в минерале). Для бастнезита, который в большей мере находится в месторождениях РЗМ, характерно более низкое содержание тория, почти в 10 раз ниже, чем в монаците [5].

Из минералов, содержащих в своем составе РЗМ, наибольшим содержанием урана отличается ксенотим (до 6 %). Этот минерал, в частности, является основным в рудах уже упомянутого месторождения Browns Range, характеризующихся высокой удельной стоимостью по РЗМ, поскольку отличается наличием в основном НРЭЕ.

Также относительно высокими содержаниями радиоактивных элементов (до 8 % ThO_2 и до 2,4 % U_3O_8) характеризуется фергюсонит, встречающийся на месторождениях Nechalacho (Канада) и Dubbo (Австралия).

Нами проанализировано распределение содержания оксидов РЗМ и тория, оксидов РЗМ и урана для месторождений, планируемых к разработке в мире. Проведенный анализ этих данных показал, что данные месторождения характеризуются широким диапазоном содержаний U

в рудах – от 1 г/т до 0,4 %, Th – от 7 г/т до 3 %. При этом коэффициент корреляции U/РЗМ и Th/РЗМ составил соответственно 0,33 и 0,48.

Высокие содержания Th в основном связаны с присутствием в рудах монацита. Повышенным уровнем содержания радиоактивных элементов характеризуются руды месторождений РЗМ – Steenkampskraal (ЮАР), NolansBore (Австралия), Araxa (Бразилия), Longonjo (Ангола), Kvanefjeld (Гренландия), StrangeLake (Канада). Их разработка будет характеризоваться высоким уровнем затрат на выделение радиоактивных элементов в отдельные продукты и их безопасное хранение.

Проведен анализ заложенных в проектах по разработке месторождений методов и путей выделения радиоактивных элементов из технологического процесса получения РЗМ. В большинстве проектов предполагается селективное осаждение тория в гидрометаллургическом цикле и выведение его из процесса в виде железо-ториевого осадка. Вместе с тем, для ряда проектов (в частности, Nolans Bore, Kvanefjeld, Round Top) отдельно заложено производство товарной урановой продукции (кек, оксид урана).

В классификации воздействий на окружающую среду при разработке месторождений РЗМ одним из наиболее значимых факторов является присутствие в руде и последующее выделение в технологическом процессе радиоактивных элементов. Распределение содержания радиоактивных элементов в рудах разных месторождений РЗМ определяется составом сырья, который почти во всех случаях носит многокомпонентный характер. Определяющую роль в формировании извлекаемой ценности руды играют дорогостоящие РЗМ (диспрозий, эрбий). Высокий уровень извлекаемой ценности позволяет компенсировать значительные затраты на гидрометаллургическую переработку редкоземельного сырья. Для понимания эффективности реализации проектов различных месторождений РЗМ необходим комплексный подход, включающий одновременное изучение взаимосвязанных экологических и экономических факторов.

Список литературы:

1. Обзор рынка редкоземельных элементов (металлов) в мире – 2-е издание. – М. : Исследовательская группа «Инфомайн», 2020. – URL: <http://www.infomine.ru/research/38/622> (дата обращения 01.11.2020). Режим доступа : платный.
2. Поляков Е.Г., Нечаев А.В., Смирнов А.В. Металлургия редкоземельных металлов. – М., 2018. – 732 с.

3. Юшина Т.И., Петров И.М., Гришаев С.И., Черный С.А. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья // Горный журнал. – 2015. – № 2. – С. 59–64; № 3. – С. 76–81.
4. Development of a Rare Earth Element Resource. Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Dissertation von Patrick Friedrichs. – 2017. – 187 p.
5. Thorium resources as co- and by-products of rare earth deposits, International Atomic Energy Agency. – Vienna. – 2019. – 70 p.

Шапаренко Е.О., Хоменко М.О. (ИГМ СО РАН)

УГЛЕВОДОРОДЫ ВО ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЯХ ИЗ КВАРЦА, АРСЕНОПИРИТА И ПИРИТА ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДОБРОЕ ПО ДАННЫМ БЕСПИРОЛИЗНОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Енисейский кряж является одной из богатейших золоторудных провинций мира. На его территории находится множество месторождений коренного золота, общие запасы которых составляют несколько тысяч тонн. Концентрации золота в этом регионе в основном связаны с кварцево-жильными зонами. Известно, что флюиды, принимавшие участие в формировании продуктивных зон, состояли не только из воды, углекислоты, азота, но и ряда более сложных соединений [1]. В данной работе представлены результаты исследования флюидных включений в минералах месторождения Доброе, полученные методом беспирилизной газовой хромато-масс-спектрометрии.

Месторождение Доброе входит в состав Советского рудного узла, расположенного в северо-западной части Центрально-Енисейского золотоносного пояса. Рудный узел приурочен к зоне сочленения двух крупных протерозойских структур Енисейского кряжа – Центрального поднятия и Восточной синклинной зоны. Границей двух названных структур является Ишимбинский глубинный разлом, контролирующий размещение большинства месторождений золото-кварцевой формации на восточном склоне Енисейского кряжа. Запасы золота на месторождении оцениваются в 13 тонн золота со средним его содержанием 2,8 г/т [2]. Месторождение относится к прожилково-вкрапленному гидротермальному типу в сланцевой толще метаморфизованной в усло-

виях зеленосланцевой фации. Рудные тела залегают в пределах жильно-прожилковых зон и сложены маломощными кварцевыми жилами, зонками прожилкования, несущими золотую и сульфидную минерализацию. Основным минералом кварцевых жил является кварц. Рудная минерализация представлена пирротином, пиритом, арсенопиритом, галенитом и золотом. Золото распространено в руде неравномерно и микроскопически представлено самородной разновидностью внутри кварцевых зерен, в межзерновом пространстве и в сростании с другими рудными минералами. Пробность золота колеблется в пределах 838–913 ‰.

Состав летучих компонентов во флюидных включениях в кварце, пирите и арсенопирите (8 образцов) был исследован методом беспиrolизной газовой хромато-масс спектрометрии (GC-MS). Анализ газовой смеси, выделившейся при однократном ударном разрушении минералов, выполнен в Институте геологии и минералогии СО РАН на газовом хромато-масс-спектрометре DSQ II MS/Focus GC (Thermo Scientific, USA). Ввод газовой смеси, извлеченной из образца при его ударном разрушении, осуществлялся в онлайн-режиме в токе He (чистота 99,9999 %) без концентрирования. Старт анализа синхронизировался с моментом разрушения образца. На всех этапах подготовки проб к анализу не использовались органические вещества. Интерпретация хромато-масс-спектрометрических данных с идентификацией пиков и выделением из перекрывающихся пиков отдельных компонентов проводилась как с использованием программного обеспечения AMDIS (Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System) версии 2.73, так и в ручном режиме с коррекцией фона по библиотекам масс-спектров NIST 2017 и Wiley 11 с помощью программы NIST MS Search версии 2.3. Относительные концентрации летучих компонентов в разделяемой смеси устанавливали методом нормировки: сумма площадей всех хроматографических пиков анализируемой смеси приравнивалась к 100 %, а по величине площади отдельного компонента определялось его процентное содержание в анализируемой смеси. Детальное описание методики приведено в работе [5].

