



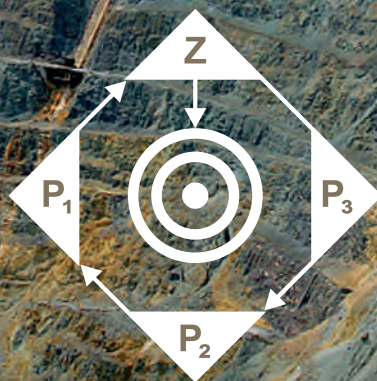
ЦНИГРИ

МОСКВА 2021

X Международная научно-практическая конференция

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

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



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

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

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

X Международная научно-практическая конференция
(13–16 апреля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»)

Москва
ФГБУ «ЦНИГРИ»
2021

ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА МАГМАТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА В ПЕСЧАНИКАХ КРАТЕРНОЙ ЧАСТИ ТРУБОК ВЗРЫВА АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

В настоящей работе представлены результаты изучения песчаников, содержащих магматический материал и редкие минералы-индикаторы кимберлита, извлеченных из недавно обнаруженной магматической трубки KL-01 в южной части Архангельской алмазоносной провинции (ААП). Для определения типа магматического материала используется модель бинарного смешения составов вмещающих песчаников Венда и типичных магматических пород ААП. Результаты моделирования показывают, что тип магматического материала в образцах KL-01 может быть определен как кимберлитовый с максимальной примесью 20 об. %. Геохимия минералов-индикаторов кимберлита не исключает интерпретацию, что состав, структура и термальный режим литосферной мантии, опробуемой трубкой KL-01, были пригодны для образования и сохранения алмазов. Таким образом, изученные песчаники могут представлять собой породы кратерной части новой потенциально алмазоносной кимберлитовой трубки.

Ключевые слова: кимберлит, песчаник, магматический материал, кратерная часть, минералы-индикаторы кимберлита, Архангельская алмазоносная провинция.

В 2017 г. на территории Архангельской алмазоносной провинции (ААП) командой геологов компании «Проекс-сервис» была идентифицирована аномалия «трубчатого типа» KL-01, в дальнейшем заверенная бурением. Эта аномалия обнаружена в пределах лицензированной компанией площади (лицензия № АРХ15736 КП), расположенной на юге ААП и граничащей с Кепинским и Турьинским полями. Трубка прорывает песчаники вендского возраста и перекрыта толщей карбонатных пород каменноугольного и пермского возрастов и четвертичных отложений, общая мощность которых составляет около 80 м. Нами были изучены 35 образцов песчаников из двух скважин (скв-1 – в центре аномалии, скв-2 – в 150 м к северу от скв-1), пробуренных до глубин 150 и 300 м соответственно. Породы представлены песчаниками красно-коричневого цвета и содержат зеленоватые образования овальной формы размером до 2 см, редкие массивные жилы, а также образования овальной или вытянутой формы размером до 7 см. Эти образования являются ксеногенными по отношению к песчаникам и подобны идентифицированным в осадочных породах кратерных частей магматических трубок ААП, поэтому мы описываем их как примесь магматического материала (ММ). ММ четко визуально идентифицируется в песчаниках, отобранных на глубинах более 140 м в скв-1 и 80 м в скв-2. Объемный процент ММ увеличивается в следующей последовательности: < 1 об. % на глубинах 140–170 м; 1–10 об. % на глубинах 170–250 м для скв-1 и 10–20 об. % на глубинах 80–140 м, 20–30 об. % на глубине 140–150 м для скв-2. ММ представлен в основном монтмориллонитом, реже сапонитом и хлоритом или их смесью. Песчаники трубки KL-01 имеют переменный состав: SiO_2 отрицательно коррелирует с другими основными оксидами, что указывает на соотношение составляющих песчаника и ММ в образцах. Содержание MgO колеблется в пределах 0,1–2 мас. % для скв-1 и 1–5 мас. % для скв-2. Концентрация Ni варьирует от 5–9 ppm в образцах с < 1 об. % ММ до 14–17 ppm в образцах с 1–10 об. % ММ из скв-1. Образцы из скв-2 с 10–20 об. % ММ содержат Ni в диапазоне 13–53 ppm, с 20–30 об. % ММ обогащены Ni (104–227 ppm). Отношение Zr/Nb отрицательно коррелирует с объемом ММ. Для определения типа магматического материала в песчаниках трубки KL-01 нами разработана расчетная модель бинарного смешения составов песчаников венда с известными магматическими породами ААП по соотношениям La/Yb , Zr/Nb и Ni . Результаты моделирования и сравнение расчетных данных с природными образцами из кратерных частей трубок им. В. Гриба и Кепинского поля (Суксома, Победа и Юраская) показали, что тип ММ в песчаниках ААП может быть определен только для образцов, содержащих > 20 об. % ММ. В породах, отобранных из скв-2 с интервалами глубин 140–150 м и содержащих 20–30 об. % ММ, тип ММ определен как кимберлитовый, близкий по составу к трубке им. В. Гриба. Составы песчаников, содержащих < 20 об. % ММ, не могут пре-

доставить точной информации о типе ММ, но могут быть использованы для установления их отличия от песчаников среднего карбона Урзугской свиты, что имеет огромное значение при проведении поисково-разведочных работ на алмазы в пределах ААП.

Из концентрата тяжелой фракции минералов, полученного при дроблении 300 кг пород трубки KL-01 (200 кг из скв-1, 100 кг из скв-2), были отобраны 328 зерен минералов, определенных как потенциальные минералы-индикаторы кимберлита (МИК). Два зерна оливина были отобраны из крупного (7 см) выделения ММ. Все зерна были изучены на предмет морфологии и химического состава. По результатам микросондового анализа 62 зерна были идентифицированы как потенциальные МИК, в том числе 32 граната, 16 хромитов ($0,6 < Cr\# < 0,9$), 8 пикроильменитов ($MgO = 10-13$ мас. %), 2 оливина ($Mg\# = 92,4$; $NiO = 0,36$ мас. %) и 4 хромдиопсида ($Cr_2O_3 = 0,7-2,1$ мас. %), а 266 зерен граната были идентифицированы как немантийные. Все зерна МИК имеют первичную магматическую поверхность без признаков механического износа и интенсивного химического растворения и интерпретированы как фрагменты мантийных пород, захваченные и вынесенные трубкой KL-01. Таким образом, интерпретация составов МИК может дать некоторую информацию о составе и тепловом режиме литосферной мантии под трубкой KL-01.

Из 32 зерен гранатов, идентифицированных как потенциальные МИК, 25 зерен (78 % от общей популяции гранатов) являются пиропами ($Pyr_{67-75}Alm_{13-18}Gross_{11-18}$; $Mg\# = 0,80-0,84$). Семь гранатов (22 %) с низким содержанием магния ($Mg\# = 0,4-0,7$), включая шесть гранатов переходного пироп-альмандинового состава ($Pyr_{32-59}Alm_{25-41}Gross_{12-27}$) и одно зерно с высоким содержанием грюсслярного компонента ($Pyr_{40}Alm_{18}Gross_{42}$), могут быть отнесены к эклогитовому парагенезису [4]. По составу эти гранаты соответствуют таковым из крупнозернистых эклогитов трубки им. В. Гриба [6]. Пиропы относятся к лерцолитовому парагенезису [7] с содержанием Cr_2O_3 от 1,5 до 11 мас. %. Составы остальных МИК трубки KL-01 соответствуют таковым из кимберлитов ААП со следующими особенностями: оливин и хромдиопсид соответствуют таковым из перидотитов месторождений им. М. В. Ломоносова [1, 2, 5] и им. В. Гриба [3]; хромит аналогичен таковым из кимберлитовых трубок Архангельская [5] и им. В. Гриба; пикроильменит близок к таковым из кимберлитовых трубок Цнигри-Архангельская и Архангельская [5].

Интерпретация концентраций Y, Zr, Cr_2O_3 , TiO_2 и характеров спектров распределения РЗЭ в пиропе указывает на несколько типов метасоматического обогащения литосферной мантии под трубкой KL-01, аналогичных таковым в алмазоносных районах. Нижняя часть (> 150 км) литосферной мантии как минимум преобразована высокотемпературными силикатными расплавами, но сохранила лерцолиты с деплетированными пиропами. Верхняя часть (< 150 км) литосферной мантии интенсивно метасоматизирована как силикатными, так и карбонатитовыми мантийными расплавами. Результаты расчета P - T параметров для пиропов и хромитов показывают, что часть опробуемой литосферной мантии соответствует полю стабильности алмаза: нижняя граница литосферной мантии могла находиться в диапазоне глубин 175–190 км с мощностью «алмазного окна» 55–70 км.

Результаты данного исследования показали, что составы песчаников в трубке KL-01 четко отличаются от вмещающих песчаников вендского возраста и перекрывающих песчаников среднего карбона Урзугской свиты. Согласно предложенной модели бинарного смешения тип магматического материала может быть идентифицирован как кимберлитовый с максимальной примесью 20 об. % в образцах из скв-2 с интервала глубин 140–150 м. Предположено, что изученные песчаники могут представлять преимущественно верхнюю часть кратера кимберлитовой трубки. Это исследование показывает, что участки вблизи скважин 1 и 2 в районе трубки KL-01 заслуживают более детального опробования в связи с высокой вероятностью обнаружения новой алмазоносной кимберлитовой трубки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-77-10018).

Список литературы:

1. Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Шавырина М. В. Мантийные ксенолиты из кимберлитовых месторождений округлых алмазов Зимнебережного района, Архангельская алмазоносная провинция // Петрология. – 2000. – № 8 (5). – С. 518–548.

2. Сазонова Л. В., Носова А. А., Каргин А. В., Борисовский С. Е., Третьяченко В. В., Абазова З. М., Грибань Ю. Оливин кимберлитов трубок Пионерская и им. В. Гриба (Архангельская алмазоносная провинция, Россия): типы, состав, происхождение // Петрология. – 2015. – № 23. – С. 251–284.
3. Щукина Е. В., Агашев А. М., Костровицкий С. И., Похиленко Н. П. Метасоматические изменения литосферной мантии в районе кимберлитовой трубки им. В. Гриба, Архангельская алмазоносная провинция // Геология и геофизика. – 2015. – № 56 (12). – С. 2153–2172.
4. Grütter H. S., Gurney J. J., Menzies A. H., Winter F. An updated classification scheme for mantle-derived garnet, for use by diamond explorers // Lithos. – 2004. – № 77. – P. 841–857.
5. Lehtonen M., O'Brien H., Peltonen P., Kukkonen I., Ustinov V., Verzhak V. Mantle xenocrysts from the Arkhangelskaya kimberlite (Lomonosov mine, NW Russia): Constraints on the composition and thermal state of the diamondiferous lithospheric mantle // Lithos. – 2009. – № 112. – P. 924–933.
6. Shchukina E. V., Agashev A. M., Soloshenko N. G., Streletskaya M. V., Zedgenizov D. A. Origin of V. Grib pipe eclogites (Arkhangelsk region, NW Russia): geochemistry, Sm-Nd and Rb-Sr isotopes and relation to regional Precambrian tectonics // Mineralogy and Petrology. – 2019. – № 113. – P. 593–612.
7. Sobolev N. V., Lavrent'ev Y. G., Pokhilenko N. P., Usova L. V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1973. – № 40. – P. 39–52.

Алексеев Я. В., Заскинд Е. С., Конкина О. М. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ ЦЕНТРОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Представлены методические подходы выделения минерально-сырьевых центров твердых полезных ископаемых на территории РФ. Изложены базовые принципы и критерии, на основе которых проводилось выделение МСЦ на территории Дальневосточного федерального округа.

Ключевые слова: минерально-сырьевой центр, промышленно-сырьевой узел, минерально-сырьевая база, благородные и цветные металлы, Дальневосточный федеральный округ.

В Стратегии развития минерально-сырьевой базы (МСБ) РФ до 2035 г. и Проекте изменений государственной программы РФ «Воспроизводство и использование природных ресурсов» в качестве приоритетов и целей государственной политики в сфере развития МСБ обозначено решение задачи формирования крупных минерально-сырьевых центров (МСЦ) – центров экономического развития на Дальнем Востоке и в Арктической зоне РФ, в Центральной Сибири, Приволжском и Уральском регионах.

Непосредственно понятие «МСЦ» охарактеризовано в Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 г. Под МСЦ понимается территория одного или нескольких муниципальных образований и (или) акватория, в пределах которой расположена совокупность разрабатываемых и планируемых к освоению месторождений и перспективных площадей, связанных общей существующей и планируемой инфраструктурой и имеющих пункты отгрузки добываемого сырья или продуктов его обогащения в федеральную или региональную транспортную систему (железнодорожный, автомобильный, морской и иные виды транспорта).

С принятием в 2020 г. Стратегии развития Арктической зоны ряд МСЦ твердых полезных ископаемых (ТПИ) был дополнительно конкретизирован – Баимский и Пыркайско-Майский в Чукотском АО (драгоценные и цветные металлы), МСЦ на базе месторождений коренных (Верхне-Мунское) и россыпных алмазов Анабарского, Булунского, Оленекского районов Республики Саха (Якутия) и др.

С одной стороны, закрепление понятия «МСЦ» в качестве неотъемлемого компонента документов долгосрочного планирования выражает следующую стадию и означает переход от этапа

проработки данной проблематики на уровне профильных отраслевых институтов, включая методические подходы их выделения [1], последовавшее в 2012 г. согласование в Роснедрах схемы размещения первоочередных МСЦ в границах Сибирского и Дальневосточного федеральных округов и дальнейших работ по их описанию. С другой, отвечает программно-целевому планированию – методу приоритетного решения крупных отраслевых и межотраслевых проблем, заключающемуся в разработке и осуществлении целевых комплексных программ.

При этом остается нерешенным ряд вопросов, что создает риски обоснованности выделения МСЦ в различных документах. Например, нормативно не обозначены критерии «совокупности» в части минимального или максимального количества месторождений и перспективных площадей (ПП), что затрудняет процесс выделения МСЦ. Дополнительная сложность связана с различным классом месторождений в части запасов, видами содержащихся в них полезных ископаемых, их пространственным размещением.

Для исключения формального подхода, при котором наличие, например, двух месторождений и двух объектов с оцененными прогнозными ресурсами позволяет рассматривать их как некую «совокупность», с учетом наработок ЦНИГРИ по данной проблематике, предложено [2] рассматривать МСЦ, как иерархическую систему, формируемую следующими компонентами. В состав нижнего уровня входят месторождения полезных ископаемых и перспективные площади ТПИ, представленные объектами с оцененными прогнозными ресурсами (ОПР). Следующий уровень охарактеризован промышленно-сырьевыми узлами (ПСУ). Под ПСУ понимается территория с близкими географо-экономическими и горно-геологическими условиями и определенной направленностью социально-экономического развития, в которой расположены вовлеченные (вовлекаемые в перспективе) в промышленное освоение запасы полезных ископаемых и (или) выявлены и локализованы объекты с ОПР. Группы ПСУ, в свою очередь, формируют МСЦ – верхний уровень иерархии. ПСУ, включающие участки с минерально-сырьевой базой (МСБ) национального (федерального), регионального либо муниципального (локального) значения, являются основой, «ядрами», создания горнопромышленного комплекса, т. е. территориальной совокупности производств, предназначенных для разведки, добычи и переработки минерально-сырьевых ресурсов (как правило, месторождений определенного вида ТПИ) и объединенных единой административно-хозяйственной структурой. При обосновании выделения ПСУ и входящих в него месторождений и ПП учитываются геологические, экономические, экологические, производственно-инфраструктурные, социально-экономические и иные факторы, а также предпосылки для возможной партнерской совместной деятельности недропользователей в пределах ПСУ.

Исходя из приведенных выше определений ПСУ и МСЦ предложен [2] ряд базовых принципов и критериев, на основании которых проводилось их выделение:

Принципы: иерархичности и согласованности; сопоставимости и увязанности; комплексности; территориальной приоритетности; модульности; актуальности (изменчивости).

Критерии: металлогеническое районирование, минерально-сырьевая направленность выделяемой территории; значимость видов полезных ископаемых; сведения о степени освоения месторождений; сведения об объектах с ОПР и рудопроявлениях Государственного кадастра месторождений и проявлений и др.

На основе изложенных методических подходов были выделены девять МСЦ ТПИ, расположенных на территории Дальневосточного федерального округа, как приоритетной территории развития страны: Восточно-Бурятский (Республика Бурятия), Восточно-Забайкальский (Забайкальский край), Верхне-Амурский и Верхне-Селемджинский, предварительная оценка (Амурская область), Восточно-Якутский (Республика Саха (Якутия)), Западно-Магаданский (Магаданская область), Нижне-Амурский (Хабаровский край), Дальнегорский (Приморский край), Камчатский (Камчатский край). Указанный перечень не является исчерпывающим и будет в дальнейшем дополняться.

Резюме. Представленные методические подходы при выделении МСЦ на базе ТПИ могут применяться органами государственной власти и управления в качестве рекомендаций в рамках разработок (корректировок) документов федерального, регионального (территориального) и отраслевого планирования при оценке развития минерально-сырьевого комплекса, его увязки с существующей и перспективной инфраструктурой.

Список литературы:

1. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации. Том 2: Минерально-сырьевой и стоимостной анализ / науч. ред. О. В. Петров. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2009. – 492 с.
2. Алексеев Я. В., Заскин Е. С., Конкина О. М. К вопросу выделения минерально-сырьевых центров твердых полезных ископаемых // Отечественная геология. – 2021. – № 2 (в печати).

Алексеев Я. В., Конышев В. О. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

О НЕТРАДИЦИОННЫХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССИИ

К нетрадиционным отнесены рудные формации, зарекомендовавшие себя в качестве ведущих геолого-промышленных типов в мировой добыче золота, но пока только прогнозируемые в РФ, а также рассматриваемые в качестве вероятных источников золота в будущем по мере совершенствования технологии его извлечения из новых видов золотосодержащего сырья.

Ключевые слова: нетрадиционные геолого-промышленные типы золоторудных месторождений.