Было установлено, что главными компонентами являются H_2O (3,4–90,6 %), CO_2 (8,2–68,9 %), N_2 (0,05–46,6 %). Также в газовой фазе флюидов присутствует ряд углеводородов и S-, N-содержащих соединений (1,2–21,84 %): бескислородные алифатические и циклические углеводороды (парафины, олефины, циклические алканы и алкены, арены, полициклические ароматические углеводороды – ПАУ), кислородсодержащие углеводороды (спирты, эфиры, фураны, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты), азот- и серосодержащие соединения (таблица). Общее количество компонентов, определенных в образцах, составляет 128–160.

**Состав (отн.%) и количество (в скобках) летучих компонентов,
выделившихся при однократном ударном вскрытии флюидных
включений в сульфидах и кварце золоторудного месторождения Доброе
(по данным газовой хромато-масс-спектрометрии)**

Названия компонентов	Д-2/12		Д-4		Д-10		Д-11	
	арсено- пирит	кварц	арсено- пирит	кварц	арсено- пирит	кварц	пирит	кварц
Алифатические углеводороды								
Парафины (алканы)	2,31 (13)	1,49 (13)	2,23 (12)	0,27 (12)	6,31 (13)	2,03 (16)	0,26 (13)	2,08 (15)
Олефины (алкены)	0,27 (20)	0,36 (17)	0,05 (14)	0,07 (18)	0,20 (16)	0,55 (14)	0,04 (15)	1,93 (21)
Циклические углеводороды								
Циклоалканы, циклоалкены, арены	0,25 (15)	0,42 (12)	0,16 (13)	1,06 (9)	0,43 (12)	0,57 (9)	0,14 (15)	0,24 (11)
Кислородсодержащие углеводороды								
Эфиры (про- стые и слож- ные), спирты	1,49 (14)	2,90 (20)	0,55 (10)	0,11 (14)	0,51 (16)	1,82 (18)	0,31 (11)	2,81 (20)
Альдегиды	0,30 (2)	0,99 (23)	0,32 (24)	0,24 (22)	0,79 (20)	4,62 (23)	0,05 (17)	5,58 (24)
Кетоны	0,30 (16)	1,09 (18)	0,10 (14)	0,22 (15)	0,75 (17)	2,21 (17)	0,04 (10)	1,58 (18)
Карбоновые кислоты	1,44 (19)	3,18 (12)	0,35 (10)	0,40 (10)	0,17 (13)	1,71 (9)	0,22 (19)	6,61 (11)
Гетероциклические соединения								
Диоксаны, фураны	0,09 (8)	0,10 (11)	0,02 (5)	0,03 (12)	0,14 (6)	0,18 (11)	0,01 (4)	0,10 (12)
Азотсодержащие соединения								
Азот, аммиак, нитрилы	0,89 (10)	46,80 (13)	2,64 (9)	14,93 (13)	0,96 (9)	13,48 (12)	0,07 (8)	1,85 (15)
Серосодержащие соединения								
H ₂ S, SO ₂ , CS ₂ , COS, тиофены	0,08 (9)	0,34 (8)	0,79 (12)	0,03 (9)	2,19 (9)	2,30 (10)	0,10 (16)	0,43 (11)
Неорганические соединения								
CO ₂	26,36	38,80	18,22	65,21	52,34	32,85	8,16	68,93
H ₂ O	66,23	3,38	74,52	17,44	34,16	37,68	90,62	7,38
Общее количество компонентов	128	149	125	136	133	141	130	160
Алканы/алкены	8,6	4,1	44,6	3,9	31,6	3,7	6,5	1,1
CO ₂ /(CO ₂ +H ₂ O)	0,3	0,9	0,2	0,8	0,6	0,5	0,08	0,9
C ₅ -C ₁₇ /C ₁ -C ₄	0,04	0,3	0,04	0,2	0,02	1,2	0,5	2,1

Полученные результаты свидетельствуют о том, что рудоносные флюиды месторождения Доброе представляют собой сложную многокомпонентную систему. Органические соединения, присутствующие в её составе, оказывали благотворное влияние на перенос и аккумуляцию значительного количества золота [3, 4]. Таким образом углеводороды выступают в роли рудного флюида.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-35-90050. Авторы благодарят Сазонова А.М. за предоставленный материал для исследования, Гибшер Н.А., Бульбака Т.А., Толмиленко А.А. за консультации в ходе интерпретации полученных данных.

Список литературы:

1. Бульбак Т.А., Томиленко А.А., Гибшер Н.А., Сазонов А.М., Шапаренко Е.О., Рябуха М.А., Хоменко М.О., Сильянов С.А., Некрасова Н.А. Углеводороды во флюидных включениях из самородного золота, пирита и кварца месторождения Советское (Енисейский край, Россия) по данным беспиролизной газовой хромато-масс-спектрометрии // Геология и геофизика. – 2020. – № 11. – С. 1535–1560.
2. Сердюк С.С., Коморовский Ю.Е., Зверев А.И., Ояберь В.К., Власов В.С., Бабушкин В.Е., Кириленко В.А., Землянский С.А. Модели месторождений золота Енисейской Сибири. – Красноярск : СФУ, 2010. – 584 с.
3. Gize A.F., Macdonald R. Generation of compositionally atypical hydrocarbons in CO₂-rich geologic environment // Geology. – 1993. – V. 21. – P. 129–132.
4. Migdisov A.A., Guo X., Xu H., Williams-Jones A.E., Sun C.J., Vasyukova O., Sugiyama I., Fuchs S., Pearce K., Roback R. Hydrocarbons as ore fluids // Geochem. Persp. Let. – 2017. – V. 5. – P. 47–52.
5. Tomilenko A., Sonin V., Bul'bak T., Chepurov A. Composition of volatile components in the polycrystalline CVD diamond (by coupled gas chromatographic–mass spectrometric analysis) // Carbon Letters. – 2019. – V. 29. – P. 327–336.

**КОМПЛЕКСНЫЕ СРАВНИТЕЛЬНЫЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ
И КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИИ
КОБАЛЬТОВЫХ РУД ДАШКЕСАНСКОГО РАЙОНА**

В рудах сульфидов и сульфоарсенидов месторождений Малого Кавказа (Южно- и Северо-Дашкесанского месторождения) обнаружен ряд минералов никеля, кобальта, теллура и др., как данаит, аллоклазит, моддерит, электрум и др. Все эти минералы тесно ассоциируют с пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом и многими сульфидами и сульфоарсенидами.

Применение локального рентгеноспектрального анализа к исследованию самородного золота, серебра и др. лишь начинается, но интерес к методу все более возрастает. В связи с этим возникает потребность в уточнении его возможностей для рассматриваемых целей. Особенно важным представляется выяснение вопроса о распределении наиболее постоянного компонента в составе характеризуемого минерала золота, серебра и др.

Содержание железа, кобальта, никеля, меди, золота, серебра, серы и др. определялось по К-серии при ускоряющем напряжении 20 кВ, кристаллом-анализатором кварца. Содержание серы – по К-серии при напряжении 10 кВ с кристаллом-анализатором, 25 кВ с кристаллом-анализатором LiF. Величина экспериментальной ошибки $\pm 1-2\%$. В качестве эталонов брались чистые металлы Co, Ni, Fe, а также природный галенит (PbS), пирит (FeS₂) и никелин (NiAs). Время изменения интенсивности рентгеновских линий на образцах и эталонах 150 секунд [1].

Вхождение примеси в структуру минерала-хозяина в той или иной мере влияет на его решетку. Это может сказываться на рентгеновских характеристиках; на порошкограммах могут изменяться межплоскостные расстояния и интенсивности линий. Нередко ощутимо меняются и параметры элементарных ячеек. Поэтому рентгеновские методы определения изоморфного характера примесей считаются наиболее эффективными. Рентгеновские методы могут оказаться малоэффективными и при кристаллохимической близости взаимно замещающихся атомов. Кроме того, в твердых растворах внедрения, где примеси заполняют вакантные места в решетке, размеры элементарной ячейки могут оказаться практически постоянными. В таких случаях более чув-

ствительными иногда становятся количественные методы исследования физических свойств кристаллов [3].

Применение методов исследования физических свойств к сульфидам и сульфоарсенидам имеет свою специфику. Прежде всего, с помощью рудного микроскопа определяется гораздо меньше количественных характеристик, чем при изучении прозрачных минералов в проходящем свете.

Следующим методом является определение микротвердости, которое широко используется для исследования рудных минералов. К настоящему времени с его помощью для целого ряда сульфидов установлен изоморфный характер примесей. Исследование микротвердости упрощается, если форма отпечатка квадратная. Если же минерал имеет ярко выраженную анизотропию твердости, то это с одной стороны усложняет задачу, но с другой – может дать дополнительную информацию о влиянии изоморфных примесей на характер и форму отпечатка.

Следующим методом является метод избирательного растворения. Этот метод относится к химическим и основан на различной растворимости соединений. Подбирается специальный растворитель, с помощью которого переводится в раствор минерал-хозяин. Если примесь изоморфна, она переходит в раствор в тех же пропорциях, что и основные компоненты. Если примесь находится в собственной минеральной форме, то она может оказаться нерастворимой или растворяться в иных соотношениях. Таким способом успешно определялась форма нахождения теллура в галените, кадмия и германия в сфалерите и т.д. Данный метод не всегда позволяет получать однозначные результаты. Как показывает приведенное описание, разные методы, применяемые для исследования изоморфных примесей, имеют определенные ограничения. Как правило, наиболее определенные результаты получают при комплексном использовании нескольких методов.

В результате комплексных современных минералогических исследований нами получены новые данные о минералогии сульфидов и сульфоарсенидов кобальтовых руд Малого Кавказа, Дашкесанского района.

Новые результаты дали нам знания о минералах сульфоарсенидов кобальта, данаите (моноклинная сингония, $P2(1)/c$, $z = 4$, $\alpha = 90,0$, $\beta = 110,59$, $\gamma = 90,0$, $Fe = 0,87$, $As = 0,69$, $S = 0,78$). Данаит ($FeAsS$) – высококобальтистый арсенопирит, содержащий от 1 до 12 % Co , образует ромбовидные и удлиненно-призматические кристаллы размером от 0,1 мм до 0,5 см (рис. 1). Обычно содержит изоморфные примеси кобальта и никеля. Данаит исследован из различных месторождений Дашкесанского рудного района; среди скарнов различного состава в магнетитовых рудах и в зо-



Рис. 1. Арсенопирит, данаит. Агрегат призматических короткостолбчатых и шестоватых кристаллов

нах сильно раздробленных диабазовых порфиров данаит встречается в ассоциации с арсенопиритом, глаукодотом, кобальтитом, гемптитом, пиритом, кобальтпиритом и редко встречающимися минералами – моддеритом, саффоритом, линнеитом, миллеритом, теллуридом и электрумом.

На Северо-Дашкесанском кобальтовом месторождении отмечаются зоны вкрапленной минерализации, обогащенной данаитом (главная рудная зона, жилы № 10 и 11). На Южно-Дашкесанском железо-кобальтовом месторождении среди эпидит-гранатовых скарнов и магнетитовых руд встречается арсенопирит-данаитовая жила мощностью до 1 м и прожилки данаит-глаукодот-аллоклазитового состава (юго-восточный участок, штол. № 1).

Цвет данаита под микроскопом оловянно-белый. От арсенопирита отличается слабо заметным серовато-белым оттенком. Обладает сильным отражением. В иммерсии в кристаллах данаита по границе с аллоклазитом, глаукодотом, кобальтином и пиритом наблюдается отчетливо выраженный синий оттенок. Иногда отмечаются двойники.

Спектр отражения данаита отличается от спектра отражения арсенопирита. Однако начиная от 600 нм величина R арсенопирита, уменьшается по сравнению с R данаита (табл. 1).

Твердость данаита из Северо-Дашкесанского кобальтового месторождения, измеренная нами, находится в пределах 831–1005 кгс/мм², нагрузка P = 70–100 г, что соответствует ~ 6,5 по шкале Мооса. Твердость арсенопирита из Южно-Дашкесанского железо-кобальтового месторождения, измеренная нами для сравнения с твердостью данаита на том же приборе, изменяется в пределах 1049–1125 кгс/мм², P = 70–100 г, что соответствует ~ 5,5–6,0 по шкале Мооса [1].

При травлении данаита и арсенопирита HNO₃ (1:1) выявляется их зональная структура. К_α-излучение элементов – Fe, Co, Ni, Cu, As, S (отсутствие свинца предварительно проверялось по PbL_β-линии). В каче-

Табл. 1. Результаты измерения спектров отражения данаита и арсенопирита Южно-Дашкесанского месторождения

№	Длина волны в нм	Данаит	Арсенопирит
1	440	52,3	0,4
2	500	51,1	52,2
3	540	51,4	52,7
4	580	51,3	51,8
5	600	51,2	51,3
6	680	51,4	50,7
7	720	52,0	50,5
8	800	52,4	–
9	950	54,1	–
10	1100	55,2	–

стве эталонов использовались чистые металлы – Fe, Co, Ni, Cu, а также никелин и пирит известного состава (табл. 2).

Для выявления особенностей разупорядочения кристаллической структуры в геологических условиях проведено сравнительное рентгеноспектральное, рентгеноструктурное и мессбауэровское исследование природных образцов арсенопирита FeAsS . Атомы железа размещаются в единственной катионной позиции структуры арсенопирита. Структурные изменения происходят в анионной подрешетке путем разупорядочения основного координационного окружения железа $[\text{FeAs}_3\text{S}_3]$ до состояния, описываемого как $[\text{Fe}(\text{As}_{3-x}\text{S}_x)(\text{S}_{3-y}\text{As}_y)]$. Установлено, что взаимное замещение анионов сопровождается небольшим сдвигом атомной позиции из-за разницы межатомных состояний Fe-S и Fe-As [3]. Разупорядоченное состояние допускает преобладание одного из анионов. В результате в реальном кристалле образуется набор состояний атома железа, различающихся по составу координационной сферы и по пространственной конфигурации заместителей в ней. Разупорядочение координационного окружения количественно соответствует данным ЯГР-спектроскопии. По результатам анализа получена формула: $\text{Fe}(\text{As}_{0,93}\text{S}_{0,07})(\text{S}_{0,93}\text{As}_{0,07})$.