Российская Федерация входит в число мировых лидеров по запасам и добыче золота. В выпуске Государственного баланса запасов (ГБЗ) золота по состоянию на 01.01.2019 г. учтены 418 собственно золоторудных месторождений. Металлогеническим кодексом России (МКР) [4] они подразделены на 15 геолого-промышленных типов (ГПТ), рекомендованных для обязательного применения в РФ. На долю собственно золоторудных объектов в России приходится 66,6 % (9 762 110 кг) балансовых запасов кат. $C_1 + C_2$, 69,8 % (2 388 302 кг) забалансовых запасов и 66,7 % (254 433 кг) добычи золота из недр [1].

На долю 179 комплексных золотоносных и золотосодержащих месторождений, подразделенных МКР на 30 ГПТ, приходится 25,5 % (3 736 956 кг) балансовых запасов РФ, 23,8 % (815 512 кг) забалансовых запасов и 11,6 % (44 166 кг) общероссийской добычи.

На долю 5 397 россыпных месторождений приходится 7,8 % (1 147 124 кг) балансовых запасов, 6,4 % (218 395) забалансовых запасов и 21,7 % (82 892 кг) общероссийской добычи золота.

«Стратегия развития МСБ РФ до 2035 г.», утвержденная Распоряжением Правительства от 22 декабря 2018 г. № 2914-р, констатирует, что достигнутые уровни добычи золота из недр недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г., а высокий рыночный спрос делает критически важным выявление глубокозалегающих и скрытых месторождений, а также *нетрадиционных* для отечественной горнодобывающей промышленности источников золота при использовании принципиально новых методов их прогнозирования, поисков, добычи и технологий извлечения.

Основными нетрадиционными для РФ ГПТ считаются [1] четыре рудные формации, зарекомендовавшие себя в качестве ведущих промышленных типов в мировой добыче из гигантских, сверхкрупных, крупных и богатых месторождений золота ряда зарубежных стран мира и, по соответствующим геологическим обстановкам, имеющие предпосылки для обнаружения в РФ, а именно:

- **золотоносных конгломератов архея** (*тип Витватерсранд*) с месторождениями Витватерсранд в ЮАР и др. Представлен тип пока лишь одним мелким месторождением Хужирское [5] в Иркутской области, обнаруженном среди верхнепротерозойских и нижнепалеозойских конгломератов. Архейские существенно кварцитовые конгломераты, типичные для зарубежного месторождения Витватерсранд, в РФ не выявлены, но могут быть установлены на больших глубинах на древних щитах. Поисковый задел отсутствует;

- **золото-мышьяк-сульфидный в существенно карбонатных палеозойских толщах** (тип Карлин) с месторождениями Карлин и Кортес в США. Прогнозировался в складчатом обрамле-

нии Кузбасса, в палеозойских толщах Восточных Саян, Кузнецкого Алатау, Алтая, Центрально-Уральского и Восточно-Уральского поднятий. Значительных рудопроявлений не было выявлено, в том числе достоверно не установлена их принадлежность к типу Карлин. Поисковый задел отсутствует;

- **золото-карбонатно-силикатный в коматиитах коматиит-базальтовой формации** (*тип Шеба*) с месторождениями Шеба, Файвью, Нью-Консорт в ЮАР, Телбел и Шиминис в Канаде, распространен в зеленокаменных поясах Африканского и Канадского щитов. В РФ золотоносные коматииты доподлинно не выявлены. Поисковый задел отсутствует;

- **золото-джеспелитовый в горизонтах железистых кварцитов джеспелит-базальтовой формации** (*тип Вубачикве*) с месторождениями Хилл-50, Уэстрелия в Австралии, Сентрал-Патрисия, Лупин в Канаде, Морро Вельо в Бразилии, Балка Широкая на Украине. Золото-джеспелитовый тип отмечается при минерагенических исследованиях на участках КМА [7]. Важным для страны представляется выявление нового золото-марганцево-железородного гиганта [3] в протерозойском грабене Малого Хингана, количество золота в железных рудах которого оценивается в 1000 т. На этом Южно-Хинганском месторождении железистых кварцитов, находящемся в НРФН Еврейской автономной области, в 2010 г. учтены ГКЗ забалансовые запасы железа 292,3 млн т. На ряде участков с железомарганцевыми рудами выявлены высокие содержания Au, Co, Pt, U, Mo. Здесь необходимы минерагенические и поисковые работы для оценки прогнозных ресурсов.

В перспективе в качестве нетрадиционных источников золота могут рассматриваться:

- **золотоносный буроугольный тип**, обнаруженный по наличию высоких содержаний Au, Ag, Pt, Ni, Co, V и ряда редких элементов [5] в углях, золах и прослоях алевролитов Архаро-Богучанского, Дармаканского, Ерковецкого, Райчихинского, Сергеевского месторождений Зейско-Буреинского бассейна Приамурья и Ушумунского месторождения Еврейской автономной области. На повестке дня стоит задача оценки прогнозных ресурсов поисковыми работами с разработкой способа рентабельного извлечения Au и других металлов из энергетического сырья;

- **золотоносные типы отдаленного будущего** представлены участками [2] с надкларковыми содержаниями, ценность которых зависит от технологического прогресса.

Резюме. Наибольший интерес для скорейшего расширения сырьевой базы золота в РФ имеют нетрадиционные типы золотоносных железистых кварцитов и буроугольных месторождений, для которых выявлены объекты, обогащенные золотом.

Список литературы:

1. Алексеев Я. В., Конышев В. О., Шаповалов В. С. О промышленных типах собственно золоторудных месторождений // Золото и технологии. – 2019. – № 3 (35). – С. 62–72.
2. Вихтер Б. Я. Золото в современных геологических процессах. – М. : Недра, 1993. – 106 с.
3. Жирнов А. М., Горошко М. В. Моисеенко Н. В. Новый золото-железородный гигант России в протерозойском грабене // Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Улан-Удэ : ЭКОС, 2010. – С. 75–78.
4. Металлогенический кодекс России. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.
5. Мордвин А. П. Геология и золотоносность конгломератов мотской свиты верхнего венда Иркут-Урянского Присяня (на примере Хужирского проявления) : автореф. – Иркутск, 1974. – 28 с.
6. Сорокин А. П., Чантурия В. А., Рождествина В. И. [и др.] Нетрадиционные типы благороднометалльного, редкометалльного и редкоземельного оруденения в угленосных бассейнах Дальнего Востока // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 446, № 6. – С. 672–676.
7. Чернышов Н. М. Типы и минеральный состав золото-платиноидного оруденения железородных месторождений-гигантов КМА (Центральная Россия) // Доклады Российской Академии наук. – 2010. – Т. 430, № 3. – С. 395–399.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МСБ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ АЛТАЙСКОГО РЕГИОНА

Показана структура минерально-сырьевой базы (МСБ) цветных и благородных металлов в Алтайском крае и Республике Алтай. Приведен прогноз развития МСБ золота и полиметаллов на территории указанных субъектов по 2040 г.

Ключевые слова: МСБ полиметаллов и золота, запасы, воспроизводство, погашение, Алтайский регион, долгосрочное прогнозирование.

Состояние МСБ. В Алтайском крае на государственном учете по состоянию на 01.01.2020 г. находятся 39 месторождений, в том числе два собственно золоторудных, 14 комплексных золото-содержащих, 23 россыпных, с суммарными балансовыми запасами 47,1 т. По количеству балансовых запасов (менее 100 т) край относится к числу малых по значимости регионов РФ (0,3 %). Основные балансовые запасы золота края (более 94 %) сосредоточены в комплексных полиметаллических месторождениях. Освоенность коренных и россыпных месторождений золота средняя и составляет 43 и 59 %. Учетные балансовые запасы золота разрабатываемых собственно золоторудных месторождений Новофирсовское и Мурзинское 1 незначительны и составляют соответственно 2,1 и 0,3 т. Среди четырех разрабатываемых полиметаллических месторождений наибольшие балансовые запасы золота учтены на Корбалихинском (8,1 т) и Зареченском (6,3 т). Балансовые запасы серебра связаны как с собственно золоторудными, так и комплексными месторождениями, где металл учтен в качестве попутного компонента. По их количеству (3,3 тыс. т серебра) Алтайский край входит в число средних по значимости (от 1 до 10 тыс. т) регионов страны (2,7 % от РФ).

МСБ цветных металлов (свинец, цинк, медь) определена полиметаллическими месторождениями. По балансовым запасам свинца (1501 тыс. т или 8,6 % от РФ) и цинка (4560 тыс. т или 7,7 % от РФ) Алтайский край занимает среднее по значимости положение в стране, по меди (732,5 тыс. т или 0,7 % от РФ) – малое положение. Большая часть балансовых запасов свинца 52 %, цинка 65 %, меди 62 % передана в освоение.

Уровень добычи в 2019 г. по Алтайскому краю составил 1,5 т золота (в том числе из россыпей 0,08 т), серебра 28 т, свинца 12 тыс. т, цинка 34 тыс. т, меди 6 тыс. т.

В Республике Алтай расположены четыре собственно золоторудных и 29 россыпных месторождений с суммарными балансовыми запасами 23,3 т, их основная часть (74 %) учтена на Синюхинском медно-золоторудном месторождении. Приведенные характеристики балансовых запасов определяют малое влияние МСБ золота республики на РФ (0,2 %). Добыча металла в 2019 г. составила 0,6 т, в том числе из россыпей 0,4 т. МСБ цветных металлов (меди и кобальта) республики представлена двумя месторождениями: сульфидно-кобальтовым Кара-Кульским, находящимся в нераспределенном фонде недр, и медно-золоторудным Синюхинским, разрабатываемым на золото без извлечения меди из руд.

Прогноз развития МСБ. Для оценки долгосрочной перспективы развития МСБ золота и полиметаллов в рассматриваемых регионах была создана расчетная модель прогноза на период по 2040 г., которая базируется на анализе официальных данных планов разработки известных месторождений и вероятностной оценке [1, 2] вовлечения объектов с апробированными прогнозными ресурсами в освоение.

Алтайский край. Для золота установлено, что в 2021–2023 гг. показатель добычи будет колебаться на уровне 1,1–1,4 т, после, к 2026 г., произойдет его резкий спад до 0,7 т. Далее в 2027–2038 гг. будет наблюдаться постепенное замедление добычи. Затем к 2040 г. вероятен сценарий практически ее полной остановки. Неравномерность значений добычи 1-го периода (2021–2023 гг.) с последующим резким спадом обусловлена отработкой балансовых запасов собственно золоторудных месторождений Мурзинское 1 и Новофирсовское, полиметаллических золотосодержащих Зареченское и Восточно-Зареченский участок. Во 2-м периоде (2027–2038 гг.) основной вклад

в добычу будет вносить разработка Корбалихинского полиметаллического месторождения. Роль россыпей в 2021–2040 гг. останется незначительной, при этом для обеспечения добычи на россыпных объектах необходим постоянный прирост балансовых запасов. При сохранении уровня добычи 2019 г. и отсутствия приростов запасы разрабатываемых россыпей будут исчерпаны в 2030 г.

Для цветных металлов установлено, что их добыча будет постепенно увеличиваться и достигнет своего максимума в 2025 г., составив по свинцу около 53, цинку 193, меди почти 30 тыс. т, что главным образом связано с выходом на проектные мощности Корбалихинского месторождения. По мере отработки Таловского месторождения к 2034 г. произойдет снижение показателей добычи по свинцу до 30, цинку 147, меди 22 тыс. т. В 2039 г. запасы Корбалихинского месторождения будут исчерпаны.

Относительная стабилизация добычи золота (на уровне 1,3–1,6 т) и полиметаллов (свинца 38–43, цинка 166–179, меди 26–29 тыс. т) в Алтайском крае с 2033 по 2038 гг. возможна при доведении до балансовых запасов и начале освоения ряда перспективных объектов с апробированными прогнозными ресурсами высоких категорий (Восточное и Новофирсовское рудные поля, Западно-Захаровское рудопроявление и др.). В целом устойчивость развития МСБ рассматриваемых металлов Алтайского края, с одной стороны, будет зависеть от успешности работ по выявлению новых перспективных площадей, выполняемых или планируемых за счет федерального бюджета. С другой, требуются переоценка известных полиметаллических месторождений и доизучение объектов с апробированными прогнозными ресурсами, находящихся в нераспределённом фонде недр, для выявления среди них наиболее конкурентоспособных с целью их последующего лицензирования и вовлечения в освоение.

Республика Алтай. Максимум добычи золота прогнозируется на 2023 г., около 1,8 т, когда ожидается выход на проектную мощность месторождений Синюхинское, Брекчия, Майско-Леведское. С 2026 г., после отработки месторождения Брекчия, добыча золота в республике будет постепенно замедляться и достигнет значения около 0,9 т в 2040 г. Это снижение связано с прогнозируемым снижением добычи на россыпях, для осуществления которой тем не менее необходим постоянный прирост балансовых запасов. Поддержание добычи золота в Республике Алтай на уровне выше 1,1 т после 2029 г. возможно за счет лицензирования и дальнейшего изучения объектов с апробированными прогнозными ресурсами рудного золота, преимущественно золото-сульфидно-кварцевого типа. В республике во второй половине 2020-х – начале 2030-х гг. также возможны постановка на баланс месторождения медно-порфировых руд и начало его промышленного освоения при наличии интереса у инвесторов к объектам с апробированными прогнозными ресурсами меди.

Резюме. Показатели добычи рассмотренных металлов Алтайского региона по 2040 г. будут определяться освоением известных месторождений. По мере исчерпания их запасов добыча будет иметь нисходящую динамику. Ее стабилизация требует проведения доизучения объектов с апробированными прогнозными ресурсами и постановки на них балансовых запасов с целью последующего освоения. Для обеспечения стабильного развития МСБ в более отдаленной перспективе необходима интенсификация работ ранних стадий в 2020-х гг., направленных на выявление новых перспективных площадей.

Список литературы:

1. Иванов А. И., Черных А. И., Вартамян С. С. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18–28.
2. Корчагина Д. А., Серавина Т. В., Кузнецов В. В. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы России // Сборник докладов Десятого международного конгресса Цветные металлы и минералы. – Красноярск, 2018. – С. 1202–1208.

Ананьев Ю. С., Гаврилов Р. Ю., Орехов А. Н., Рудмин М. А. (ФГАОУ ВО НИ «Томский политехнический университет»), Лесняк Д. В. (ООО «Светлое»)

КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ КИСЛОТНО-СУЛЬФАТНОГО ТИПА СРЕДНЕУЛЬИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ ПЛОЩАДНЫХ СТРУКТУРНЫХ, ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выполнен комплекс работ по дешифрированию спектрзональных космических снимков, переинтерпретации аэрогеофизических данных и обработке разномасштабных литогеохимических съемок в пределах Среднеульинского рудного района, Уенминского рудного узла, рудного поля Светлое. На основе выявленных закономерностей размещения золоторудной минерализации сформулированы разноуровневые структурные, геофизические и геохимические критерии и признаки эпитеpmального оруденения кислотно-сульфатного типа.

Ключевые слова: рудное поле Светлое, эпитеpmальное кислотно-сульфатное оруденение, дешифрирование спектрзональных космических снимков, структурно-геологические схемы, переинтерпретация архивных геофизических и геохимических данных, критерии и признаки оруденения.

Основу металлогенической нагрузки Среднеульинского рудного района определяет золото. В его пределах в настоящее время разведано и разрабатывается рудное поле Светлое кислотно-сульфатного типа, а также известно значительное количество рудопроявлений золота других минеральных типов. В связи с необходимостью расширения минерально-сырьевой базы действующего предприятия проведены работы по выявлению критериев и признаков эпитеpmального золотого оруденения кислотно-сульфатного типа в пределах рудного района.

В основу исследований положены материалы дешифрирования современных спектрзональных космических снимков, архивные аэро- и наземные геофизические и геохимические данные, а также отчеты предшественников по результатам съемочных и тематических работ.

Дешифрирование спектрзональных космических снимков Landsat и Aster проводилось с целью уточнения геологического строения, выявления ореолов развития метасоматически измененных пород, выявления структурных особенностей территории. По результатам составлены структурно-геологические схемы Среднеульинского рудного района, Уенминского рудного узла и рудного поля Светлое. На схеме рудного района показаны вулканотектонические структуры, секущие тела изверженных горных пород, разрывные нарушения. Схема показывает, что положение Уенминского золоторудного узла полностью контролируется Секчинской вулканотектонической депрессией, а рудное поле Светлое и проявления золота на изученной площади приурочены к остаткам палеовулканических построек. На схеме рудного узла закартированы разрывные нарушения, остатки палеовулканических построек, тела секущих изверженных горных пород, площадные метасоматиты. Схема демонстрирует, что рудное поле Светлое контролируется остатками двух палеовулканических построек с кальдерами проседания. Положение самих палеовулканических построек определяется узлом сопряжения Дюльбакинского разлома северо-восточного простирания с разрывными нарушениями северо-западного простирания. Метасоматический ореол, который подчеркивает рудное поле, имеет значительную площадь – более 30 км². Основными элементами схемы рудного поля являются палеовулканические постройки, разрывные нарушения, ореолы метасоматически измененных горных пород различного состава, другие элементы геологического строения. Схема показывает, что рудоносные участки (месторождения) тяготеют к краевым частям кальдер проседания вулканических аппаратов и размещаются на площадях с проявленными монокварцевыми, кварц-алунитовыми и кварц-гидрослюдистыми вторичными кварцитами.

Обработка и переинтерпретация архивных геофизических данных проводилась с целью уточнения закономерностей проявления рудных полей и месторождений в физических полях. Площадные геофизические данные после предварительной обработки анализировались средствами программы Surfer (расчёт и построение осреднённых, остаточных карт, карт первой производной,

расчетных параметров, а также карт теневого рельефа) и программы Coscad3D (расчет для каждого физического параметра статистических, корреляционных и градиентных характеристик, разделение в зависимости от пространственных частот, процедуры компенсирующей фильтрации и распознавания слабых аномалий). Всего по каждому из геополей рассчитывалось несколько десятков параметров, часть из которых использовалась для выполнения компонентного анализа. По рассчитанным трансформантам строились планы изолиний, которые использовались для комплексной интерпретации. В первую очередь анализировались высокочастотные трансформанты физических полей. Проведенные исследования показали, что рудные поля приурочены к кольцевым структурам среднего порядка, находящимся на периферии крупных кольцевых структур первого порядка, которые отчетливо проявлены в аэромагнитном поле. Для потенциально рудоносных кольцевых структур характерно спокойное выположенное или слабодифференцированное аэромагнитное поле с невысокой дисперсией. Области резкодифференцированного аэромагнитного поля могут находиться как в эпицентре этих структур (жерловая фация), так и на их периферии. В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры выделяются аномальным поведением К/Th отношения. Если вмещающий субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону тория (непосредственно тип Светлого), в противном случае – в сторону калия. Месторождения располагаются в пределах спокойного выположенного магнитного поля на периферии кольцевых структур сравнительно высокого порядка.

Обработка архивных литогеохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния проведена с целью выявления закономерностей проявления рудных полей и месторождений в аномальных геохимических полях. Были рассчитаны фоновые и минимально-аномальные содержания элементов, проведена обработка геохимических данных методами многомерной статистики (ранговая корреляция, факторный и кластерный анализы), построены схемы распределения элементов и комплексных показателей. Выполненные исследования отчетливо демонстрируют, что рудные поля во вторичном геохимическом поле выделяются концентрически-зональным ореолом комплекса элементов – во фронтальной зоне проявлена ассоциация V-Zn, в тыловой зоне ассоциации Au-Ag-Pb и Au-Mo. Прямым признаком эпитермального кислотно-сульфатного оруденения ранга рудного поля является наличие аномальных концентраций золота и серебра во вторичных ореолах рассеяния. Также элементами-спутниками оруденения на основании имеющейся аналитической базы следует считать Sb, As, Bi, Cu. Месторождения во вторичном геохимическом поле выделяются концентрически-зональным ореолом комплекса элементов – во фронтальной зоне проявлена ассоциация Co-Cr-Mn-V-Zn-P, в тыловой – Au-Ag, Ag-Pb-Sb, As-Mo-Ba ассоциации. Прямым признаком золотого оруденения ранга месторождения являются аномальные концентрации Au и Ag во вторичных ореолах рассеяния, а так же их элементы-спутники Sb, Bi, Te, Se, As, Mo, Cu.

В результате проведенных исследований выявлены закономерности проявления рудных узлов, полей и месторождений в материалах дешифрирования спектрональных космических снимков, аэро- и наземных геофизических полях, во вторичном и первичном геохимическом поле. На основании установленных закономерностей сформулированы критерии и признаки золотого эпитермального оруденения кислотно-сульфатного типа.

Андреев А. В. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ НОВОГОДНЕНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ КАК ОСНОВА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПОСТАНОВКИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ МАЛОУРАЛЬСКОГО ВПП ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Разработана прогнозно-поисковая модель золоторудных объектов Новогодненского рудного поля, которая применена для обоснования постановки поисковых работ в пределах перспективных площадей Малоуральского вулcano-плутонического пояса Полярного Урала.

Ключевые слова: Полярный Урал, Малоуральский вулcano-плутонический пояс, Новогодненское рудное поле, золото-сульфидно-кварцевая формация, золото-скарновый тип, золото-порфировый тип, прогнозно-поисковая модель.

В конце 1990-х гг. и в 2000-е гг. на пике изучения коренной золотоносности Полярного Урала в пределах Новогодненского рудного поля Тоупугол-Ханмейшорского золоторудного узла на северном замыкании Малоуральского вулcano-плутонического пояса (ВВП) (территория Ямало-Ненецкого АО) были выявлены и разведаны промышленные золоторудные месторождения Новогоднее-Монто и Петропавловское (работы ОАО «ПУГПП», ОАО «ЯГК», АО «Ямалзолото», ЦНИГРИ, ИМГРЭ и др.). Необходимость возобновления поисковых работ на золото на Полярном Урале вновь была обозначена государственной программой «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ».

Обширный материал, полученный в ходе исследований на объектах Новогодненского рудного поля, явился основой прогнозно-поисковой модели разноранговых (рудный узел – рудное поле – поисковый участок) золоторудных объектов Малоуральского ВПП, которая позволяет выделять новые перспективные площади для постановки поисковых работ, повышать эффективность их проведения и достоверность оценки выявляемых объектов. В качестве основных элементов модели, в соответствии с принятыми методическими требованиями [2], выступают поисковые критерии и признаки, сгруппированные в последовательный ряд.

Формационные. Золотое оруденение связано со становлением собского интрузивного комплекса (D_{1-2}) габбро-кварц-диорит-тоналитовой формации, образующей с базальт-андезитовой вулканогенно-терригенно-карбонатной формацией (S_2-D_1) продуктивную вулcano-плутоническую ассоциацию (ВПА) Малоуральского ВПП. Породы ВПА являются основными рудовмещающими образованиями. В качестве перекрывающих могут выступать образования трахиандезит-трахириолитовой (D_1) и терригенно-карбонатной (D_{1-2}) формаций; прорывающих – габбро-монцодиоритовой (D_{2-3}) и габбро-долеритовой (P_3-T_1); подстилающих – недифференцированной базальтовой (O_{2-3}) и флишовой (O_3-S_1) формаций. Наличие и масштабы проявленности тех или иных перечисленных образований в пределах прогнозных площадей могут указывать в том числе на степень эродированности.

Литолого-петрологические. Формирование золотого оруденения связывается с этапом становления гипабиссальной фазы собского комплекса, тем самым для рудных объектов характерно присутствие штоков и поясов даек диоритов, кварцевых диоритов и их порфировых разновидностей, сопровождающих и контролирующих оруденение.

Структурные. Рудный узел соответствует интрузивно-купольному поднятию гранитоидов собского комплекса, осложненному локальной тектоно-магматической депрессией, выполненной палеозойскими вулканогенно-осадочными породами. Депрессия осложнена локальными плутоническими поднятиями, которые соответствуют рудным полям, выражены выступами гранитоидов, штоками и дайками гипабиссальных пород рудоносных порфировых фаз, а также разновозрастными пострудными гипабиссальными телами. Золоторудные объекты располагаются в интенсивно тектонически дислоцированных экзоконтактовых и надывнтрузивных частях локальных выступов гранитоидов, осложненных апофизами, поясами разновозрастных даек, субвертикальными зонами трещиноватости и расщеливания.

Метасоматические. Оруденение сопровождается полями гидротермальных изменений пород различной интенсивности – известковыми скарнами с магнетитовыми залежами, хлорит-альбитовыми и альбитовыми метасоматитами, зонами кварц-хлорит-кальцит-серицитовых метасоматитов (березитов) с кварцевыми прожилками и осевыми жилами.

Рудно-минералогические. Особенностью золоторудных объектов Новогодненского рудного поля является пространственное сочетание в пределах единого месторождения в различных соотношениях нескольких структурно-вещественных типов золотого оруденения: «ранних» – золото-сульфидно-магнетитового в ассоциации со скарнами и золото-сульфидного (порфирового) штокверкового в хлорит-альбитовых метасоматитах, и «позднего» – золото-сульфидно-кварцевого жильно-прожилкового в зонах березитов. Масштаб проявления названных типов на кон-

кретном объекте отражает как особенности его геологического строения и позиции, так и закономерность эволюции формирования оруденения во времени. Выделенные типы руд отличаются характеристиками золоторудной минерализации, набором минеральных ассоциаций и условиями их образования [1].

Морфологические. Рудные тела представлены субпластовыми сульфидно-магнетитовыми гнездо- и пластообразными залежами в скарнированной вулканогенно-карбонатной толще; крупно-объемными линейно-изометричными штокверкоподобными телами сульфидной (преимущественно пиритовой) минерализации в эндо-экзоконтактах тел порфиритов; крутопадающими жильно-прожилковыми сульфидно-кварцевыми зонами.

Геохимические. Рудное поле выражено крупной слабо контрастной, комплексной аномалией Au и его спутников – Cu, Mo, Ag, Hg, As и др. Максимумы концентраций Au и Ag фиксируют близповерхностное оруденение, зональные ореолы Cu и Mo – скарново-магнетитовые тела и выступы интрузивных массивов; в ряде случаев для оруденения характерны локальные ореолы Hg. Россыпи и шлиховые потоки золота проявлены незначительно.

Геофизические. Контрастные локальные положительные аномалии магнитного поля отражают скарново-магнетитовые тела. Минимумы магнитного поля отвечают зонам потенциально-золотоносных березитов. Аномалии поляризуемости отчетливо отражают зоны сульфидной минерализации всех трех структурно-вещественных типов золотого оруденения.

В результате металлогенического анализа, по совокупности элементов разработанной прогнозно-поисковой модели автором разработаны обоснования для проведения поисковых работ на двух наиболее перспективных площадях Малоуральского ВПП. Данные площади выделены в пределах Лагортинского рудного района в южной части ВПП и рассматриваются в ранге прогнозируемых рудных узлов – Манюкюуского и Кокпельского. Перспективные площади характеризуются благоприятным умеренным эрозионным срезом, присутствуют тела потенциально-продуктивных порфировых фаз, зон метасоматитов с сульфидной минерализацией, комплексные геохимические ореолы Au+Ag+As и Cu+Mo, дифференцированное магнитное поле. В пределах лучше изученного Манюкюуского узла предшествующими работами (ИМГРЭ, 2012 г.) также выявлены пересечения с промышленными концентрациями золота (рудопроявление Полярная Надежда).

Список литературы:

1. Андреев А. В., Мансуров Р. Х. Типы руд золота и обстановки их нахождения на месторождениях Новогонненского рудного поля, Полярный Урал // Руды и металлы. – 2016. – № 3. – С. 23–38.
2. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Методическое руководство. Выпуск «Золото» / под ред. Б. И. Беневольского. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 182 с.

Андреев А. В., Авилова О. В., Старостин И. А. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОД КЫЗЫК-ЧАДРСКОГО ИНТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА КАК КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗА МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ОЖИНСКОГО ПЛУТОНА (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

Рассмотрен петрохимический состав продуктивного на золото-молибден-медно-порфировое оруденение кызык-чадрского интрузивного комплекса. Установленные параметры позволяют выделить по ретроспективным данным потенциально рудоносные интрузии в пределах Ожинского полиформационного плутона.

Ключевые слова: Ожинский плутон, месторождение Кызык-Чадр, медно-порфировое оруденение, кызык-чадрский комплекс, таннуольский комплекс, петрохимический состав.

Ожинский рудный район, охватывающий одноименный полиформационный батолитоподобный интрузивный массив (Ожинский плутон), в настоящее время является наиболее перспективным для выявления промышленных золото-молибден-медно-порфировых объектов на территории Республики Тыва. Большими перспективами обладает его западная часть – Кызык-Чадрский рудный узел, где расположено золото-молибден-медно-порфировое потенциальное месторождение Кызык-Чадр.

В строении Ожинского плутона участвуют интрузивные породы кызык-чадрского и таннуольского интрузивных комплексов. Рудоносным в отношении порфирового оруденения выступает кызык-чадрский габбро-диорит-гранодиорит-гранитовый комплекс (C_{2-3}) [1], формирующий в южной части плутона вытянутый в субширотном направлении Кызык-Чадрский массив, а в качестве рудоносных образований – его завершающие фазы (гранодиорит- и гранит-порфиры). Рудоносный комплекс относится к продуктам позднеорогенных вулканоплутонических поясов. таннуольский комплекс (C_2) [2] представлен гранитоидами островодужного типа, слагающими основной объем полиформационного плутона.

Поскольку любой рудный объект является «аномалией» на фоне безрудного пространства, то и рудоносные интрузивные комплексы имеют «аномальный» состав по сравнению с непродуктивными интрузивами. В связи с этим в ходе комплексного геолого-минералого-геохимического изучения месторождения Кызык-Чадр и его периферии в качестве одного из элементов прогнозно-поисковой модели рассмотрен петрохимический состав интрузивных образований. Основной для петрохимической характеристики явились данные силикатных анализов 30 проб. Выборкой был охвачен широкий спектр пород главных и порфировых фаз продуктивного кызык-чадрского комплекса, в меньшей степени учитывались породы таннуольского комплекса, широко охарактеризованные в литературе.

В качестве оценки степени преобразования исследуемых пород метасоматическими изменениями применена широко используемая в литературе дискриминационная диаграмма Хьюза (1972), показывающая отклонения химического состава пород от «магматического спектра» (нормального содержания щелочей). Практически все фигуративные точки имеющейся выборки уложились в поле неизмененных пород.

По опыту предшествующих работ, наиболее ярким показателем сходства и различий интрузивных пород различных групп и комплексов является содержание в них K_2O . Наглядно такое разделение демонстрирует бинарная диаграмма K_2O/SiO_2 , где породы Ожинского плутона четко разделяются на два тренда – группу кызык-чадрского комплекса, которая формирует практически непрерывный ряд от основных до кислых дифференциатов с постепенным повышенным содержанием K_2O от умереннокалиевых до высококалиевых известково-щелочных пород, и группу умереннокалиевых пород таннуольского комплекса. Аналогичная картина наблюдается на тройной диаграмме K_2O-Na_2O-CaO , где тренд пород таннуольского комплекса смещен относительно кызык-чадрского в сторону Na_2O . Похожее разделение наблюдается и на диаграмме щелочности Фроста (2001), где породы кызык-чадрского комплекса образуют непрерывный тренд от щелочно-известковистых с плавным переходом в известково-щелочные, в то же время породы таннуольского комплекса занимают более нижнее положение на диаграмме и характеризуются как щелочно-известковистые. Рудоносные гранодиорит- и гранит-порфиры по петрохимическому составу являются непосредственными аналогами кислых дифференциатов главных фаз кызык-чадрского комплекса.

Несмотря на ряд различий, наблюдаются и признаки сходства петрохимического состава пород кызык-чадрского и таннуольского комплексов. Близкое положение рядов пород комплексов на TAS-диаграмме может свидетельствовать об их родстве, то есть эти группы пород могли быть производными единого длительно развивавшегося и эволюционирующего во времени магматического очага. Отношение K_2O/Na_2O показывает, что породы обоих комплексов принадлежат единой калиево-натриевой петрохимической серии гранитоидов. Глиноземистость (ANK/ACNK) также указывает на близкое родство комплексов – все породы выборки образуют единый тренд.

Петрохимический состав также позволяет провести разбраковку интрузивных образований по потенциальной рудоносности и их металлогенической специализации. Широкий спектр типов руд учитывает диаграмма $(FeO/Fe_2O_3)/(Na_2O/K_2O)$ с полями металлогенической специализации

гранитоидов (Остапенко, 1991). Фигуративные точки пород кызык-чадрского комплекса четко попадают в поле (золото-молибден)-медно-порфировой специализации, в то же время породы таннуольского комплекса такой специализации не показывают.

Сравнение петрохимического состава кызык-чадрского комплекса и состава продуктивных на медно- и молибден-порфировое оруденение комплексов сопредельных территорий показывает, что наиболее близки кызык-чадрскому комплексу, специализированные преимущественно на молибденовое оруденение (месторождения Жирикенское, Эрдентуин-Обо, в меньшей степени Сорское). Это объясняется широким распространением кислых дифференциатов в составе главных и порфировых фаз кызык-чадрского комплекса, которые характерны в большей степени для молибденовых месторождений, чем для медных. Эта особенность согласуется и с повышенными содержаниями молибдена в составе руд месторождения Кызык-Чадр. Вместе с тем состав пород кызык-чадрского комплекса также близок породам ряда потенциально промышленных медно-порфировых рудопроявлений, изученных нами ранее, например рудопроявления Ольховское (Чукотский АО).

Выполненный анализ химического состава интрузивных образований показал четкое разделение пород таннуольского и кызык-чадрского интрузивных комплексов. Имеющиеся ретроспективные данные указывают на то, что в пределах Ожинского плутона присутствуют массивы кызык-чадрского комплекса не выделенные на существующих картах. Тем самым установленные петрохимические характеристики могут быть использованы при выделении рудоносного комплекса в составе Ожинского плутона на основе уже существующих данных, что может позволить выделить новые перспективные площади для постановки поисковых работ.

Список литературы:

1. Гусев Н. И., Берзон Е. И., Семенов М. И. Кызыкчадрское медно-порфировое месторождение (Тува): геохимические особенности и возраст магматизма // Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 59. – С. 70–79.
2. 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.

**Архипенков А. И., Иванов А. С. (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)),
Шмаков И. И. (ALROSA (ZIMBABWE))**

ПЕРЕХОД СОСТАВА СПЕССАРТИН-ГРОССУЛЯР-ПИРОП-АЛЬМАНДИНА В ПИРОП-ГРОССУЛЯР-АНДРАДИТ В КИМБЕРЛИТАХ РИО-РАНЧ (ЗИМБАБВЕ)

Изучено изменение состава эклогитового граната из кимберлита Рио-Ранч по линии от центра зерна к краю, где отмечены образования келифитовой каймы. В результате исследования зафиксирован процесс смешивания гранатов серии пиральспитов (пироп-альмандин-спессартин) с гранатами серии уграндитов (уваровит-гроссуляр-андрадит), что, по-видимому, является результатом пограничного разделения ультрамафитовой магмы на кимберлитовую и карбонатитовую составляющие.

Ключевые слова: кимберлит, пироп, альмандин, андрадит.