Структурная единица – искаженный октаэдр $[\text{FeS}_3\text{As}_3]$, где железо является центральным атомом. В идеальном варианте атомы серы образуют одну треугольную грань октаэдра. Атом железа слегка сдвинут к сульфидному треугольнику. Каждый атом халькогена связан с тремя атомами железа, т.е. выступает вершиной трех октаэдров (рис. 2). Анализируя укладку октаэдров в кристаллической структуре арсенопирита,

Табл. 2. Результаты химических анализов из Дашкесанского месторождения и сравнение их с анализами образцов из других месторождений

Место	№ обр.	Содержание						Сумма	Коэффициенты в формуле				
		Fe	Co	Ni	Cu	As	S		Fe	Co	Ni	As	S
Северное месторождение	580	26,1	6,0	0,15	-	51,2	14,5	97,9	0,82	0,18	0,004	1,20	0,80
	585	26,0	7,4	1,26	-	45,6	19,7	99,9	0,76	0,21	0,03	1,00	1,00
	587	27,05	7,02	0,00	-	45,56	19,25	98,8	0,80	0,20	-	1,01	1,00
Южное месторождение	450	23,6	11,7	-	-	46,1	19,2	100,6	0,69	0,33	-	1,01	0,99
	620	24,5	9,7	-	-	48,0	18,0	100,2	0,78	0,27	0,01	1,07	0,98
	640	24,55	10,5	-	-	45,11	20,28	100,8	0,71	0,29	-	0,98	1,02

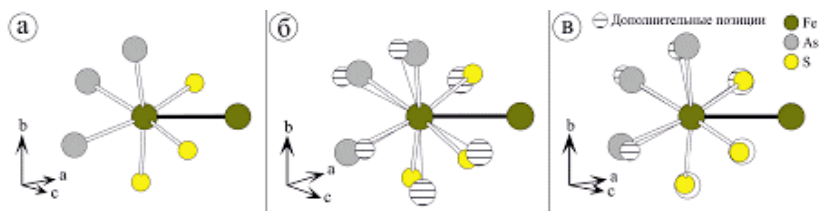


Рис. 2. Позиции атомов Fe-As-S

можно указать на образование лент вдоль направления (5). В лентах октаэдры соединяются между собой по ребрам. При этом возникают короткие расстояния Fe-Fe $\sim 2,734$ Å, в случае, когда ребро состоит из двух атомов серы. Когда ребро образуют два атома, расстояние Fe-Fe достигает 3,741 Å. Нарушение в лентах регулярного чередования ребер (As...As) и (S...S), по-видимому, наиболее вероятная причина ошибок, которые сопровождаются двойникованием вдоль направления в кристаллах арсенипирита. Параллельные ленты на одном уровне по оси (b) не связаны между собой. Связь осуществляется за счет выше- и нижележащих лент.

Рентгеновские исследования приведены для данаита из месторождений Дашкесанского рудного района, сравнения данаита из Карагем-

ского месторождения (Алтай) и арсенопирита из Южно-Дашкесанского железо-кобальтового месторождения [4]. Характерные линии для данаита – 2,67; 2,44; 1,818; для арсенопирита – 2,67; 2,445; 1,828. Получены следующие параметры решетки данаита из Северо-Дашкесанского кобальтового месторождения: $a = 9,64 \text{ \AA}$, $b = 5,64 \text{ \AA}$, $c = 6,40 \text{ \AA}$, $\beta = 90^\circ$; $a : b : c = 1,79 : 1 : 1,135$. Параметры решетки арсенопирита: $a = 9,53 \text{ \AA}$, $b = 5,66 \text{ \AA}$, $c = 6,43 \text{ \AA}$, $\beta = 90^\circ$; $a : b : c = 1,684 : 1 : 1,136$.

Список литературы:

1. Белов Н.В. Очерки по структурной кристаллографии и федоровским группам симметрии. – М. : Наука, 1986.
2. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. Теория симметрии кристаллов. – М. : ГЕОС, 2000.
3. Пушаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. – М. : Геоинформмарк, 2000.
4. Урусов В.С. Твердые растворы в мире минералов // Советский обзорательный журнал. – 1996. – № 11 – С. 54–60.
5. International Tables for Crystallography. 3d rew. / Ed. V.A. Kluwer – Boston ; London. – 1992.

Янникова Ю.Ю., Фурсов А.И., Янникова Л.Ю.
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»)

ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА РАСТВОРИМОСТЬ ЗОЛОТА В ХВОСТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ РУД

Постепенное истощение запасов месторождений золота приводит к необходимости вовлечения в сферу промышленного использования труднообогатимых высокоуглеродистых руд и хвостов их переработки. К такому типу относятся руды большинства месторождений-гигантов Российской Федерации, которые характеризуются большими запасами и относительно низким содержанием золота. В процессе эксплуатации подобных месторождений уже накоплен и продолжает накапливаться материал хвостов их переработки со значительными содержаниями благородных металлов. В этой связи решение задачи оптимизации процес-

са извлечения требует внедрения новых высокоэффективных технологий обогащения руд, за счет «скрытого» металла.

Сведения о «скрытом» золоте в рудах, связанных с черными сланцами появились в конце 70-х годов прошлого столетия [2] в связи с открытием ряда крупнейших объектов в СССР (Мурунтау в Узбекистане, Кумтор в Киргизии, Бакырчик в Казахстане, Сухой Лог в России). Руды всех перечисленных объектов обладают упорностью, которая при использовании традиционной технологии препятствует полному извлечению металла. Основным элементом используемой технологии является измельчение руды до 70 мкм, обеспечивающее вскрытие золотин и доступ к ним растворяющих реагентов (обычно NaCN) [4]. На измельчение механическим способом руды до такого состояния расходуется до 70 % всех энергозатрат производства [3], при измельчении до меньшего размера, такой способ практически перестает работать. Недовскрытое золото «уходит» в хвосты обогащения, причем в количествах, соизмеримых с содержанием в исходной руде.

Главной целью исследований является создание теоретических основ извлечения наноразмерного золота из руд, характеризующихся двойной упорностью, то есть относящихся к высокоуглеродистой формации.

Для ее решения необходимо выработать методику вскрытия и перевода наноразмерного золота в раствор, а также установить влияние суперизмельчения на активизацию сорбционных свойств природного углеродистого вещества, находящегося в рудной массе.