В работе изучены особенности составов пиропов из кимберлитовых трубок Рио-Ранч (Зимбабве). По опубликованным данным (М. Г. Копылова, 1997) возраст этих кимберлитовых трубок определен на уровне 530–540 млн лет. Работа выполнена на рентгеновском микроанализаторе Суперпроб JXA-8230. Параметры изучения: ускоряющее напряжение тока пучка 20 kV, сила тока

Составы гранатов, выполнены в 15 точках по линии от центра к краю зерна граната

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO + Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Сумма
1	37,0	0,00	21,5	0,0	31,0	1,3	7,1	1,4	0,03	99,3
2	37,3	0,00	21,4	0,1	30,8	1,3	7,1	1,3	0,02	99,3
3	37,0	0,00	21,6	0,0	31,0	1,3	7,3	1,2	0,02	99,3
4	37,4	0,00	22,0	0,1	29,8	1,3	7,5	1,3	0,00	99,2
5	37,6	0,01	22,0	0,1	29,5	1,2	7,5	1,3	0,02	99,3
6	38,1	0,01	21,4	0,0	29,2	1,3	7,6	1,5	0,02	99,3
7	38,4	0,07	19,1	0,1	29,1	1,1	6,5	5,2	0,04	99,5
8	36,8	0,37	13,4	0,0	27,0	0,7	3,9	15,5	0,04	97,7
9	35,1	0,98	8,8	0,1	24,4	0,3	2,3	24,4	0,03	96,3
10	33,9	1,42	6,3	0,2	23,7	0,2	1,5	30,3	0,02	97,5
11	33,4	1,42	5,7	0,1	23,5	0,1	1,4	31,6	0,00	97,3
12	33,5	1,29	5,6	0,2	23,3	0,1	1,5	32,4	0,01	98,0
13	33,3	0,96	5,8	0,1	23,2	0,1	1,7	32,3	0,02	97,6
14	33,9	0,62	6,3	0,2	22,8	0,1	2,2	31,4	0,02	97,7
15	34,4	0,40	6,6	0,1	22,6	0,1	2,2	31,7	0,06	98,1

100 нА, время измерения 70 с, абсолютная погрешность < 0,01 %. По линии от центра к краю изучен состав зерна граната.

Преобразования граната происходят последовательно. По классификации Dawson J. B. and Stephens W. E. [2], происходит изменение составов G5 – G3 – G4 – G6. К группе G5 относятся гранаты с высоким содержанием FeO (в среднем 28,3 %). К группе G3 можно отнести зерна с наиболее высокими содержаниями FeO и CaO. Группа G4 характеризуется повышенными содержаниями FeO и TiO₂, группа G6 – высокими содержаниями CaO, FeO и MgO.

Зафиксирован переход состава спессартин-гроссуляр-пироп-альмандин (Mn_{0,09}Ca_{0,12}Mg_{0,8}Fe_{1,9}Al₂Si_{2,95}O₁₂) в пироп-гроссуляр-андрадит (Mg_{0,8}Ca_{2,9}Fe_{1,5}Si_{2,85}O₁₂). По линии от центра к краю выполнены количественные определения состава (таблица).

Отмеченные нами преобразования в зерне граната, в краевой зоне, характерны для образования карбонатита, который образуется при малых степенях плавления карбонатсодержащей метасоматизированной мантии.

Результаты изучения кимберлитов [1] показали, что эти породы могут быть получены из метасоматизированных карбонатсодержащих лерцолитов и эклогитов в основании литосферной мантии. При повышении степени частичного плавления и ассимиляции силикатных минералов литосферной мантии вблизи источника, а также при движении к поверхности расплав становится кимберлитовым по составу.

Список литературы:

1. Похиленко Н. П., Агашев А. М., Литасов К. Д., Похиленко Л. Н. Взаимоотношения карбонатитового метасоматоза деплетированных перидотитов литосферной мантии с алмазообразованием и карбонатит-кимберлитовым магматизмом // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 1–2. – С. 361–383.
2. Dawson J. B., Stephens W. E. Statistical classification of garnets from kimberlite and associated xenoliths // The Journal of Geology. – 1975. – V. 83. – P. 589–607.

**Бабаянц П. С., Калмыков Б. А., Трусов А. А. (АО «ГНПП «Аэрогеофизика»)
Ромашко В. В. (ПАО «ГМК «Норильский Никель»)**

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Описаны методика и результаты регионального прогноза рудных объектов медно-порфирового типа ранга рудных районов и рудных узлов по результатам анализа комплексных гравимагнитных данных.

Ключевые слова: магнитометрия, гравиметрия, медно-порфировое оруденение, комплексная интерпретация, прогноз.

Представленная работа посвящена описанию методики регионального прогноза рудных объектов ранга рудных районов и рудных узлов по результатам анализа комплексных гравимагнитных данных из комплекта ГГК-1000/3 и базируется на опыте, полученном при выполнении аналогичных работ на медно-порфировый тип оруденения в Дальневосточном регионе [1]. Исследования выполнялись в рамках работы по составлению прогнозной геофизической основы Приамурья и Сихотэ-Алиня для прогноза медно-порфировых и эпitherмальных золоторудных месторождений на основе интерпретации результатов ретроспективных региональных гравимагнитных съемок.

Для анализа были использованы опубликованные и фондовые гравиметрические и магнитометрические данные по территории Приамурья и Сихотэ-Алиня масштаба 1 : 1 000 000 и крупнее, главным образом результаты съемок масштаба 1 : 200 000, имеющиеся в свободном доступе, по которым были составлены сводные матрицы гравитационного и магнитного полей с размером ячейки 2 × 2 км. С учетом географического положения и значительных размеров площади исследований, для исключения влияния на структуру полей внешних факторов магнитное поле было редуцировано к полюсу, а к гравитационному применена изостатическая редукция.

В качестве дополнительного информационного параметра использовалась цифровая модель рельефа местности, для создания которой использовалась международная глобальная модель GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), которая включает в себя модель SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) для сухопутной части, и данные батиметрии для акватории Мирового океана. Модель GEBCO представляет собой матрицу альтитуд рельефа в географической системе координат (WGS84) с ячейкой 30 угловых секунд по широте и долготе, что для данной территории соответствует около 1 км.

На региональной стадии исследований при размере ячейки матриц исходных данных 2 × 2 км использование аналитических методов анализа, основанных на технологиях прямого моделирования, представляется малоэффективным, поскольку размеры элементов, определяющих факторы вещественного контроля целевого объекта, могут быть сопоставимы или даже меньше шага матрицы. В этом случае ключевую роль должны играть технологии вероятностно-статистического анализа.

Для установления закономерностей проявления тех или иных факторов локализации целевого объекта при условии наличия статистически представительной выборки эталонных объектов использовался анализ совмещенных гистограмм распределения анализируемого параметра, построенных отдельно для генеральной совокупности (матрица распределения параметра) и целевого объекта (значения параметра в точках размещения эталонов).

Был проанализирован широкий спектр возможных трансформант геофизических полей, из которых предпочтение было отдано тем, которые в той или иной мере способны подчеркнуть факторы локализации целевого объекта, определявшиеся по литературным данным [4, 5]. Были вычислены и использовались для последующего анализа следующие преобразования гравитационного и магнитного полей:

- Поверхность, огибающая нижние кромки намагниченных объектов, альтитуды которой вычислялись с помощью специальной технологии.

- Результаты аналитического продолжения гравитационного и магнитного полей вверх на высоту 10 км.
- Локальные составляющие полей, вычисленные как разность между исходными полями и результатами аналитического продолжения вверх.
- Вертикальные составляющие градиентов гравитационного и магнитного полей, которые вычислялись с использованием специальной опции Magmap из пакета программ Oasis Montaj (GEOSOFT).
- Результаты фильтрации локальных составляющих полей и их вертикальных производных для оценки характера и степени изменчивости гравитационного и магнитного полей и их вертикальных производных. Использовался специально разработанный для этой цели интегральный фильтр.
- Карты амплитуд изменения рельефа и магнитного поля, полученные как разность поверхностей, огибающих положительные и отрицательные экстремумы соответствующего параметра.

Формальный прогноз оруденения осуществлялся нами с использованием алгоритма, разработанного для прогноза слабоконтрастных объектов по комплексу геолого-геофизических данных, представленных в количественной, полуколичественной и качественной формах, в условиях неравномерной изученности территории [2, 3]. Для прогноза медно-порфирового оруденения в качестве эталонов использовались точки размещения известных месторождений указанного типа. В связи с малой статистической представительностью данных (6 объектов в контуре площади) в качестве обучающей выборки использовалась ближайшая окрестность точек локализации месторождений в форме круга радиусом 10 км. Кроме того, была предпринята попытка прогнозирования с использованием в качестве эталонов известных медно-порфировых месторождений дальнего зарубежья.

По результатам выполненных работ составлена карта структурно-тектонического районирования территории, на которой отражено положение основных дизъюнктивных и блоковых структур, вулканоплутонических ареалов и зон.

По материалам структурно-тектонического районирования и формального прогноза оруденения, с учетом прогнозных предпосылок (факторов) формирования медно-порфирового оруденения, локализованных по результатам анализа исходных полей и вычисленных трансформант, составлена карта прогнозной интерпретации. Выделена площадь, рекомендуемая для проведения детализационных работ.

Выполненные работы продемонстрировали возможность эффективного прогноза региональных закономерностей размещения порфирового оруденения с локализацией объектов ранга рудных районов и рудных узлов на основе интерпретации потенциальных полей. Для более детального прогнозирования необходимо привлечение дополнительных информационных параметров.

Список литературы:

1. Бабаянц П. С., Калмыков Б. А., Михайлов В. О., Ромашко В. В., Трусков А. А. Интерпретация результатов региональных гравимагнитных съемок с целью прогноза размещения медно-порфирового и золотого эпitherмального оруденения // Материалы 47-й сессии Международного научного семинара Д. Г. Успенского – В. Н. Страхова. – Воронеж, 2020. – С. 30–33
2. Бабаянц П. С. Алгоритм решения прогнозно-поисковых задач в рамках вероятностно-статистического подхода для качественных признаков // Известия Высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1990. – № 1.
3. Бабаянц П. С., Трусков А. А. Пакет программ прогноза слабопроявленного оруденения по комплексу геофизических данных // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей : материалы 36-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского (Казань, 26–31 января 2009 г.). – С. 29–31.
4. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1983. – 256 с.
5. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Володин Р. Н. [и др.] Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Медь». – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 212 с.

ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ И ЭВОЛЮЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СКОПЛЕНИЙ ЗОЛОТА
ОТ КОРЕННОГО ИСТОЧНИКА ДО РОССЫПИ ЕГОРЬЕВСКОГО РУДНОГО УЗЛА
(ЮГО-ЗАПАДНЫЙ САЛАИР)

На примере Егорьевского золоторудно-россыпного узла (Салаирская металлогеническая зона) по характерным и вновь выявленным поисковым признакам рассмотрен эволюционный ряд промышленных скоплений золота «коренные породы – кора выветривания – россыпь».

Ключевые слова: золото, скопления, метасоматиты, кора выветривания, россыпь.

Егорьевский рудно-россыпной узел (ЕРПУ) приурочен к сводовой части Егорьевско-Валовской горст-антиклинали (ЕВ-га), расположенной в юго-западной части Салаирской складчатой зоны венд-кембрийской тектономагматической активизации, на границе с Хмелевским прогибом герцинского структурного этажа (Черных А. И., 2007). В центральной части ЕВ-га, сложенной терригенно-карбонатными породами, отмечается отрицательная гравитационная аномалия, фиксирующая предположительно апикальную часть массива ордовикских гранитоидов. Массив вскрыт на глубине 180–250 м колонковыми скважинами на перспективно-промышленном Но-волушниковском золото-сульфидно-кварцевом (Au-Su-Q) месторождении, которое приурочено к северо-восточному крылу ЕВ-га, сложенному вулканогенно-терригенными отложениями нижнего кембрия (Нечаев В. В., 1988). Вдоль разломов северо-западного простирания отмечаются силлы, штоки, дайки метадiorитов, диабазов и реже гранит-порфиоров. Вмещающие породы метаморфизованы, преобразованы в пропилиты, реже в скарны, в зонах расщепления разломов – в березит-лиственитовые метасоматиты, и содержат прожилково-жильную золото-кварцевую (Au-Q) и золото-кварц-карбонатную минерализацию. Выделяются два морфологических типа золотой минерализации: линейно-штокверковый с наклонными и крутопадающими зонами расщепления (выявлен на всей территории узла) и штокверковый (локализован в экзо-, эндоконтактной апикальной части Новолушниковского штока плагиогранитов). Рудные сечения в коренных породах с мощностью 3–10 м с содержаниями Au 1,5–2,5 г/т, в отдельных пробах до 541 г/т, прослежены по падению более 500 м и по простиранию до 2 км (Неволько А. И., 1992). Максимальные концентрации золота в таких участках приурочены к березит-лиственитовым метасоматитам слюдяного состава с преобладанием парагонита и с наложенной Au-Q жильно-прожилковой минерализацией. Оруденение представлено зонами прожилково-вкрапленной минерализации Au-Su, Au-Su-Q и Au-Q формаций, характерных для крупнообъемных золоторудных объектов. В размещении коренного оруденения намечается линейно-узловой характер (Росляков Н. А., 1995), что подчеркивается характером расположения россыпей, рудопроявлений, геохимических аномалий золота и рудных тел гравитационно-извлекаемого золота в корах выветривания (КВ).

Установлено, что КВ, расположенные над Au-рудными зонами в коренных породах, являются золотоносными, сопровождаются глубокой проработкой с сохранением полного профиля на водоразделах мощностью до 70 метров и более. Морфология россыпей в верхней части разреза КВ часто субгоризонтальная с неправильными контурами, в корневой – крутопадающая (Песков Е. Г., 1992; Каминская Е. С., 1995), мощность до 20–40 м, C_{cp} Au 0,5 г/м³, в отдельных пробах содержания Au до 81 г/т. Повсеместно продукты КВ перекрыты озерными суглинками мощностью до 30 метров с залегающими в подошве грубообломочными аллювиальными отложениями в виде залежей с небольшой мощностью на водоразделах и повышенной в долинах. В пределах ЕРПУ с 1830 г. самородное золото аллювиального (al), делювиально-аллювиального (dl-al) и элювиально-делювиального (el-dl) генезиса добывается только из россыпей (Колтунов С. В., 1982; Кудрявцева Л. Ф., 2003), где продуктивность отдельных участков россыпей в первую очередь зависит от параметров золоторудных тел в КВ, в том числе и от их морфологии (содержаний, мощности, протяженности, физических и химических свойств и др.). Считается, что формирование промышленных скоплений золота в рыхлых отложениях горных областей Южной Сибири происходило только в

континентальных условиях. Однако при изучении золотоносности Салаирского кряжа, Кузнецкого Алатау появляются новые данные, указывающие на формирование отложений, вмещающих скопления самородного золота, и в условиях мелководного моря, при нескольких (только в неоплейстоцее не менее четырех) ритмически повторяющихся трансгрессиях и регрессиях; соответственно, с двумя различающимися по составу пачками: верхней глинистой (мощностью в десятки метров) и нижней грубообломочной (мощностью первые метры), с максимальной продуктивностью золота в аллювии русел рек; с формированием скоплений золота на раннем этапе в мел-палеогеновой КВ контактово-карстового остаточного и перемещенного типов, при возрастании количества металла в аллювии речных долин за счет перемива золотоносных отложений, поступающих как со склонов, так и с водоразделов (Нестеренко, 1979; Калинин Ю. А., 1996). В свою очередь, источником золота в КВ являются подстилающие золотоносные метасоматиты с жилами, прожилками кварца, содержащие сульфидные минералы, и метасоматиты с жильными окислами (гетита) и гидроокислами (гидрогетита), образованными в крупномасштабных зонах трещиноватости. Промышленные скопления золота в коренных породах, коре выветривания и россыпях сопровождаются типоморфными петрографо-минералого-геохимическими золоторудными ассоциациями с унаследовано меняющимися концентрациями элементов-индикаторов Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Sb, Hg, Se, As, Mo, Si, Ca, K, Mg, Mn, Fe и др., зависящими от степени последующих преобразований пород, вмещающих золото, где ведущими признаками поиска таких скоплений являются:

- наличие в коренных породах линейных или штокверковых минерализованных зон $L = 0, n - n, 0$ км и $M = n, 0 - n, 0$ м, сложенных сульфидизированными с жилами и прожилками кварца метасоматитами, содержащими золото $0, 0 n - n, 0$ г/т;
- наличие низкотемпературных минералов (каолинита, гидрослюда) в коренных породах на глубинах до 300 м и вблизи поверхности – ярозита, диккита, халцедона, самородного золота с биоморфными структурами, сформированными в результате воздействия минерализованных растворов эндогенного и экзогенного происхождения;
- наличие в коренных породах, подстилающих кору выветривания, кварц-гетит-гидрогетитовых жил с пустотами выщелачивания, заполняющих трещины в метасоматически измененных породах, а в глинистой коре выветривания – желваков бурых железняков, конкреций бокситов с биоморфными структурами, содержащих Au, Bi, As, Ag, Se, Hg, Sb, Pb, Zn, Cu, ЭПГ, сформированных хемогенно-биогенно-гидротермальным способом на дне водоема при излиянии газогидротермальных флюидов;
- наличие золотоносной КВ с залежами двух типов: не перемещенными e1-остаточными линейной формы, глубиной в десятки, шириной в сотни метров и протяженностью в 2–3 км и более с золотоносными метасоматитами в ее подошве и с перемещенными по склонам и логам d1-пролювиальными отложениями;
- наличие рыхлых отложений, перекрывающих золотоносные коренные породы и КВ, с двумя ритмически повторяющимися пачками: нижней – грубообломочных с золотом и верхней – тонкообломочных алевритов аквального генезиса с остатками фоссилизированных колониальных животных (мшанок), в последнем ритме формирующих горизонты маркеры;
- наличие в речных долинах 1–4 классов грубообломочных отложений нижних пачек выявленных ритмов, содержащих многослойные россыпи золота;
- присутствие в россыпях самородного золота с Ag, Hg, Cu пробностью от 489 до 976–1000 ‰, образующего отдельные группы, свидетельствующие о его формировании как в эндогенных, так и в экзогенных условиях, нередко с участием микроорганизмов.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ВЫСОКОКАЛИЕВЫХ ПОРОД ЗАПАДНО-ОЛЕКМИНСКОГО РАЙОНА

Детально изучены состав и текстурно-структурные особенности геологического тела Анфиса (Чаро-Синская минерагеническая зона, устье р. Бирюк). Результаты исследований позволили установить комплексное происхождение тела и исключить его отношение к предполагаемым ранее низкотитанистым кимберлитам (мелноитам).

Ключевые слова: Сибирская платформа, кимберлит, мелноит, туф, ИМК, МСА, пироп.

Объектом исследования является геологическое тело Анфиса, расположенное в 2 км от устья р. Бирюк, в правом борту ручья Дайковый на Западно-Олекминской площади (южная часть Республики Саха (Якутия). Геологическое тело имеет сложное строение, выполняет трещины и межпластовое пространство нарушенной верхнекембрийской карбонатной толщи, сложенной преимущественно мергелями вблизи экзоконтакта дайки верхнедевонских долеритобазальтов Чаро-Синского дайкового пояса [5]. Изучаемая территория располагается в пределах восточного приплатформенного крыла раннепалеозойской структуры I порядка – Березовской впадины (прогиба), являющейся составной частью северо-восточного окончания Предпатомского регионального краевого прогиба. На севере впадина граничит с Кемпендяйской котловиной, граница с которой проводится условно по верховьям рек Эргейджей и Бирюк, на юге она отделяется от Байкало-Патомского нагорья Южно-Якутской системой глубоких разломов субмеридионального направления, прослеживающихся в осадочном чехле, на западе граничит с Джеюктинским выступом, а на юго-востоке и востоке – с Наманинским выступом Алданской антеклизы.

В центральной части Березовской впадины и ее приплатформенном борту выявлено около 60 положительных структур, контролирующихся разрывными дислокациями преимущественно северо-восточного и меридионального простирания, соответствующего пространственной ориентировке впадины. Все структуры объединяются в четыре крупные относительно пологие валообразные поднятия II порядка (с запада на восток): Усть-Жуинское-Верхнемеличанское, Малобочерендейское, Чаро-Бирюкское и Эбетасское [4].

На левобережье р. Лена, в центральной части Чаро-Бирюкского валообразного поднятия, расположенного близ границы Березовской впадины и Алданской антеклизы, располагается Усть-Бирюкская антиклиналь (брахиантиклиналь), которая протягивается от устья р. Бирюк до среднего течения р. Берденка. Она сложена верхнерифейскими, вендскими и кембрийскими отложениями, а также выходящими на дневную поверхность маломощными фрагментарно распространенными породами ордовикского и четвертичного возрастов. Мощность осадочного чехла в пределах Березовской впадины на приплатформенном борту составляет 1,2–1,6 км, на прискладчатом – до 10 км [1]. К южному окончанию антиклинали приурочен изучаемый участок.

Впервые тело Анфиса было обнаружено в 1957 г. при поисках и разведке полезных ископаемых на Западно-Олекминской площади и описано как пиропсодержащий туф [3]. В 2018 г. тело было идентифицировано как вулканогенно-осадочная толща, являющаяся трубкой взрыва Анфиса. Авторами предполагалось, что первично магматическая фаза была представлена калиевыми меллитит-содержащими низкотитанистыми кимберлитами (мелноитами). Отмечается также [4], что среди индикаторных минералов кимберлитов в Анфисе установлены ИМК алмазной ассоциации (хромшпинелиды, оливин, хромдиопсид).

Для более детального изучения в 2019 г. нами были проведены полевые работы, в ходе которых из обнажения тела Анфиса отобраны представительные образцы, из которых выделена тяжелая минеральная фракция. Химический состав пород изучен методами РФА и ИСП АЭС (ЦАЛ НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный). Минеральный состав и текстурно-структурные особенности изучены при помощи поляризационного микроскопа в проходящем свете методами электронной сканирующей микроскопии и рентгенотермографического анализа.

Представительные составы пород тела «Анфиса» (ИСП АЭС)

№ обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Total
1	48,16	0,73	14,14	5,59	3,45	12,57	0,13	6,49	0,17	0,15	91,59
2	52,43	0,78	15,60	4,77	3,33	8,27	0,05	8,45	0,26	0,18	94,12
3	49,60	0,79	15,06	5,30	3,27	10,50	0,06	7,52	0,29	0,18	92,56
4	48,52	0,74	14,10	5,58	3,48	12,66	0,10	6,48	0,18	0,15	91,98
5	48,72	0,73	13,98	6,06	4,04	12,20	0,08	6,30	0,18	0,14	92,44
6	47,68	0,71	13,73	6,40	2,63	13,31	0,15	5,89	0,19	0,14	90,83
7	47,39	0,71	12,47	9,37	2,40	13,70	0,10	4,77	0,35	0,15	91,42
8	49,04	0,74	14,27	5,51	3,03	12,83	0,14	6,60	0,17	0,15	92,48
9	49,43	0,74	14,16	5,48	3,38	12,25	0,10	6,98	0,18	0,16	92,86
10	46,39	0,61	11,74	4,22	10,71	8,48	0,06	6,49	0,28	0,16	89,14
11	49,67	0,72	14,19	6,64	2,80	12,11	0,10	6,98	0,19	0,15	93,54

Помимо этого, был опробован русловой аллювий вблизи места впадения ручья Дайковый в р. Бирюк, а также отобрана одна мелкообъемная шлиховая проба объемом 1 м³ и пять стандартных шлиховых проб объемом от 20 до 30 л.

Структура породы преимущественно алевропелитовая с редкими (до 0,3 мм) минеральными вкрапленниками, текстура преимущественно полосчатая, линзовидно-полосчатая, участками неоднородно пятнистая, реже брекчиевидная. По преобладающему минеральному составу выделены следующие участки: микроклиновые, глинистые, корренситовые, хлоритовые, кальцитовые. Участки чаще всего имеют удлиненную форму, при этом удлинение для всех участков, расположенных в пределах одного шлифа, сопоставлено, что формирует псевдослоистую или линзовидную текстуру.

Химический состав породы (среднее по 22 анализам) в мас. %: SiO₂ – 49,8; TiO₂ – 0,73; Al₂O₃ – 14,37; Fe₂O₃ общ. – 5,9; CaO – 3,86; MgO – 11,72; MnO – 0,1; K₂O – 6,63; Na₂O – 0,22; P₂O₅ – 0,16; S – 0,02; F – 0,08; Cl – 0,01 (таблица). На TAS-диаграмме (Na₂O + K₂O)–SiO₂ составы породы занимают промежуточное положение между трахибазальтами, щелочными базальтами, фонотефритами и трахиандезитбазальтами (см. таблицу). Согласно редкоземельному спектру (нормированному на хондрит), породы относительно обогащены LREE и обеднены HREE, однако концентрации HREE от Gd увеличиваются. Присутствуют Pr, Sm и Gd минимумы, слабый Eu максимум. Мультиэлементный спектр содержит выраженные Ta, Pr, Hf и слабые Gd и Ti минимумы. Отмечены четко выраженные La, Pb, Sr, Sm, Eu и Y максимумы. Наблюдается обогащение LILE (Cs, Rb, Ba), а также постепенное обогащение HREE и Y.

По рентгеноструктурному анализу соотношение минералов в породе составляет (в %): калиевый полевой шпат – 23, кварц – 22, корренсит – 13, кальцит – 7, гематит – 1, тальк – 1, гидрослюда – 0,3, неопределенные рентгеноаморфные фазы – 33. На отдельных участках преобладают калиевый полевой шпат (42 ± 5 %) и кварц (23 ± 5 %); кальцит составляет 10 ± 5 %, глинистые минералы, смектит, хлорит, гидрослюда (15 ± 5 %), тальк (5 %), присутствуют следы серпентина и гипса.

В тяжелой фракции обнаружен гранат альмандин-гроссулярового ряда с ориентированными включениями кварца, андезина, апатита, рутила; зерна кианита с ориентированными включениями кварца, кордиерита, рутила; зерна ильменита (содержание MgO 0–1 мас. %), а также магнетит, авгит, отмечено единственное зерно хромпикотита. Гранаты и кианиты содержат признаки механического износа на поверхности зерен, что указывает на их ксеногенную природу. В минеральных сростках обнаружены пироксены (авгит, бронзит), основной полевой шпат (лабрадор), титаномагнетит и ильменит. Данные минералы ассоциируют с титанитом, биотитом, ортоклазом, альбитом, анортотомом, шамозит-клинохлором и халькопиритом, образовавшимися в результате наложенных процессов. Минералов-индикаторов кимберлитов в породе не обнаружено.

Изученные породы имеют сложный вещественный состав, высокую степень постмагматических изменений, не позволяющих однозначно определить их генетическую принадлежность. Таким образом, тело Анфиса является продуктом смешения процессов различного генезиса – осадочного, метаморфического, магматического и гидротермально-метасоматического. Полученные

минералогические и геохимические данные не позволяют однозначно относить исследованные породы к кимберлитовой серии.

Список литературы:

1. Иванова И. А. Геохимия органического вещества неопротерозоя Березовской впадины (сера-лахская свита, Сибирская платформа) // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 9.
2. Махоткин И. Л., Кочнев В. Э., Матвеева Е. В. Открытие Западно-Олёкминского района девонского эруптивного магматизма в южной части Якутской алмазоносной провинции и оценка его алмазоносности // VIII Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2018.
3. Никитин Ю. А. Отчет о поисковых работах партии № 3 в бассейнах левобережных притоков р. Лены на участке между рр. Бирндюк и Джерба за 1959 г. (ЯАССР, Олекминский и Ленский районы). – 1959.
4. Петров М. М., Александров А. Р., Сивцев А. И. Надвиговые дислокации в Берёзовской впадине // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 4. – URL: <http://ogbus.ru/article/view/nadvigovye-dislokacii-v-berezovskoj-vpadine> (дата обращения: 22.03.2021).
5. Томшин М. Д., Константинов К. М., Прокопьев А. В. Среднепалеозойский Вилуйский палеорифт и последовательность магматических событий // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы совещания. – Иркутск : Институт земной коры СО РАН, 2016. – Вып. 14. – С. 277–279.

Барышев А. Н., Хачатрян Г. К. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ДОСТАВКУ АЛМАЗОНОСНОЙ СРЕДЫ ИЗ ГЛУБИН, ОБРАЗОВАНИЕ ТРУБОК КИМБЕРЛИТОВ И ЛАМПРОИТОВ В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЕВ ПРОГНОЗА

В докладе рассмотрены геодинамические условия формирования алмазов, извлечения вмещающих геологических масс из глубин, отражение их в структурах земной коры, по которым можно прогнозировать территории трубок алмазоносного вулканизма.

Ключевые слова: алмаз, трубки, кусты, периодичность в пространстве, сдвиги, трансенсия.

Для развития научно-методических основ прогноза и поисков алмазных месторождений требуется дополнительная разработка тектонических и геодинамических критериев. Проблема имеет два независимых, но взаимосвязанных аспекта. Первый – природа источника углерода, геодинамические условия роста кристаллов алмаза в мантии, геологическая структура глубинного алмазоносного пространства. Второй аспект – условия доставки алмазоносной среды из мантии к поверхности Земли, образование в конечном итоге кимберлитовых и лампроитовых трубок с алмазами или без них. Результаты наших исследований по первому аспекту изложены в работах [1–3]. Основной вывод из них следующий. Источник алмаза сочетает мантийные компоненты с экзогенными образованиями (углерод органических веществ, в частности биомассы), погруженными в мантию при субдукции вмещающих их толщ. Алмаз образуется при реакции углеводородов с оксидами или карбонатами. Субдукция толщ происходит от периферии к центру конвективной ячей в виде сжатых пологих синклиналей, обрамляя ячей подобно чаше. Форма чаши – морфология исходного алмазоносного пространства в мантии. Ее контуры определяют границы алмазоносной *минерагенической* провинции. Россыпи могут выходить за ее границы. Из мантии массы с алмазами поднимаются сначала в виде крупных тел, далее в нарастающих на них фракталах,

завершаясь кимберлитовыми трубками. Неравномерное распределение органического углерода в толщах до их субдукции – главная причина разного содержания или отсутствия алмазов в кимберлитах.

Настоящее сообщение посвящено геодинамическим условиям доставки и отражению их в тектонике земной коры. Большинство исследователей как основной фактор образования трубок и внедрения кимберлитовой магмы рассматривают «повышенную проницаемость» среды, создающуюся при сочленении или при пересечении разломов разных направлений. В относительно редких публикациях подчеркивается роль сдвигов в создании на их участках обстановки транстенсии, повышающей «проницаемость» среды для кимберлитовых магм [4].

В докладе обосновывается иная, более важная роль транстенсии. Уменьшение сжатия за счет раздвига при сдвиге приводит к уменьшению всестороннего давления вдоль зоны. Окружающая среда вызывает выжимание масс зоны и их подъем подобно адвекции вала (подъем при ограниченной по фазе конвекции за счет разуплотнения масс). Чрезвычайно малая доля кимберлитов в виде даек, по сравнению с трубками, свидетельствует о главной роли нерасплавленного состояния алмазоносной среды при ее адвекции, которой способствует приразломная транстенсия. По морфологии разломов и направлению перемещения их крыльев можно судить о геодинамической обстановке. Подниматься путем пластического течения могут крупные массы практически твердой алмазоносной среды, обеспечивая подготовительные условия для кимберлитового вулканизма. Эти массы создают алмазоносные поля как основание для кустов и трубок. Наглядную модель геодинамики подобного процесса в большом масштабе создала природа в виде впадины оз. Байкал, образовавшейся при транстенсии за счет левых сдвигов по близширотным разломам вдоль р. Верхняя Ангара на севере и рек Иркут и Малый Енисей на юге. Главное в модели то, что образование впадины вызвало подъем мантии под озером. Иначе говоря, транстенсия – один из важнейших факторов подъема алмазоносных масс, начинающегося с крупных объемов при весьма большой вязкости, а вверху земной коры – адвекции флюидонасыщенных масс в виде трубок, заканчивающейся взрывом и брекчированием.

Важными морфологическими характеристиками разломов, способных создавать обстановку транстенсии при сдвиговых перемещениях и указывать на нее, могут быть изгибы разлома, а также сочленения разломов, похожие на соединение рукоятки и пера у хоккейной клюшки. Транстенсия создается при сдвигах только определенных направлений, когда при сдвиговом движении вдоль «рукоятки клюшки» «высота пера» как бы увеличивается. Направление сдвиговых перемещений можно предвидеть по карте, а далее искать тому подтверждение в реальности, выделяя линейные области (зоны) транстенсии. Эти области являются основой для развития корней кимберлитовых кустов и отдельных трубок. Особое внимание необходимо обращать на резкие окончания разломов и «короткие» разрывы, которые участвуют в создании транстенсии при сдвигах по более протяженным разломам. То есть *области транстенсии – важнейший критерий прогноза территорий кимберлитового вулканизма.*

Примером линейной зоны транстенсии в Накынском алмазоносном поле (Якутия) служит обстановка, созданная вдоль Диагонального разлома при левых сдвигах по Ботуобинскому разлому. Она определяет ряд трубок и тел (Нюрбинская, Д-96, Ботуобинская, Мархинская, Майская). Подобная ситуация существует в Мирнинском, намечается в Слюдякарском полях.

Еще одно важное условие для поднятия масс из мантии, где среда обладает большой вязкостью, – значительная длительность существования транстенсии. Такие условия могут обеспечить напряжения, которые обусловлены постоянным действием ротационного поля Земли. К ним относятся сдвиги по очень крупным близширотным разломам (пример транстенсии у Байкала), а также левые сдвиги по разломам северо-восточного и правые северо-западного простирания, парагетичные осевому сплющиванию Земли. В мантийно-коровых условиях необходимые для транстенсии сдвиговые напряжения могут быть связаны с развитием соседних крупных систем ячеистой конвекции. Конвекция крупных масс сопровождается переносом их ротационного количества движения. Глубинные массы, поднятые на уровень континентальной коры, приобретают «западный дрейф». Пример – Яно-Колымская конвективная ячея, которая развивалась в мезозое и западнее могла способствовать наиболее интенсивному проявлению кимберлитового вулканизма на севере Сибири, в отличие от ее юга именно в это время.

Вторым критерием прогноза алмазоносных систем, определяемым геодинамикой подъема масс, является их периодичность в пространстве, обусловленная волновой природой зарождения адвекции и фрактальной структурой конвективной системы, в которой вязкость вещества последовательно снижается во фракталах верхней ее части. Такое явление возникает при подъеме нагретых на глубине мантийных масс в расположенные выше области с меньшим литостатическим давлением. В результате вдоль минерагенических зон образуются области с повышенной интенсивностью поднятий мантийной среды (суперрайоны) через расстояние около 300 км, а в них – поля, кусты, трубки. Шаг между кустами или отдельными трубками проявляется вдоль линейной зоны трансенсии, благодаря зарождению адвекции по волновому закону. Обычно эти волны имеют длину около 2–3 км. Расстояния могут составлять 2–3 длины волны, когда не на каждой волне вырастает трубка [1, 3]. Именно адвекция, протекающая по условиям, определяемым в уравнении конвекции как второе критическое число Рэлея, определяет трубчатую с взрывным растрескиванием морфологию кимберлитовых тел, а не линейную или дайковую в разломах. Шаг между кустами трубок – критерий их прогноза вдоль зоны трансенсии при наличии хотя бы одной выявленной трубки. В докладе в обоснование периодичности систем через определенные расстояния приводятся результаты тектонофизических экспериментов адвекции, расстояния между алмазоносными суперрайонами (300 км), а также статистическое распределение расстояний между кимберлитовыми кустами (многотрубчатыми либо однострубочными) в алмазоносных полях Сибири и Архангельской области.

Список литературы:

1. Барышев А. Н. Периодическое размещение алмазоносных систем и смежные проблемы геологии алмазов // Отечественная геология. – 2006. – № 6. – С. 20–35.
2. Барышев А. Н., Хачатрян Г. К. Минерагеническое и геодинамическое значение типов популяций алмаза // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 1–11.
3. Барышев А. Н., Хачатрян Г. К. Минералого-геохимический и геодинамический системный подход к анализу алмазоносности и минерагеническому районированию платформ // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 90–103.
4. Игнатов П. А. Методы обнаружения скрытых рудоконтролирующих структур в осадочных толщах на примере месторождений урана и алмазов. – М. : МГУ, 2010. – 24 с.