Содержание золота в жидкой фазе определялось на приборе атомно-абсорбционной спектроскопии Квант-Z ЭТА-Т с электротермической атомизацией (ААСЭТА) в графической кювете, с коррекцией спектральных помех способом обратного эффекта Зеемана. Для определения золота использовалась спектральная лампа с полым катодом с длиной волны 242,8 нм. Защитный газ – аргон. Быстрый нагрев графитовой печи обеспечивает разделение во времени процессов атомизации и диссипации атомного пара из аналитического объема. В результате амплитуда сигнала зависит только от количества элемента в пробе, но не зависит от компонентов матрицы и параметров переноса. Для анализа отбиралась аликвота 5 мм³, которая разлагалась в печи анализатора. Программа нагрева печи длится 20–30 с: испарение – 10 с, пиролиз 5–10 с, атомизация – 1 с, очистка – 2 с, что близко к производительности пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии.

Для определения содержания золота в твердой фазе производилось ее растворение в царской водке, с последующим замером уровня концентрации металла в жидкой фазе на вышеуказанном приборе и пересчетом

на исходное вещество. Процесс растворения проводился при нагревании на водяной бане.

Измельчение рудного материала производилось на кавитационной установке роторного типа.

Явление кавитации представляет собой физический процесс образования пузырьков вакуума в жидких средах, с последующим их схлопыванием и высвобождением большого количества энергии, приводящей к разрушению и суперизмельчению ($\sim 1\text{--}10$ мкм) частиц.

В качестве объекта исследования были отобраны две пробы хвостов одного из обогащательных предприятий.

Первая проба представляет собой хвост контрольной флотации, а вторая – хвост сорбции с исходными содержаниями золота по данным пробирного анализа соответственно 0,16 и 1,56 г/т.

После проведения кавитационной обработки (КО) минерального сырья в нейтральной среде были получены следующие данные. Исходное содержание золота из хвостов контрольной флотации 0,16 г/т (подтверждено методом ААСЭТА). Обработку производили в два этапа. После первой КО содержание в твердой фазе (кек обработки) – 0,99 г/т, в жидкой – 0,01 г/т¹. После второй КО содержание в твердой фазе – 0,26 г/т, в жидкой – 0,03 г/т. Эта проба после КО в солянокислой среде показала содержание золота в твердой фазе 0,17 г/т, в жидкой – 0,55 г/т. После первой КО содержание определяемого золота в пересчете на твердую фазу возросло до 0,99 г/т. Повышение содержания извлекаемого золота по сравнению с исходной рудой увеличилось в 6 раз. В жидкой фазе содержание золота составляет, при перерасчете на твердую фазу 0,03 г/т, т.е металл не переходит в раствор в нейтральной среде. При дальнейшем воздействии кавитации содержание снизилось до 0,26 г/т в твердой фазе и до 0,02 г/т в жидкой. Последующая КО приводит к снижению определяемого золота. Это связано с активацией углистого вещества, которое сорбирует вскрытое золото [1]. При КО с соляной кислотой содержание золота в жидкой фазе (при перерасчете на твердую фазу) увеличивается до 0,55 г/т, при этом в твердой фазе содержание остается на первоначальном уровне (0,17 г/т). Наличие хлоридиона и низкие значения pH переводят золото в растворимые хлоридные соединения. В нейтральной среде такой эффект не наблюдается.

После проведения КО хвостов сорбции в солянокислой среде были получены следующие данные. Исходное содержание золота в пробе составило 1,56 г/т. Данная проба была также исследована методом

¹ Здесь и далее в пересчете на 1 т руды

ААСЭТА, значение содержания золота подтверждено в пределах погрешности измерения. После КО содержание золота в твердой фазе составило 6,60 г/т, в жидкой – 1,15 г/т. Суммарное содержание скрытого золота составляет 7,75 г/т, что в 5 раз превышает содержание золота в исходной пробе до кавитационной обработки. Переход основной части золота в твердую фазу, можно объяснить активацией в процессе КО углистого вещества, которое сорбирует на себя выделенный в раствор металл. Суперизмельчение при КО активует углистое вещество, сорбционные свойства которого повышаются.

Таким образом, получены данные о тонком золоте, позволяющие утверждать, что при суперизмельчении методом кавитации происходит дополнительное вскрытие и высвобождение золотин, которые в виде хлоридных соединений переходят в раствор, а частично сорбируются на дополнительно активизированном углероде. Кавитация позволяет повысить уровень содержания определяемого золота в 5–6 раз.

Последующие КО приводят к снижению содержания выявляемого золота из-за активизации углистого вещества.

При планировании будущих исследований необходимо провести ряд последовательных КО для определения оптимального времени суммарной экспозиции (максимальное вскрытие золота до активации углистого вещества), провести КО в растворах других растворителей золота.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90079 «Разработка теоретических основ технологии извлечения наноразмерного золота из руд связанных с высокоуглеродистыми сланцами».

Список литературы:

1. Ненахов В.М., Никитин А.В., Ненахова Е.В., Караичев О.В. Новое в технологии извлечения благородных металлов из упорных высокоуглеродистых руд // Актуальные вопросы геологии. Материалы Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2019. – С. 149–154.
2. Матвиенко В.Н., Ненахов В.М., Калашников Ю.Д., Левин В.Л. Роль природных кластеров благородных металлов как источника рудного вещества при формировании месторождений // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. – 2018. – № 3. – С. 36–49.
3. Современные проблемы металлургии и материаловедения благородных металлов : учебное пособие / С.И. Лолейт, М.А. Меретуков, Л.С. Стрижко, К.К. Гурин. – М. : МИСиС, 2012. – 196 с.

4. Marsden J., House I. The chemistry of gold extraction. – N.Y. Horwood. – 1993.
5. Modern supramolecular gold chemistry: gold-metal interactions and applications / ed. A. Laguna. – N.Y. : John Wiley, 2008.
6. Gold chemistry: applications and future directions in the life sciences / ed. F. Mohr. – N.Y. : John Wiley, 2009.

Янченко О.М., Ворошилов В.Г., Якич Т.Ю. (ФГАОУ ВО НИ ТПУ)

МИНЕРАЛЫ-СПУТНИКИ ЗОЛОТА В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ ТОМСКОГО РАЙОНА

В Томском районе на породах палеозойского фундамента практически повсеместно развиты остаточные коры выветривания площадного и линейного типов мел-палеогенового возраста, на отдельных участках происходит их переотложение.

Расчленение разреза кор выветривания осуществляется на основе литологического, гранулометрического, химического и минералогического состава продуктов выветривания. В полном профиле остаточной коры выветривания выделяются зоны дезинтеграции, гидратации и гидролиза [6, 8, 9].

Фактическим материалом для проведения исследования остаточных и переотложенных кор выветривания, их строения, минерального состава, парагенетических ассоциаций минералов и их взаимосвязи с золотом послужили концентраты керновых проб. Минеральный состав изучался с помощью стереомикроскопа OLYMPUS SZX10, на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 SBU и рентгенофлуоресцентном микроскопе HORIBA Scientific XGT-7200 изучены химический состав, внутренняя структура минералов и их взаимоотношения. Исследования глинистых минералов методом рентгеновской дифракции на порошковом дифрактометре Rigaku Ultima IV.

Золото остаточной коры выветривания относится к неправильно-морфологическому типу с преобладанием цементационных золотинок, имеющих ажурную, комковидную причудливые формы, в которых пылевидные «частицы-шарики» соединены между собой тончайшими перемычками. Реже встречаются интерстициальные и трещинные выделения, имеющие преимущественно трёхмерную комковидную, а также пластинчатую и чешуйчатую формы.