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

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД МУЛИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

Приведены и кратко охарактеризованы формации и субформации, рассмотрены фациальные различия пород в пределах Мулинской площади (Забайкальский край), взаимосвязь оруденения с литологическим составом пород и фациями вулканизма. Дана краткая характеристика руд и рудовмещающих пород.

Ключевые слова: литолого-фациальный анализ, фации вулканизма, формационный анализ, минеральный состав руд.

Мулинская площадь располагается в Кличкинском рудном районе (Забайкалье), относится к Приаргунской МЗ. Крупнейшая геологическая структура – это мульдообразная Нойон-Тологойская вулканическая депрессия, вытянутая в северо-восточном направлении, ограниченная тектоническими разломами первого порядка. Внутреннее строение депрессии осложнено повсеместными разнонаправленными нарушениями, а в центральной части крупной тектонической структурой – Еланским грабеном.

Площадь сложена вулканогенно-кремнисто терригенной формацией (ВКТ) и молассовой формацией (М J_{1-2}). Вулканогенно-кремнисто терригенная формация представлена тремя субформациями: вулканогенно-терригенной (ВКТ₃ J_3); базальт-андезит-дацитовый (ВКТ₂ J_{2-3}); базальт-(андезит)-дацитовый углерод-кремнисто-терригенной (ВКТ₁ J_2). Юрские образования прорваны субвулканическими телами риолитов и мелкими штоками средне-позднеюрских монцонитов и граносиенитов, реже сиенит-порфирами. Рудоносными субформациями являются ВКТ₃ J_3 и ВКТ₂ J_{2-3} .

Для всех субформаций характерна фациальная изменчивость, заключающаяся в смене вулканогенных отложений терригенными, часто на коротких расстояниях. Соотношение вулканогенной и терригенной составляющих в их пределах различно: от преобладания вулканитов до резко подчиненного их количества. Что касается самих вулканогенных пород, то также наблюдается резкая изменчивость в соотношении кислых средних и основных пород.

Подстилающей для рудовмещающей формации является континентальная молассовая формация, к которой нами отнесены терригенные отложения верхнегазимульской свиты.

Верхнеюрские вулканогенно-осадочные отложения завершаются внедрением штокообразных и дайкообразных интрузий, являющихся, по мнению ряда исследователей, комагматичными образованиями верхнеюрских эффузивов. Анализ данных предыдущих исследователей, а также собственные наблюдения авторов позволили выделить две интрузивные формации: фемического профиля – диорит-гранодиорит-сиенитовую и сиалического – лейкогранитовую. Формация фемического профиля подразделяется на две субформации: диорит-гранодиоритовую, соответствующую шахтаминскому интрузивному комплексу (J_{2-3}), и диорит-монцонит-сиенитовую, отвечающую сретенскому комплексу верхней юры (J_3).

Многочисленные исследования областей, сложенных вулканогенно-осадочными породами, показывают, что для углубленного понимания последовательности и динамики формирования вулканогенных структур наиболее оптимальным является разделение вулканогенно-осадочных толщ на жерловую, околожерловую, промежуточную и удаленную фации. В соответствии с этим рудоносные формации Приаргунской МЗ разделяются на фациальные зоны. Границы между зонами обычно условные, однако в данном случае они четко фиксируются по литологическому и петрографическому составам.

В пределах Мулинской площади на данном этапе нами выделяются следующие фации:

- вулканогенных пород кислого состава, представленных преимущественно покровными лавами риолитов, соответствующих промежуточной фации вулканизма;
- вулканогенных пород среднего состава, представленных покровными лавами андезитов, андезидацитов; мелко- и среднеобломочными туфами андезитового и андезидацитового состава промежуточной фации вулканизма. Породы жерловой фации вулканизма представлены в восточной части площади, где выделяется группа субвулканических тел сиенитового состава, и субвулканическими телами экструзивных андезитов в западной части;
- вулканогенных пород основного состава, представленных покровными лавами андезибазальтов, базальтов; мелко- и среднеобломочными туфами базальтового и андезибазальтового состава промежуточной фации вулканизма. Жерловая фация вулканизма представлена субвулканическими телами габбро в восточной части площади;
- удаленные, осадочно-пирокластические (чередование алевролитов кремнистых, известковистых, песчаников, туфопесчаников, туфоалевролитов, туфогравелитов, туфоконгломератов).

В целом в пределах Мулинской площади все разности пород следует относить к промежуточной фации вулканизма, в отличие от центральной части вулканотектонической депрессии, к которой относится Нойон-Тологойское месторождение, эталонное для полиметаллических объектов Забайкальского края, где в разрезе представлены все фации вулканизма. Тем не менее на данном этапе наиболее перспективными для выявления полиметаллического оруденения являются зоны контакта пачек пород среднего и кислого составов или контакта пород основного и среднего составов аналогично Нойон-Тологойскому месторождению.

В ходе полевых работ был отобран и изучен каменный материал с видимой рудной минерализацией из предполагаемых рудных зон, вытянутых вокруг мульдообразной структуры в восточной части площади, а также из вмещающих пород. Оруденение приурочено к туфам и туфобрекчи-

ям среднего состава и сосредоточенно в зонах контакта пород среднего и кислого составов. Вмещающие породы представлены промежуточными фациями кислого и основного составов – лавами дацитов, андезитов и андезидацитов.

Наибольшее внимание нами было уделено вещественному составу руд. Основные рудные минералы представлены пиритом, сфалеритом и галенитом. Выделяются несколько генераций пирита: кубические формы и тонкозернистые массы, выполняющие краевые части пустот. Сфалерит присутствует как в виде прожилков, ориентированных перпендикулярно друг другу, так и в виде раздробленных кристаллов. Галенит занимает подчиненное положение и выделяется в виде редких вкраплений.

Изучение вещественного состава вмещающих пород и руд будет продолжено с целью более точного выделения фаций и зон, наиболее перспективных для выявления свинцово-цинкового оруденения.

Список литературы:

1. Богославец Н. Н., Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Кузнецова Т. П., Елшина С. Л. Колчеданно-полиметаллические месторождения Приаргунской СФЗ // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 123–124.
2. Серавина Т. В., Богославец Н. Н., Алеко С. В., Петухов А. А. Рудно-формационные типы колчеданно-полиметаллических месторождений Приаргунской минерагенической зоны // IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле : материалы конференции. – 2018. – С. 559–561.

Божко Н. А. (МГУ им. М. В. Ломоносова)

ЭВОЛЮЦИЯ АЛМАЗОНОСНОГО МАГМАТИЗМА В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

Эволюция алмазоносного магматизма Земли характеризуется отчетливой направленностью, выражающейся в неравномерном увеличении его проявления в течение геологической истории с резким усилением в фанерозое. Рассматриваются причины этого явления, среди которых основными являются эволюционные изменения в характере геодинамических процессов, повлиявших положительно на мантийный магматизм, и суперконтинентальная цикличность, создающая неравномерность и эпизодичность его проявления.

Ключевые слова: эволюция, направленность, тектоника литосферных плит, субдукция, охлаждение мантии, пики магматизма, плюмы, суперконтиненты, фазы суперконтинентального цикла, суперконтинентальная цикличность.

Современная статистика, отражающая развитие алмазоносного магматизма в истории Земли, свидетельствует о том, что его появление значительно отстает от возраста зафиксированных алмазов. Цирконы с включениями алмазов Западной Австралии находятся в возрастном интервале 4,252–3,058 млрд лет [3], тогда как возраст наиболее древнего известного алмазоносного кимберлита составляет 2850 млн лет.

В развитии алмазоносного магматизма наблюдается четкая тенденция увеличения его интенсивности в ходе геологического времени начиная с архея. При этом данное увеличение носит дискретный и резко неравномерный, скачкообразный, характер, сопровождаясь наличием пиков проявления рассматриваемого магматизма. Около 95 % датированных кимберлитов оказываются моложе 750 млн лет, большая их часть является мезозойскими [4]. Намечаются периоды проявления на уровне около 2 млрд лет, 1200–1075, 600–500, 400–350 и 250–50 млн лет. Глобальный пульс ким-

берлитового магматизма с появлением первого промышленного месторождения алмазов Премьер в южной Африке относится к мезопротерозою (~ 1,2 млрд лет).

Чем же вызвано такое отчетливое увеличение алмазоносного магматизма во времени? Следует исключить в качестве первопричины эрозию древних кимберлитов или их захоронение под молодыми отложениями. Этому противоречит хорошая сохранность зеленокаменных поясов на архейских кратонах, а также то обстоятельство, что размеры площадей выходов древних кимберлитовых тел не уступают площадям молодых.

Принимая во внимание определенную роль эрозии и захоронения, все же надо признать реальность вышеуказанного асимметричного распределения во времени алмазоносного магматизма независимо от этих факторов.

Более убедительными представляются подходы, связывающие увеличение алмазоносного магматизма во времени с геодинамикой. Отмеченная тенденция свидетельствует о том, что в течение геологического времени прогрессивно улучшались петрологические условия в мантии, становясь наиболее благоприятными для продуцирования высокомагнезиальных углеродных силикатных расплавов, в том числе для увеличения окислительного состояния содержания воды и CO_2 . Главным механизмом, обеспечивающим доставку в глубины мантии указанных компонентов, справедливо считается субдукция океанической литосферы. Эффективность его не идет в сравнение с другими путями (например, деламинацией). В этом плане заслуживают внимания модели, связывающие увеличение алмазоносного магматизма во времени с изменением стиля тектоники литосферных плит, наступлением ее современного механизма [3, 4, 5]. В модели [5] это изменение происходит на фоне падения теплового потока Земли, охлаждения конвектирующей мантии с течением времени. Важное значение для проявления алмазоносного магматизма имело охлаждение до температуры ниже 1400 °C на уровне около 2 млрд лет. Наступление «холодной» субдукции привело к проникновению слэба в нужные, более глубокие горизонты мантии. Продуктивный алмазоносный магматизм заметно усилился после 1,2 млн лет, и особенно в период 250–50 млн лет.

Мне представляется, что в объяснении тенденции увеличения во времени алмазоносного магматизма следует также принимать во внимание увеличение общей площади суперконтинентов в истории Земли, что способствовало расширению теплоизоляционного экрана и развитию плюмов и суперплюмов. Размер суперконтинентов от архейских Ваалбары и Кенорленда до Пангеи прогрессивно увеличивался. Оптимальные условия для существенного импульса алмазоносного магматизма, по-видимому, наступили после образования суперконтинента Родиния (~ 1100 млн лет). Значительная площадь Родинии вызвала обширный теплоизоляционный эффект, способствующий развитию плюмовой тектоники. В сочетании с кольцом аккреционных поясов, окруживших суперконтинент, с их мощными субдукционными процессами, привносящими охлажденную океаническую литосферу в глубины мантии, это создало в ней обстановку, богатую летучими веществами, благоприятную для плавления кимберлитов, что привело к импульсу магматизма и формированию первого промышленного месторождения алмазов. В последующее время размер суперконтинентов и их фрагментов продолжал увеличиваться. При распаде суперконтинента Родинии обособились мегаконтиненты Гондвана и Лавразия, по площади сопоставимые с суперконтинентами предыдущих циклов. Впоследствии они объединились в Пангею. Таким образом, общая эволюционная направленность усиления алмазоносного магматизма в истории Земли коррелируется с изменением характера суперконтинентальной цикличности, выражающейся в увеличении размеров континентальных фрагментов от цикла к циклу, а, следовательно, и в расширении общей площади для развития внутриплитного кимберлитового магматизма.

Если приведенные соображения в какой-то мере объясняют общую направленность в развитии глобального алмазоносного магматизма, то его эпизодичность, неравномерность следует прямо связать с суперконтинентальной цикличностью, со сборками и распадами суперконтинентов. Рассмотрение имеющегося богатого фактического материала по хронологии формирования кимберлитов на фоне указанной цикличности помогло обнаружить различную предрасположенность и потенциал отдельных фаз цикла к проявлению алмазоносного магматизма [1, 2]. Наиболее масштабно формирование кимберлитов и лампроитов, включая и промышленно-алмазоносные, происходило в фазы распада и сборки суперконтинентов. На стадии существования слитных суперконтинентов отмечается минимальное количество датированных кимберлитов и лампроитов, при-

уроченных практически только к ее заключительной фазе, на границе с фазой распада. При этом обнаруживается постоянство этой закономерности во времени. Она предопределяет паузы и вспышки алмазоносного магматизма в каждом суперконтинентальном цикле и создает картину общей неравномерности его проявления в геологической истории.

Итак, глобальное развитие алмазоносного магматизма характеризуется отчетливой направленностью, выражающейся в прогрессивном, но неравномерном увеличении его проявления в течение геологической истории с резким усилением в верхнем докембрии и фанерозое. Такой стиль развития во многом обусловлен эволюционными изменениями в геодинамике, оказавшими положительное влияние на формирование в мантии соответствующих расплавов. Важным фактором является суперконтинентальная цикличность, в ходе которой происходит увеличение во времени площади развития внутриплитного кимберлитового магматизма и создается неравномерность, эпизодичность его проявления.

Из сказанного следует, что для построения окончательной модели эволюции алмазоносного магматизма требуются совместные усилия петрологов и тектонистов.

Список литературы:

1. Божко Н. А. Алмазоносный магматизм в суперконтинентальных циклах // Руды и металлы. – 2019. – № 3. – С. 67–72.
2. Божко Н. А. Эволюция проявлений алмазоносного магматизма в процессе суперконтинентальной цикличности // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические и инновационно-технологические направления ее повышения» (2018, Мирный). – 2018. – С. 349–352.
3. Gurney J. J., Helmstaedt H. H., Richardson S. H., Shirey S. B. Diamonds through time // Economic Geology. – 2010. – V. 105. – P. 689–712.
4. Stern R. J., Leybourne M. I., Tsujimori T. Kimberlites and the start of plate tectonics // Geology. – 2016. – V. 44 (10). – P. 799–802.
5. Tappe S., Katie S., Torsvik T. [et al.] Geodynamics of kimberlites on a cooling Earth: Clues to plate tectonic evolution and deep volatile cycles // Earth and Planetary Science Letters. – 2018. – V. 484. – P. 1–14.

Бондаренко Н. В., Видавский В. В., Муравьев В. С., Михайлов С. Н. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЫЛЭНСКОГО РУДНОГО УЗЛА

В статье представлены результаты работы сотрудников ФГБУ «ЦНИГРИ» по объекту «Изучение вещественного состава руд и окорудных метасоматитов и разработка прогнозно-поисковых моделей золоторудных проявлений Ылэнского рудного узла (Республика Саха (Якутия))» за 2020 год и сделаны общие выводы о распространении гидротермалитов и связанном с ним золотом оруденении по данным изучения космоснимков, морфоструктурной схемы территории и газовой-жидких включений в образцах кварца.

Ключевые слова: Ылэнский рудный узел, золото, газовой-жидкие включения, кварц, морфоструктурные типы, углекислотный режим.

Ылэнский рудный узел расположен в центральной части Иньяли-Дебинского мегасинклинория в пределах Адыча-Сунтарской складчато-блоковой структурно-формационной зоны Верхояно-Колымской коллизионной области. Он находится на участке пересечения зоны Бургандин-

ского глубинного разлома, поверхностным отражением которого является полоса Антагачанских разломов с серией разрывов северо-восточного простирания.

Структурная позиция рудного поля определяется наличием крупных линейных складок: Иньяльской синклинали и Ылэнской антиклинали северо-западного простирания.

В геологическом строении Ылэнского рудного узла представлены терригенные отложения мередуйской и бурганджинской свит средней юры. По литологическим признакам мередуйская свита подразделена на три подсвиты – нижнюю, среднюю и верхнюю, причем на площади рудного поля первые две подсвиты являются нерасчлененными. Они представлены переслаиванием углеродистых аргиллитов, алевролитов и серых мелкозернистых песчаников с резким преобладанием последних. Бурганджинская свита подразделена на две подсвиты и представлена преимущественно пачками тонкого переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов.

Породы смяты в крупные линейные складки северо-западного простирания. Крылья складок осложнены структурами более высоких порядков вплоть до мелкой плейчатости. Углы падения крыльев складок составляют 40–70°. Складчатые структуры осложнены многочисленными разрывными нарушениями различной ориентировки. Разрывы северо-западного простирания, составляющие зону Бурганджинского регионального разлома, субсогласны с простиранием складчатых структур и представлены серией сближенных, кулисообразно сочленяющихся сбросов и взбросо-сдвигов. Протяженность разрывов достигает первых десятков километров, 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 до десяти метров. По простиранию жилы прослеживаются на 20–30 м, протяженность прожилковых зон достигает первых километров.

Разрывы меридионального простирания характеризуются плохой выраженностью на местности и на аэрофотоснимках, прослеживаются фрагментарно. Протяженность их не более 2–3 км, а амплитуды вертикального смещения – не более первых десятков метров.

В западной части рудного поля к разрывам этого направления приурочены дайки кислого и среднего состава юрского возраста. Золоторудной минерализации в разрывах этого направления не установлено, иногда отмечается кварцевая и хлорит-кварцевая минерализация.

Дайки прорывают терригенные отложения средней юры, слабо метаморфизуют их (в зоне экзоконтакта фиксируются незначительные зоны (~ 0,5 м) контактово-метаморфических изменений хлорит-мусковит-серицитового состава) и предположительно отнесены к интрузивным образованиям позднеюрского возраста.

Для выполнения комплексного анализа данных ДЗЗ по Ылэнскому рудному узлу были выбраны космические снимки категории относительно высокого разрешения космической программы Copernicus (проект GMES) Европейского космического агентства (ESA). Оптико-электронная аппаратура MSI, установленная на борту серий спутников Sentinel-2, имеет 12 спектральных каналов в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне с пространственным разрешением 10 и 20 м соответственно и временным диапазоном съемки пять дней.

На регион интереса был подобран космический снимок по состоянию местности на 2019 г. из HTTP-репозитория ESA SciHub. Предварительная обработка КС произведена в программном продукте SNAP (Sentinel Application Platform) – с уровня L1C до уровня L2A при помощи модуля Sen2Cor: радиометрическая коррекция, атмосферная коррекция (алгоритм libRadtran), поправка за рельеф.

Для потенциального получения максимального количества геологической информации из растрового изображения в программном комплексе ENVI 5.3 была проведена последующая обработка космического снимка следующими методами: соотношение каналов (band ratios), метод главных компонент (Principal component analysis, PCA) [4]; декорреляционное растяжение (Decorrelation stretch) [6]; метод спектрального угла (Spectral angle mapper, SAM) [7].

Для проведения морфоструктурного анализа поверхности региона была использована сверхдетальная цифровая модель рельефа ArcticDEM на основе данных Полярного геопространственного центра Университета Миннесоты на циркумполярные регионы, уточненная до 2-м разрешения и обработанная в ПК ArcGIS Pro 2.4 [5]. Для линеаментного анализа использо-

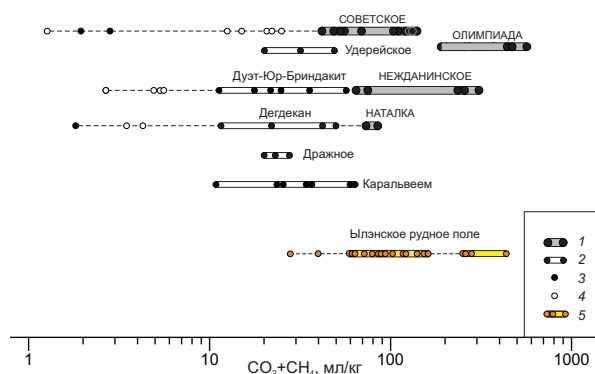


Рис. 1. Сравнение содержаний углекислоты и метана в образцах кварца из углеродисто-терригенных толщ различных месторождений и золоторудных объектов Ылэнского рудного узла (по данным валового анализа включений методом газовой хроматографии):

месторождения: 1 – крупные, 2 – средние, 3 – мелкие; 4 – кварц за пределами месторождений; 5 – кварц из объектов Ылэнского рудного узла (желтым выделена продуктивная ассоциация)

вался модуль LINE ПО PCI Geomatica, который извлекает линейные объекты из изображения и записывает полилинии в векторном слое.

На основе дешифрирования космоснимков и обработки данных геоморфологических маршрутов была создана морфоструктурная схема Ылэнского рудного узла масштаба 1:25 000.

В ходе исследований были выделены элементы геоморфологического строения территории узла: поднятия, склоновый и долинный рельефы. Отличительной чертой всех типов рельефа является его денудационная природа, то есть геоморфологическое развитие территории по своей сути является динамическо-денудационным.

В итоге в пределах Ылэнского рудного узла разные генетические типы рыхлых отложений формируются в различных ландшафтных обстановках, для которых условия формирования определяют степень информативности осадков при некоторых видах опробования: литохимического по ВОР, шлихо-минералогического, сколкового и др. Таким образом, морфологическую схему Ылэнского рудного узла возможно использовать для определения условий проведения различных видов опробования рыхлых отложений, предусмотренных проектом.

Таким образом, характеристика морфоструктур на основе данных КС и геологических наблюдений позволила выделить на изучаемой территории различные виды гидротермалитов; для оценки взаимосвязи их с золотым оруденением исследовался их вещественный состав. В настоящее время получены предварительные результаты термобарогеохимических и минералогических (нахождение самородного золота в минералогических и шлиховых пробах) исследований.

Ряд исследователей отмечает [1, 2], что практически все крупнейшие месторождения России охарактеризованы с термобарогеохимической точки зрения. Для рудообразующих флюидов установлены весьма широкие вариации концентраций основных катионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) и анионов (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}), что свидетельствует о способности растворов любого солевого состава к эффективному транспорту золота в составе гидросульфидных комплексов.

Рудоносный углекислотно-метановый флюид в процессе долговременной фильтрации на фоне тектонических подвижек накапливается в кварце в виде первичных и вторичных газовых включений. К обширным ореолам развития таких включений в углеродисто-терригенных комплексах приурочено большинство крупных золоторудных месторождений (рис. 1), что определяет большое прогнозно-поисковое значение этих своеобразных газогеохимических аномалий. Сравнение результатов исследований методом газовой хроматографии газово-жидких включений из образцов кварца Ылэнского рудного узла с эталонными объектами показывает сходство их флюидного режима с таковым при формировании рудных объектов Советское и Олимпиада, а также частично Нежданнинское, для которых характерно развитие в основном золото-сульфидного оруденения пиритового и пирит-арсенопиритового типов, с незначительным объемом свободного золота в жильно-прожилковых зонах.

Помимо газовой составляющей, важным параметром для процессов рудогенеза Ылэнского рудного узла является насыщенность флюида водой, необходимой для метасоматического изменения вмещающих пород. Очевидно, что при схожей проницаемости пород более насыщенная флюидная масса обеспечивает большее давление газовой фазы на вмещающие породы, что является благоприятным фактором для повышения степени метасоматической проработки вмещаю-

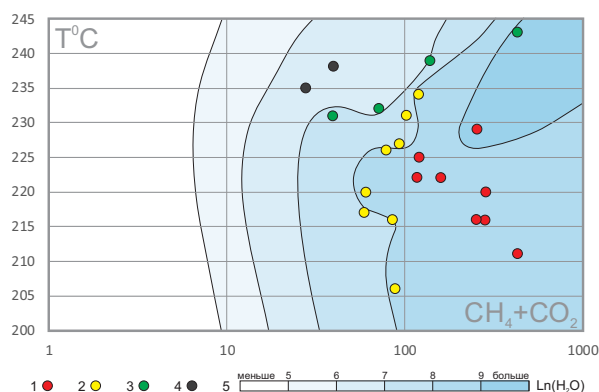


Рис. 2. Зависимость насыщенности водой газозо-жидких включений в образцах кварца из золоторудных объектов Ылэнского рудного узла (по данным валового анализа включений методом газовой хроматографии и термолюминесцентного анализа):

кварц: 1 – высокопродуктивный, 2 – продуктивный, 3, 4 – непродуктивный; 5 – содержание воды во включениях (LnCH_2O)

щих пород, а следовательно, и осаждению ряда катионов, в частности, золота [3].

Из диаграмм следует, что наиболее продуктивная ассоциация отвечает высоководному водо- (CH_2O) и газонасыщенному (CH_4+CO_2) флюиду в диапазонах температур 200–235 °C (рис. 2).

Таким образом, для выявленной при помощи дистанционной основы рудной зоны в пределах Ылэнского рудного узла проведена оценка физико-химических параметров рудоносного флюида. Поскольку отмечается схожесть флюидных режимов при формировании включений в кварце Ылэнского рудного узла с таковыми на объектах Советское, Олимпиада и Нежданинское, то, скорее всего, и физико-химические условия рудогенеза были аналогичны.

Список литературы:

1. Бортников Н. С. Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология рудных месторождений. – 2006. – Т. 48, № 1. – С. 3–28.
2. Бортников Н. С., Гамянин Г. Н., Викентьева О. В., Прокофьев В. Ю., Алпатов В. А., Бахарев А. Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданинского золоторудного месторождения // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, № 2. – С. 99–145.
3. Кряжев С. Г. Флюидный режим формирования золоторудных месторождений в углеродистотерригенных комплексах // Материалы XVIII Всероссийской конференции по термобарогеохимии, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Ю. А. Долгова. – М. : Изд-во Первого МГМУ, 2018. – С. 71–73.
4. Померанцев А. Метод главных компонент (PCA) // Российское хеометрическое общество. – URL: <http://rcs.chemometrics.ru/Tutorials/pca.htm> (дата обращения: 23.12.2019).
5. Сверхдетальные модели рельефа на полярные области Земли: выжимаем сок из уникальных данных // Esri CIS Блоги. – URL: <https://blogs.esri-cis.ru/2019/02/26/сверхдетальные-модели-рельефа-на-пол/> (дата обращения: 23.12.2019).
6. Decorrelation Stretch // Harris Geospatial Solutions. – URL: <https://www.harrisgeospatial.com/docs/DecorrelationStretch.html> (дата обращения: 23.12.2019).
7. Spectral Angle Mapper // Harris Geospatial Solutions. – URL: <https://www.harrisgeospatial.com/docs/SpectralAngleMapper.html> (дата обращения: 23.12.2019).

СОВРЕМЕННАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗАПАДНОГО ВЕРХОЯНЬЯ (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

В Западное Верхоянье активно инвестируются средства для проведения ГРП. Металлогения Западного Верхоянья и прилегающего Куларо-Нерского пояса определяется серебряным и золотым типами минерализации. На основе обновленного кадастра полезных ископаемых и геофизических данных выполнена интерпретация металлогенического потенциала региона на глубину до 10–12 км. Выделенные локальные магнитные и гравитационные аномалии обоснованы как потенциальные рудно-магматические узлы.

Ключевые слова: Восточная Якутия, Западное Верхоянье, металлогения, золото, серебро, ГИС.

Металлогеническое районирование на основе ГИС технологий. В основу районирования положена идея о том, что рудные узлы состоят из месторождений, которые в пространстве образуют непрерывный ряд рудных формаций. Наличие одной из формаций ряда позволяет прогнозировать остальные. Рудные узлы выделяются средствами модуля Spatial Analyst (плотность точек) по компактному расположению месторождений, рудопроявлений и точек минерализации (более 10 000). Полученная карта отражает плотность распределения месторождений полезных ископаемых и может интерпретироваться как схема расположения рудных узлов. Выделенные рудные узлы по ассоциации с другими геологическими проявлениями подразделяются на несколько категорий: на периферии плутонов; в контурах роговиков; в контурах роев даек; над изометричными геофизическими аномалиями; без ассоциации с чем-либо.

Геофизические данные. Гравиметрические и топографические данные были получены из открытого источника радарных космических съемок [8]. Магнитометрические данные были получены из «Единой цифровой модели комплектов» Государственных геологических карт РФ м-ба 1:1 000 000 [2–6]. Анализ геофизических полей проводился по их цифровым моделям в программном пакете Coskad-3D и Golden Software Surfer 16.

Металлогеническое районирование территории проведено по особенностям строения геофизических полей на глубинных срезах и ассоциирующих главных видов минерального сырья региона – серебра и золота.

Особенность *магнитного поля* характеризуется несложным и контрастным строением. Положительное аномальное магнитное поле северо-западного простирания фиксирует западную часть зоны дуплекс-антиклинориев, ограничиваясь на западе по границе сочленения Верхоянского складчато-надвигового пояса с Приверхоянским прогибом [3]. В центральной части зоны дуплекс-антиклинориев на фоне общего положительного слабоконтрастного поля выделяются крупные аномальные зоны, связанные с нескрытыми интрузиями, тяготеющие к осевой части Верхоянского мегантиклинория. Зона хинтерланда ВСНП характеризуется слабоотрицательным магнитным полем.

Цифровая модель магнитного поля указывает на значительные изменения в вертикальных срезах. *Положительная магнитная аномалия с глубиной смещается на восток, при сохранении ее общего северо-западного простирания.* На глубинах 10–12 км положение аномального магнитного поля почти соответствует положению Адыча-Тарынской зоны разломов, демонстрируя взаимосвязь тектономагматических процессов для фронтальной и тыловой зон Верхоянского СНП. Максимальная интенсивность магнитного поля отвечает глубинам 2–3 км. С глубиной до 10–12 км интенсивность постепенно падает, а магнитное поле образует локальные повышения напряженности. Это объясняется возникновением локального режима растяжения в ходе формирования Верхоянского СНП, при котором возникали мегатрещины отрыва, а их достаточно большая глубина проникновения вызвала декомпрессионное плавление земной коры. Низкий температурный градиент определил образование среднетемпературной маловязкой гранитной магмы. Это обусловило достаточно высокую подъемную силу для перемещения магмы в верхние слои осадочного чехла. При кристаллизации в гипабиссальных условиях на глубинах около 2 км бы-

ли сформированы интрузивные тела и дайки лейкогранитовой формации третьей фазы позднеюрского–раннемелового интрузивного комплекса [1, 7] Таким образом, характер магнитного поля и его напряженность подчеркивают гипабиссальные условия формирования структурно-вещественных комплексов региона.

Гравитационное поле в основном отрицательное с напряженностью ниже 50 мГал. Цифровая модель гравиметрического поля подчеркивает взаимосвязь Яно-Индибирского мегасинклинория с Куларским антиклинорием, Сартангским синклинорием и Бытантайским поднятием. *Различные глубинные срезы* смоделированного прогнозного трехмерного куба гравитационного поля в редукции Буге ($b = 2,3 \text{ г/см}^3$ и $2,67 \text{ г/см}^3$) выявляют устойчивые зоны гравитационных *тах* (Хунхадинский) и *мин* (Эчийский, Тумаринский, Бетендыно-Чибагалахский), а также Нельгесинскую зону слабоинтенсивных отрицательных аномалий. Хунхадинская зона *тах* в основном обусловлена приподнятым блоком слабомагнитного кристаллического фундамента и поднятием в карбонатной нижнепалеозойской толще. Зоны *мин* обусловлены прогибом поверхности фундамента и влиянием батолитов кислого состава.

Таким образом, металлогенический профиль Западного Верхоянья определяют рудоматеринские осадочные комплексы с преимущественно благороднометалльно-полиметаллической специализацией. Магматические процессы привнесли свою металлогеническую нагрузку и мобилизовали металлы из терригенных пород карбона и перми. Размещение проявлений и месторождений на различных глубинных срезах смоделированного прогнозного трехмерного куба гравитационных и магнитных полей масштаба 1 : 1 000 000 свидетельствует, что золоторудные и золотосеребряные объекты территории расположены в пределах надинтрузивных зон нескрытых гранитоидных массивов (месторождения Аркачан, Чочимбал, Кысылтас и др.).

Мы предполагаем, что за смещением положительной магнитной аномалии с глубиной на восток, при сохранении ее общего северо-западного простирания, смещаются и уровни локализации серебряного оруденения (месторождения Прогноз, Заря, Восточное, Сюрприз и др.). Сереброрудные узлы становятся менее эродированными, а их прогнозные ресурсы более значительными. Исчезновение с современного эрозионного среза месторождений серебра в районе Адыча-Тарынской металлогенической зоны обусловлено смещением их локализации вместе с благоприятными значениями аномалии магнитного поля до глубины 10–12 км.

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы:

1. Бондаренко Н. В., Иванов М. А., Верчеба А. А. [и др.] Особенности формирования золотого оруденения Адыча-Тарынской рудной зоны // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 1.
2. Герцева М. В., Борисова Т. П., Чибисова Е. Д. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист R-52. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2016.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист Q-52. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2008.
4. Казакова Г. Г., Васькин А. Ф., Кропачев А. П. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист P-54. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2013.
5. Протопопов Г. Х., Трущелев А. М., Кузнецов Ю. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист Q-54. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2019.
6. Протопопов Р. И., Трущелев А. М., Протопопов Г. Х. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист Q-53. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2016.
7. Шарков Е. В., Цветков А. А. Магматические серии и геодинамические режимы океанов и континентов // Океанический магматизм – эволюция, геологическая корреляция. – М. : Наука, 1986.
8. Extract topography or gravity data from global 1-minute grids in ASCII XYZ-format. Latitude range is +/- 80.738. Topography is V19.1 and Gravity is V28.1. – URL: https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СВИНЦА И ЦИНКА В ЮГО-ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ В СВЯЗИ С ВЫЯВЛЕНИЕМ НОВОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Первые сведения о находке серебрясодержащих свинцовых руд в Забайкалье относятся к 60-ым гг. XVII века. Добыча начата с 1676 г. и велась до 1820–1850-х гг.

Начиная с 1947 г. начат второй этап изучения известных месторождений. С 1951 г. начато строительство рудников Нерчинского комбината с максимальной годовой производительностью 400–500 тыс. т руды в год. Добыча руды и производство флотоконцентратов продолжалось до начала 1990-х гг.

Минерально-сырьевая база Забайкальского края на момент завершения добычи включала в себя 16 мелких и одно среднее по масштабу Новоширокинские месторождение с богатыми по качеству рудами месторождений с суммарными запасами категорий $B + C_1 + C_2$: свинец – 450 тыс. т; цинк – 460 тыс. т; серебра – 617 т.

Суммарные прогнозные ресурсы категории $P_1 + P_2$ по свинцу и цинку не превышали 100 тыс. т.

Большая часть известных месторождений полиметаллических руд локализована в сланцево-известковисто-доломитовых толщах верхнепротерозойского–кембрийского возраста и имеет линзо-трубообразную, жилообразную морфологию рудных тел, залегающих субсогласно с напластованием пород. Меньшая часть месторождений приурочена к вулканогенно-осадочным породам верхней и средней юры, морфология тел – секущие жилы.

По минеральному составу руды относятся к галенит-сфалеритовым, различаясь набором и количественным соотношением основных и попутных (пирит, арсенопирит, Sb, Bi, Ag, Au) минералов и компонентов.

Таким образом, современное состояние МСБ полиметаллов свидетельствует о том, что прогнозный потенциал юго-востока Забайкалья на выявление новых инвестиционно привлекательных объектов мал, и промышленный интерес представляет только подготовленное к эксплуатации Новоширокинское месторождение.

Третий этап ГРП на полиметаллическое оруденение был начат в 2007 г. с поисково-оценочных работ на рудопроявлении Нойон-Тологой.

После разведочных работ, проводимых с 2007 по 2017 г., стало очевидно, что выявлен объект нового для Забайкалья геолого-промышленного типа, запасы которого превышают суммарные запасы всех полиметаллических месторождений края и оцениваются в > 90 млн т руды ($B + C_1 + C_2$), прогнозные ресурсы > 30 млн т. Под открытую отработку – 52 млн т руды.

Стало очевидно, что ресурсный потенциал Забайкальского края на выявление средних и даже крупных полиметаллических месторождений далеко не исчерпан и связан в основном с выявлением скрытого оруденения Нойон-Тологовского типа.

В геолого-структурном плане месторождение приурочено к Мулинской вулcano-тектонической структуре и локализовано в пределах Еланской грабенообразной структуры в узле ее пересечения с крупными разломами северо-западного направления.