Для переотложенной коры выветривания характерно наличие золотин со следами транспортировки, характеризующихся более крупными размерами (по сравнению с типичными золотишками остаточной коры выветривания), они имеют сглаженные очертания (иногда до совершенной степени окатанности), представлены трехмерными изометричными, близкими к округлой форме, неправильными или несколько удлинёнными, уплощёнными образованиями.

Установлено укрупнение золота и повышение его содержания в верхней части разреза – в зоне гидролиза остаточной коры выветривания (до 6,264 г/т) и в переотложенной коре выветривания (до 1,5 г/т) [5, 9].

Изучены следующие минералы-спутники золота – глинистые минералы пелитовой фракции, минералы группы карбонатов и класса фосфатов, сульфиды.

Для минералов пелитовой фракции характерна тенденция увеличения содержания новообразованных глинистых минералов (каолинит, иллит, хлорит, диксит) верхней части профиля коры выветривания и повышение содержания кварца. В зоне дезинтеграции, на начальном этапе преобразования, породы по трещинам замещаются хлоритом, полевые шпаты замещаются гидрослюдами и минералами группы каолинита. Выделения золота остаточной коры выветривания часто образуют сростки с гидрослюдисто-каолининовым агрегатом [7].

Наиболее характерной морфологической формой выделения минералов группы карбонатов являются микросферолиты размером преимущественно менее 0,2 мм и их агрегаты. По химическому составу карбонаты зоны дезинтеграции представлены кальцитом и сидеритом, гидратации – сидеритом, гидролиза – сидеритом и карбонатами переменного сидерит-кутногоритового состава, карбонаты переотложенной коры выветривания по составу отвечают кутногориту и сидериту. Наибольшее содержание карбонатов характерно для зоны гидролиза, где минерал встречается в сростках с золотом [8–10].

В корах выветривания установлены минералы класса фосфатов – минералы группы апатита, редкоземельных элементов и алюмофосфаты группы крандаллита. Фосфатные минералы разделены на группы: первичные терригенные фосфаты, устойчивые в корах выветривания и выделившиеся при разрушении коренных пород (монацит, ксенотим, апатит), гипергенно-преобразованные, изменённые в процессе выветривания (монацит), и вторичные (монацит, куларит, флоренсит, крандаллит, гоэцит, горсейксит, плюмбогуммит).

Фторапатит и ксенотим – исходные фосфаты, присутствующие во всех частях разреза. Апатит встречается в виде гексагонально-призматических кристаллов, трещиноватых обломков, а также включений в

кубических кристаллах пирита со ступенчатым ростом граней, окатанном цирконе и обломках магматических пород. Ксенотим присутствует в виде агрегатных скоплений и единичных изометричных трещиноватых зерен и кристаллов бледно-желтой, бесцветной окраски в ассоциации с кварцем и гидрослюдами.

Монацит встречается во всех частях разреза остаточной коры выветривания и представлен первичным, гипергенно-преобразованным и новообразованными типами. Первичный монацит встречается во всех частях разреза, для него характерна ассоциация с кварцем, полевыми шпатами, гидрослюдами, рутилом, также установлены единичные включения – реликты зерен в сфалерите и апатите. Гипергенно-преобразованный монацит присутствует в зоне гидратации в виде реликтовых включений размером менее 0,05 мм в совместном агрегате алюмофосфатов гояцита и горсейкита, а также в переотложенной коре выветривания, где установлен в сростаниях с кварцем и кристаллами рутила. В зоне гидролиза и переотложенной коре выветривания установлены гипергенные монацит, находящийся в ассоциации с сидеритом и магнетитом, и куларит в ассоциации с кварцем, сидеритом и рутилом.

Для зон гидратации и гидролиза характерно появление гидратированных алюмофосфатов: в зоне гидратации они имеют переменный горсейкит-гояцитовый и крандаллит-гояцитовый состав, в составе минералов практически всегда содержится фтор, иногда в составе гояцита присутствуют редкоземельные элементы, также в этой зоне появляется флоренсит $(\text{Ce}_{0,34-0,41}\text{Sr}_{0,14-0,23}\text{La}_{0,13-0,19}\text{Nd}_{0,11-0,16}\text{Ca}_{0,02-0,13}\text{Pr}_{0,03-0,05})_{0,85-1,00}(\text{Al}_{2,86-3,03}\text{Fe}_{0,04-0,11})_{3,08-3,14}(\text{PO}_{4,12-4,22}/2)(\text{OH})_{5,56-5,77}$, ассоциирующий с каолинитом и гидрослюдами. Иногда в составе горсейкита присутствуют сера, мышьяк, железо, свинец, цинк, медь. Наличие фтора и редкоземельных элементов, а также железа, свинца, цинка, меди, серы и мышьяка свидетельствует об их образовании при частичном разложении апатита, монацита и сульфидов. В зоне гидролиза из алюмофосфатов остаются флоренсит $(\text{Ce}_{0,44}\text{La}_{0,23}\text{Nd}_{0,12}\text{Sr}_{0,21}\text{Pr}_{0,04})_{0,69}\text{Al}_{2,86}(\text{PO}_{4,23})_2(\text{OH})_{4,54}$ и орсейксит, заместивший гояцит $(\text{Ba}_{0,70}\text{Sr}_{0,14}\text{Ca}_{0,11})_{0,95}\text{Al}_{2,87}[\text{PO}_4][\text{PO}_{2,52}(\text{OH})](\text{OH})_{5,71}\text{F}_{0,77}$, а также появляется плумбогуммит $(\text{Pb}_{1,05}\text{Ce}_{0,10}\text{La}_{0,05}\text{Ca}_{0,03})_{1,23}\text{Al}_{3,54}[\text{PO}_4][\text{PO}_{4,13}(\text{OH})](\text{OH})_{4,87}$ [1–4, 10, 11].

Установленные в различных зонах коры выветривания, ассоциации фосфатов большей частью представляют собой звенья последовательного преобразования минералов от кальциевых и редкоземельных фосфатов к алюминиевым, указывающего на возрастание кислотности среды минералообразования. Наиболее интенсивное образование гипергенных редкоземельных фосфатов – монацита, куларита и алюмофосфатов – горсейкита, флоренсита и плумбогуммита происходит

в верхней части зоны гидролиза остаточной коры выветривания, где также наблюдается обогащение золотом [1, 2, 10].

Из сульфидов главным спутником золота является пирит. Первичный пирит кубического габитуса частично либо полностью замещен гидроокислами железа, размеры кристаллов составляют до 1–2,5 мм. Его содержание в тяжелой фракции минералов увеличивается в верхней части остаточной коры выветривания – зоне гидролиза, в зонах гидратации и дезинтеграции содержание окисленного пирита снижается. В зонах гидратации и гидролиза в полных псевдоморфозах гидроокислов железа по пириту установлены единичные включения высокопробного золота, высвобожденного при окислении. Для неокисленного пирита характерна обратная тенденция – снижение содержания от значительных концентраций до единичных зерен в тяжелой фракции минералов по направлению от зоны дезинтеграции к зоне гидролиза, причем в зоне дезинтеграции этот пирит из исходных пород, выше по разрезу – новообразованный. Новообразованный гипергенный пирит отличается от первичного пирита незначительным содержанием, ассоциацией с гипергенными минералами (другими сульфидами, золотом, гидрослюдами, глинистыми минералами), сложной формой кристаллов (октаэдр, пентагондодоэкаэдр, комбинации куба и октаэдра, куба и пентагондодоэкаэдра), ступенчатым ростом граней кубических кристаллов, фрамбоидальной и полифрамбоидальной агрегативной формой, размерами десятые – сотые доли мм. Он появляется в зоне гидратации и встречается в зоне гидролиза, переотложенной коре выветривания [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700019).

Список литературы:

1. Данилин Е.Л., Занин Ю.Н., Вахрамеев А.М., Гишинская Л.Г., Кривошечная Л.М., Столповская В.И., Замирайлова А.Г. Фосфатонесные коры выветривания и фосфориты Маймеча-Котуйской провинции ультраосновных–щелочных пород. – М. : Наука, 1982. – 76 с.
2. Занин Ю.Н. Геохимические обстановки формирования парагенезов минералов фосфатсодержащих пород // Геология и геофизика. 1993. – № 7. С. 3–22.
3. Лиферович Р.П., Яковенчук В.Н., Пахомовский Я.А., Богданова А.Н. Минералы группы крандаллита из ковдорского массива. – Вестник МГТУ, 2000. – Т. 3, № 2. – С. 263–272.

4. Михайлов В. А. Редкоземельные руды мира. Геология, ресурсы, экономика : монография. – Киев : Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2010. – 223 с.
5. Петровская Н.В. Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 347 с.
6. Плотников Б. В. К вопросу о распространении и возрасте коры выветривания района г. Томска // Известия Томского политехнического института. – 1961. – Т. 120. – С. 161–165.
7. Янченко О.М., Ворошилов В. Г., Тимкин Т. В., Якич Т.Ю. Минералогические критерии расчленения кор выветривания Томского района // Новое в познании процессов рудообразования: труды молодых учёных, посвящённые 90-летию ИГЕМ РАН. – М. : ИГЕМ РАН, 2020. – С. 183–185.
8. Янченко О.М. Минералогические особенности кор выветривания Томь-Яйского междуречья // Новое в познании процессов рудообразования : сборник материалов восьмой Российской молодёжной научно-практической Школы (Москва, 26–30 ноября, 2018 г.). – М. : ИГЕМ РАН, 2018. – С. 426–429.
9. Янченко О.М., Ворошилов В.Г., Тимкин Т.В., Зиаи М. Минерально-геохимическая зональность золотоносных кор выветривания Томь-Яйского междуречья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2019. – Т. 330, № 2. – С. 83–94.
10. Янченко О.М., Якич Т.Ю. Фосфаты золотоносных кор выветривания Томского района // Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче : сборник тезисов докладов I Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ (Москва, 19–21 февраля, 2020 г.). – М. : ЦНИГРИ, 2020. – С. 228–231.
11. McKie D. Goyazite and florensite from two African carbonatites. Mineral. Mag. – 1962. – V. 33, № 258–259. – P. 281.

СОДЕРЖАНИЕ

<u>Абдуллаев Л.А., Омонов О.Г., Баев Г.А.</u> ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ПОЗИЦИИ И УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТО-ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЮЖНОМ БУКАНТАУ, УЗБЕКИСТАН.....	2
Алферова В.А., Рябошапко А.Г. ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНОГО ЗОЛОТА, ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ ЗОН ДРОБЛЕНИЯ ВЕРХНЕЯКОУТСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ	7
Асабаев Д.Х., Бадалов Ф.А. ДОЛОМИТЫ ПРОЯВЛЕНИЯ КАРАСУ (ГОРЫ МАЛЫГУЗАР) И ПУТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	11
Богославец Н.Н., Зайцева М.Н. СТРАТИФИЦИРОВАННЫЕ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОЙОН-ТОЛОГОЙСКОГО ТИПА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРИАРГУНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)	17
<u>Ванин В.А., Мазукабзов А.М.</u> ПРОБЛЕМА ВЫДЕЛЕНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ «РУДНОГО» ВОЗРАСТА В ВЫСОКОПЛАСТИЧНЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОДАХ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО ПОЯСА	20
Вергунов А.В., Арбузов С.И. РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-УГОЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В ПЛАСТЕ XI НА ЮГЕ КУЗБАССА	24
<u>Видавский В.В., Берковский Е.М.</u> ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЖИЛЬНОГО КВАРЦА ЫЛЭНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)).....	29
Гулиева А.Ш., Орехова Н.Н., Стефунько М.С. ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТОВ И СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ И РУДНИЧНЫХ ВОД	32
До М.Ф., Игнатов П.А., Фан Т.Х. ЭПИСКАРНОВАЯ Cu-U-Au МИНЕРАЛИЗАЦИЯ РАЙОНА КОН РА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ВЬЕТНАМЕ	37
<u>Домаренко В.А., Перегудина Е.В., Кенесбаев Б.К.</u> ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЮГО-ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	42
Домаренко В.А., Пшеничкин А.Я., Перегудина Е.В., Кенесбаев Б.К. О БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛАХ В ЧЕХЛЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ	46

<u>Дорохова Е.В., Белохвостик Д.М., Фролова А.А., Перхурова В.А., Воробьев Ю.В.</u> ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ НАЛИЧИЯ ОБЪЕКТОВ КИМБЕРЛИТОВОГО СОСТАВА В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. БЕМБЕЗИ, РЕСП. ЗИМБАБВЕ	49
<u>Дымшиц А.М., Шарыгин И.С., Мальковец В.Г.</u> ТЕРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ, «РЕДОКС» УСЛОВИЯ И МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАНТИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОГО КРАТОНА: КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ АЛМАЗОНОСНОСТИ КИМБЕРЛИТОВ	54
<u>Зайцева М.Н.</u> ОСОБЕННОСТИ ГЕЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ОРУДЕНЕНИЯ МОРЯНИХО-МЕРКУРИХИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ	58
<u>Иванов Е.Е., Кравченко А.А., Прокопьев И.Р., Иванов М.С., Журавлев А.И., Лоскутов Е.Е.</u> ОБЛОМОЧНЫЙ МЕТОД ПОИСКОВ РУДНОГО ЗОЛОТА НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕГЛИЕРСКОГО УЗЛА (АЛДАНСКАЯ ГРАНУЛИТО-ГНЕЙСОВАЯ ОБЛАСТЬ)	61
<u>Иванова Е.С., Якубович О.В., Брысин М.П.</u> ¹⁹⁰ Pt- ⁴ He ВОЗРАСТ САМОРОДНОЙ ПЛАТИНЫ ИЗ РОССЫПНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ РУЧЬЯ КУБАНАК (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)	65
<u>Калинин М.А., Молчанов А.В., Терехов А.В., Михайлов В.А., Афанасьева Е.В.</u> ПЛАТИНОНОСНОСТЬ ТОММОТСКОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)	68
<u>Карась С.А., Панасенко Ю.М.</u> КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ	75
<u>Козлов Г.А., Терехов А.В., Гузев В.Е., Соловьев О.Л., Хорохорина Е.И., Светлова Ю.Л.</u> РУДНО-ФОРМАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ Pb-Zn-Mn ОРУДЕНЕНИЯ В РАННЕКЕМБРИЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СИНСКО-БОТОМСКОЙ СТРУКТУРНО- ФОРМАЦИОННОЙ ЗОНЫ, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)	77
<u>Комаровских А.Ю., Рахманова М.И.</u> ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ДЕФЕКТНО-ПРИМЕСНОГО СОСТАВА АЛМАЗОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК МИР И АЙХАЛ (ЯКУТСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)	79
<u>Курасов О.А.</u> НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗАПАСОВ И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ КАОЛИНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	82

<u>Ливинский А.И., Горшков А.И., Новикова О.В.</u> РАСПОЗНАВАНИЕ РУДОНОСНЫХ МОРФОСТРУКТУРНЫХ УЗЛОВ НА КАВКАЗЕ	86
Литвиненко Д.А., Литвиненко А.К. О БИМЕТАСОМАТИЧЕСКОМ САПФИРЕ С МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТАЖ-2, ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР	88
Мартыненко И.В., Ворошилов В.Г., Тимкин Т.В. КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ОЛЬХОВСКО-ЧИБИЖЕКСКОГО РАЙОНА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН): МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОХИМИЯ, ПРОГНОЗНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ	92
<u>Мирошникова А.П., Дьячков Б.А.,</u> Мизерная М.А., Зимановская Н.А., Кузьмина О.Н. СООТНОШЕНИЕ ЗОЛОТОРУДНОЙ И РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА РЯДЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА, КАК ОДИН ИЗ ПОИСКОВЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОРУДЕНЕНИЯ	98
<u>Мовзитова К.И., Голдырев В.В., Логутев Б.Б.</u> КРЕСТОВОЗДВИЖЕНСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПОЛИГОН: ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, ПЕРСПЕКТИВЫ	103
<u>Решетняк В.Н., Бударина Т.В., Леонов С.С., Писоцкая Л.И.</u> ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ ПО УЧАСТКАМ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА УГОЛЬ	105
Сайитов С.С., Печерский Р.Д. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД И РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД УЧАСТКА ВОСТОЧНЫЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯНГИ-ДАВОН (УЗБЕКИСТАН)	109
<u>Самойленко М.В., Пачерский Н.В.</u> РЕЗУЛЬТАТЫ ГДП-200 ПО ПРОГНОЗУ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ (ЛИСТЫ Р-55-XXIV, Р-56-XIX, ВЕТРЕНСКАЯ ПЛОЩАДЬ)	115
<u>Старостин И.А., Андреев А.В.</u> ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ЗОЛОТО-МОЛИБДЕН- МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)	118
Фан Т.Х., Петров А.В., До М.Ф. РАЙОНИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ СКРЫТЫХ БЛОКОВ МАГМЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ВЬЕТНАМА ПО АНАЛИЗУ ДАННЫХ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ	123

<u>Федорова К.С., Зубов Е.И.</u> ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗОЛОТОРУДНЫХ УЗЛОВ И ПОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА	128
<u>Чеботарев Н.Ф., Тимошенко В.Д.</u> СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ НАЦИОНАЛЬНОГО БОГАТСТВА СТРАНЫ	131
<u>Чжан Чи, Заернюк В.М.</u> РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ КИТАЯ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ	132
<u>Чумаков А.В., Аликин О.В.,</u> <u>Сенюшкин Н.Р., Мизиряк Д.Г., Марченко А.Г.</u> МЕТОД ГИДРОСЕПАРАЦИИ ДЛЯ ПОИСКОВОЙ МИНЕРАЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЛИХОВЫХ ПРОБ МУРУНСКОЙ ПЛОЩАДИ (РЕСПУБЛИКА САХА)	135
<u>Шадрунова И. В., Петрова А.И.</u> ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	140
<u>Шапаренко Е.О., Хоменко М.О.</u> УГЛЕВОДОРОДЫ ВО ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЯХ ИЗ КВАРЦА, АРСЕНОПИРИТА И ПИРИТА ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДОБРОЕ ПО ДАННЫМ БЕСПИРОЛИЗНОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО- МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ	145
<u>Юзбашева У.А.</u> КОМПЛЕКСНЫЕ СРАВНИТЕЛЬНЫЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИИ КОБАЛЬТОВЫХ РУД ДАШКЕСАНСКОГО РАЙОНА	149
<u>Янникова Ю.Ю., Фурсов А.И., Янникова Л.Ю.</u> ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА РАСТВОРИМОСТЬ ЗОЛОТА В ХВОСТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ РУД	154
<u>Янченко О.М., Ворошилов В.Г., Якич Т.Ю.</u> МИНЕРАЛЫ-СПУТНИКИ ЗОЛОТА В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ ТОМСКОГО РАЙОНА	158

УДК 553.41/.82.04 (043.2)

ISBN 978-5-85657-033-4

Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче. Сборник тезисов докладов II Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ. (17–19 февраля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). М. : ЦНИГРИ. 2021. 166 с.

В сборник включены 40 докладов, представленных на II Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче». Цель конференции – развитие научного и творческого потенциала молодых ученых и специалистов в области геологии, формирование кадров научно-прикладного направления. В тезисах докладов представлены материалы по следующим темам: металлогения, минерагения и рудогенез; прогноз, поиски, оценка и разведка месторождений полезных ископаемых; разработка прогнозно-поисковых и геолого-генетических моделей месторождений твердых полезных ископаемых; методы изучения вещественного состава пород и руд; физико-химические условия минералообразования; геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и участков недр; использование геоинформационных технологий и пространственных данных в геологической отрасли; современные технологии добычи и переработки минерального сырья. Материалы конференции ориентированы на молодых ученых и специалистов по различным направлениям наук о Земле.

Научно-техническое издание

Тезисы докладов не рецензировались. Публикуются в авторской редакции.

Сдано в набор 04.02.2021. Подписано в печать 15.02.2021.

Печать цифровая. Тираж 50 экз.

Полиграфическая база ФГБУ «ЦНИГРИ».

117545, Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1

© ФГБУ «ЦНИГРИ», 2021



© ФГБУ «ЦНИГРИ», 2021



ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- ✧ **Металлогения, минерагения и рудогенез**
- ✧ **Прогноз, поиски, оценка и разведка месторождений**
- ✧ **Разработка прогнозно-поисковых и геолого-генетических моделей месторождений**
- ✧ **Методы изучения вещественного состава пород и руд**
- ✧ **Физико-химические условия минералообразования**
- ✧ **Геолого-экономическая оценка месторождений и участков недр**
- ✧ **Использование геоинформационных технологий и пространственных данных в геологической отрасли**
- ✧ **Современные технологии добычи и переработки минерального сырья**