Рудные тела локализованы в пределах пологопадающих срывов, развитых по литологическим границам пород, в связи с чем преобладают пластовые рудные залежи в узлах пересечения с крутопадающими разломами, формируются пологие штокверки.

Вмещающие оруденение породы – вулканиты, в меньшей степени терригенные отложения. Оруденение скрытое.

Протяженность пластообразных залежей по простиранию 200–2500 м, по падению прослеживаются до 700 м. Мощность рудных интервалов от 0,5 до 30 м.

Штокверкоподобные залежи имеют протяженность 500–600 м. Штокверки представлены серией сближенных плащеобразных залежей, нередко сливающихся в единое рудное тело мощностью 100–170 м.

Месторождение по сложности геологического строения отнесено к группе II.

Площадь месторождения – 10 км².

Рудные тела сложены сульфидными прожилково-вкрапленными рудами. Выделение рудных пересечений осуществляется исключительно по данным опробования.

Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, галенит; второстепенные – арсенопирит, буланжерит, марказит, халькопирит, пирротин.

Околорудные изменения представлены кварц-серицит-сульфидными метасоматитами и наложенными на них более поздними кварц-гидрослюдистыми и каолиновыми процессами.

К критериям и признакам относятся:

- Наличие сложнопостроенной вулcano-тектонической структуры, характеризующейся развитием переслаиваемой толщи различных по физико-механическим свойствам терригенно-осадочных и вулканогенных образований средне- и верхнемезозойского возраста;
- Проявленность позднемезозойской тектоно-магматической активизации, выраженной в развитии секущих и послойных даек андезибазальтов, долеритов, внедрением субвулканических даек и относительно крупных силлообразных тел сиенито-диорит-порфиров;
- Приуроченность прогнозируемого оруденения к структурным узлам, характеризующимся сочетанием разнонаправленных крутопадающих активизированных глубинных разломов; наличием надвиговых структур;
- Наличие полиметаллической минерализации (рудопроявления, точки минерализации, геохимические ореолы в зависимости от степени изученности) в породах фундамента;
- Наличие мелких рудных тел, выходящих на поверхность и локализованных в большинстве случаев в крутопадающих разломах;
- Сопровождение рудных тел широкими ореолами (первые десятки метров) гидротермально измененных пород. Гидротермальные изменения как дорудные (биотит-серицитовые, кварц-гидрослюдистые), так и рудные (кварц-кальцит-сульфидные);
- Сопровождение золото-полиметаллического оруденения как линейными, так и площадными аномалиями Ag, Pb, Zn, As, Bi, установленными геохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния;
- В геофизических полях для таких объектов характерны площадные аномалии ВП, отрицательные аномалии СП. В разрезе наиболее рудонасыщенные участки отчетливо картируются аномалиями СП и ВП, а рудные тела приурочены к участкам наложения их границ.

Согласно модели колчеданно-полиметаллических месторождений, в осадочно-вулканогенных породах рудовмещающей (возможно и рудогенерирующей) является средне-позднеюрская вулканогенно-кремнисто-терригенная геологическая формация с преобладанием вулканогенных отложений.

Вулканогенный разрез характеризуется преобладанием основных и средних вулканитов, породы кислого состава наблюдаются в резко подчиненном количестве.

Проведенные прогнозно-минералогические построения на основе разработанной геологической модели и поисковых критериев и признаков, заверенные отдельными профильными исследованиями и бурением опорных поисковых скважин, позволили выделить несколько перспективных структур, ранжировать их по перспективности.

В результате поисковых работ на выделенных перспективных площадях выявлены новые объекты с прогнозными ресурсами:

- Талман: свинец – 256 тыс. т, цинк – 259 тыс. т, серебро – 1018 т, золото – 10 т;
- Кодак: свинец – 182 тыс. т, цинк – 13 тыс. т, медь – 24 тыс. т, серебро – 768 т, золото – 9 т;
- Чашинское: свинец – 84 тыс. т, цинк – 209 тыс. т, сурьма – 42 тыс. т, серебро – 81 т.

Дальнейшие работы связаны с опосредованным Мулинской, Чашинской, Маньковской, Клинской, Буровской площадей, по которым получена дополнительная геологическая информация, свидетельствующая о значительных перспективах на выявление скрытого «стратифицированного» полиметаллического оруденения.

Проведенные в последние годы геологоразведочные работы позволили в значительной степени укрепить прогнозный потенциал юго-восточной части Забайкальского края, что повлекло за собой увеличение не только МСБ (запасов), но и добычи полиметаллических руд, развитие инфраструктуры, которая активизировала деятельность по лицензированию средних и мелких месторождений и дальнейшему развитию точек экономического роста.

КОЛЧЕДАНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ УРАЛА

Большинство эндогенных рудных месторождений Урала находится в Тагильской и Магнитогорской зонах (золоторудные – так же и в Восточно-Уральской зоне), а крупнейшие по запасам объекты возникли в связи с эволюцией магматизма мантийной природы, обусловленного режимами юной (колчеданные, титаномагнетитовые, хромитовые) и зрелой (порфировые, скарновые) островной дуги, а также главной С/Р коллизией (золото-кварц-сульфидные месторождения). Приведена типизация и описаны региональный и контактовый типы метаморфизма колчеданных месторождений.

Ключевые слова: металлогения, колчеданные месторождения, природа гидротермальных растворов, магматический флюид, метаморфизм руд.

Основоположники металлогенического анализа, прежде всего, И. Ф. Григорьев [15] и С. С. Смирнов и следующие по их стопам Ю. А. Билибин, А. Д. Щеглов, Е. А. Радкевич, И. Н. Томсон, Д. В. Рундквист, А. А. Сидоров, имея колоссальный опыт работы в самых разных провинциях СССР, показали важное значение рудноформационных обобщений в работах регионального уровня. Фокус этих работ в последние годы сосредоточен на восточных территориях России – юге Сибири, Дальнем Востоке и Северо-Востоке. Урал, потенциал роста ресурсов которого кажется исчерпанным, почти забыт геологами-металлогенистами, что незаслуженно. Намечается доминирование (в англоязычных изданиях) статей зарубежных авторов, что вообще недопустимо, учитывая уровень изученности Урала советской и российской геологией. Работа в рамках ГДП-200, ГДП-1000, а также региональных проектов типа «Урал Промышленный – Урал Полярный», от которых зачастую отстранены уральские геологи, проводится временами формально, выражаясь в добавлении к геокартам советского времени, по сути, вполне надежным, немногочисленных результатов, полученных тонкими изотопно-геохимическими и петрогеохимическими методами. Последние не могут быть востребованы в полной мере в силу отсутствия точных привязок (подробных петрографических описаний образцов) деталей методов, а также полно представленных новых результатов измерений.

Отработка рудных месторождений, во многих случаях быстрая и полная, а также ликвидация системы долговременного хранения керна делают невозможным возвращение к их исследованию с применением новых методических возможностей. В этих условиях результаты изучения рудных объектов, включая и Урал, становятся все более поверхностными и мозаичными. Имея опыт работы в большинстве рудных районов провинции, автор анализирует современные подходы к металлогении Урала. Внимание акцентировано на двух наиболее типичных для Урала группах месторождений – колчеданных и золоторудных, представленных десятками объектов, включая особо крупные и уникальные.

Уральский ороген является одним из крупнейших рудных поясов в мире. Большинство эндогенных рудных месторождений находится в Главном зеленокаменном поясе – Тагильской и Магнитогорской зонах, в основном к востоку от Главного Уральского разлома, а наиболее крупные золотые – в Восточно-Уральской зоне. В целом для Урала крупнейшие по запасам рудные месторождения возникли в связи с эволюцией энсиматического (мантийной природы) магматизма, обусловленного режимами юной (колчеданные, титаномагнетитовые, хромитовые) и зрелой (порфировые, скарновые) островной дуги, а также проявленного в образовании пояса гранит-тоналитовых плутонов, которые формировались во время главной С/Р коллизии (золото-кварц-сульфидные жильные месторождения). В данной публикации обратимся к колчеданным месторождениям.

Природа процессов их формирования и особенно происхождение рудообразующих гидротермальных растворов до настоящего времени являются предметом дискуссии. Наряду с господствующей точкой зрения о происхождении последних из морской воды есть данные, прежде всего изотопные (Sr, H, O, C), об их смешанной или преобладающей глубинной природе [4, 5]. Варьирующий, местами заметный вклад мантийной компоненты (DMM-A и EM I) обнаруживает свинец галенита колчеданных руд Урала [23].

На Урале колчеданные месторождения в основном локализованы на двух стратиграфических уровнях островодужного и задугового риолит-базальтового вулканизма [13]: силурийском (O_3-S) и девонском (D_1e-D_2gv) в пространственно разобщенных структурах. Первые – в основном в Тагильской синформе, а вторые – в Магнитогорской. Преимущественным развитием пользуются Cu-Zn месторождения *уральского* типа, в рудах которых $Cu \geq Zn$ (Гайское, Юбилейное и др.) или же $Zn > Cu$ (Учалинское, Узельгинское и др.). Мелкими являются колчеданно-полиметаллические месторождения (Cu-Zn-Pb-Au-баритовые), приближающиеся к типу *Кууроко*, в том числе золото-полиметаллические Баймакского района (Южный Урал), а также Cu-Co месторождения (близки *кипрскому* типу).

Судя по давлениям в 0,5–1 кбар (по флюидным включениям), на части из месторождений (включая самые крупные объекты) образование основной массы руд шло существенно ниже морского дна при преобладающей роли **магматического флюида** [1, 5, 12]. Исследованиями расплавных включений и флюидных включений магматической воды во вкрапленниках кварца кислых вулканитов флангов месторождений Узельгинского рудного поля высокоточным локальным методом масс-спектрометрии с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) установлена высокая насыщенность металлами первичного магматического флюида и магматического расплава [7]. Магматический флюид содержит повышенные концентрации (в г/т): В – 40–2000, Cu – 300–3700, Zn – 80–3400, Pb – 14–1000, Ba – 20–2200, Sn – 4–1600, Au – 4–8 и Ag – 4–11. Стекло расплавных включений также оказалось насыщенным металлами (в г/т): Cu – 1100, Zn – 1400, Ag – 40, Au – 1,3.

В колчеданных полях Урала практически все месторождения испытали **региональный метаморфизм** пренит-пумпеллиитовой, реже зеленосланцевой, изредка эпидот-амфиболитовой фаций. Первым о заметной роли динамического метаморфизма в преобразовании колчеданных залежей высказался А. Н. Заварицкий в 1936 г. [9]. Признаки такого метаморфизма описаны в [10, 11, 18, 24, 25]. При динамометаморфизме идет преобразование как морфологии рудных залежей, так и самих руд. Руды легко перекристаллизуются, испытывают пластическое течение и порфиروبластез [11, 17, 20, 21, 25]. Проблема метаморфической регенерации, как и контактового метаморфизма колчеданных залежей Урала, менее разработана [3, 22, 27]. Условия отложения метаморфических ассоциаций рудных и нерудных минералов оценены лишь местами [3, 5, 6, 16]. Для крутопадающих тел не до конца ясна природа современной вертикальной зональности, аналогичной пологим залежам, где вертикальная зональность совпадает с поперечной. Согласно [2, 14], она метаморфогенная, т. е. результат перераспределения металлов ранее образованных залежей медно-цинковых руд в процессе складкообразования. По мнению Л. Н. Овчинникова и А. Г. Жабина [17], зональность крутопадающих залежей – вторичная метасоматическая, наложенная на сингенетичные, прежде пологолежащие линзы серноколчеданных руд («протопириты»); природа зональности пологих залежей этими авторами считалась аналогичной вертикальным, т. е. вторичной.

На большинстве крупных колчеданных месторождений Южного Урала (Гай, Учалинское, Ново-Учалинское, Сибайское) отмечаются признаки наложенного динамометаморфизма вплоть до появления гнейсовидных текстур и признаков пластического течения сульфидов [18, 19, 24, 26, 27]. Метаморфическое преобразование колчеданных тел с локальным перераспределением химических элементов с обогащением Cu, Zn и Au их верхних выклинок (по восстанию крутопадающих линз) показано для месторождений Тагильской мегазоны, а для месторождений Южного Урала примеры единичны [2, 22, 27].

Слабопреобразованные (цеолитовая фация) залежи сохранились в аллохтонах вне главной зеленокаменной полосы Урала (Сафьяновское, объекты Медногорского района). Возраст метаморфизма отвечает нескольким фазам герцинского орогенеза в районе 380–360 и 320–240 млн лет назад с основным пиком 300–295 млн лет. Большинство крупных месторождений характеризуется крутыми и субвертикальными псевдомоноклинальными структурами. Часть их лежит в зонах смятия (Дегтярское, Сан-Донато на Среднем Урале), другие – вне их, будучи локализованными в слабометаморфизованных толщах (Гай, Учалы, Новые Учалы, Сибай на Южном Урале), но залежи также являются крутопадающими (Сибай) или субвертикальными (все прочие).

На сильнопреобразованных месторождениях, в отличие от слабопреобразованных, помимо резкого изменения морфологии рудных тел (плито- и линзообразные тела варьирующей мощности с раздувами и пережимами), происходит большее изменение текстурно-структурных харак-

теристик и резко возрастает роль сплошных руд. Метаморфизм сопровождается перекристаллизацией и переотложением синвулканических сульфидов, укрупнением их агрегатов. Типичными признаками метаморфизма являются полосчатые и гнейсовидные текстуры руд, характерные для приконтактных зон крупных линз сплошных сульфидных руд. Образуются пирротин, магнетит, локально – борнит; появляются редкие минералы Au, Ag, As, Sb, Sn, Ge, Bi, Te, Se, Co, а также Ga-хлорит, Zn-шпинель и цельзиан, укрупняется самородное золото. Близкие минералогические признаки свойственны следующей группе месторождений.

В связи со становлением гранитоидов проявились процессы **контактового метаморфизма**: на месторождениях Красноуральского и Кабанского рудных полей (Средний Урал), Тарньер (Северный Урал), Таш-Яр (Южный Урал), им. 50-летия Октября и Весеннее (Северные Мугоджары), достигая амфиболитовой фации. В сульфидных агрегатах проявлены не характерные для первичных колчеданных руд структуры, маркирующие процессы перекристаллизации рудного вещества вплоть до его частичного плавления: пегматоидная, графическая, симплектитовая, порфиروбластовая.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 18-05-70041 и 20-05-00849.

Список литературы:

1. Амплиева Е. Е., Викентьев И. В., Карпухина В. С., Бортников Н. С. Роль магматогенного флюида в формировании Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения, Ю. Урал // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 423, № 4. – С. 516–519.
2. Баранов Э. Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. – М. : Наука, 1987. – 296 с.
3. Белогуб Е. В., Молошаг В. П., Новоселов К. А., Котляров В. А. Самородный висмут, цумоит и свинцовистая разновидность цумоита из Тарньерского медно-цинково-колчеданного месторождения (Северный Урал) // Записки Российского минералогического общества. – 2010. – Т. 139, № 6. – С. 82–92.
4. Бобохов А. С., Горожанин В. М., Кузьмин С. А. Стронциево-изотопные данные для кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория Южного Урала. – Уфа : БНЦ УрО АН СССР, 1989. – 24 с.
5. Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М. : Научный мир, 2004. – 340 с.
6. Викентьев И. В., Карпухина В. С., Носик Л. П., Еремин Н. И. Условия формирования цинково-колчеданного месторождения Таш-Яр, Южный Урал // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 428, № 5. – С. 633–636.
7. Викентьев И. В., Борисова А. Ю., Карпухина В. С., Наумов В. Б., Рябчиков И. Д. Прямые данные о рудоносности кислых магм Узельгинского рудного поля (Южный Урал, Россия) // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 443, № 3. – С. 347–351.
8. Воробьев Ю. К. Руды Сибая как отражение процесса кристаллизации минералов в вязкой среде // Записки Всероссийского минералогического общества. – 1995. – Ч. СХХIV, № 1. – С. 52–62.
9. Заварицкий А. Н. Колчеданное месторождение Блява на Южном Урале и колчеданные залежи Урала вообще // Труды ГИН АН СССР. – 1936. – № 5. – С. 26–66.
10. Заварицкий А. Н. Некоторые основные вопросы геологии Урала // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1941. – № 3. – С. 36–111.
11. Иванов С. Н. Метаморфизм уральских колчеданных месторождений // Советская геология. – 1939. – № 2. – С. 46–56.
12. Карпухина В. С., Наумов В. Б., Викентьев И. В. Генезис колчеданных месторождений Верхнеуральского рудного района (Южный Урал, Россия): свидетельства магматического вклада металлов и флюида // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 2. – С. 145–165.
13. Контарь Е. С. Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы) : научная монография. – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2013. – 199 с.

14. Кривцов А. И., Гераков А. Н., Шишаков В. Б. Рудная и метасоматическая зональность колчеданных месторождений Урала. – М. : ВИЭМС, 1979. – 47 с.
15. Лаверов Н. П., Бортников Н. С., Викентьев И. В., Сафонов Ю. Г., Рундквист Д. В. Знатор геологии рудных месторождений. К 125-летию со дня рождения академика Иосифа Федоровича Григорьева // Геология рудных месторождений. – 2016. – Т. 58, № 5. – С. 497–500.
16. Медноколчеданные месторождения Урала: условия формирования / Прокин В. А., Серавкин И. Б., Буслаев Ф. П. [и др.] – Екатеринбург : Наука, 1992. – 308 с.
17. Овчинников Л. Н., Жабин А. Г. Геохимические условия рудоотложения в гетерогенных колчеданных месторождениях // Проблемы геохимии эндогенных процессов. – Новосибирск : Наука, 1977. – С. 130–145.
18. Пшеничный Г. Н. Текстуры и структуры руд месторождений колчеданной формации Южного Урала. – М. : Наука, 1984. – 208 с.
19. Ракчеев А. Д. Метаморфизм пород зеленокаменной полосы и его отношение к колчеданному и медно-цинковому оруденениям в районе Южного Кузнецкихинского месторождения на Среднем Урале // Советская геология. – 1956. – № 51. – С. 189–238.
20. Сафина Н. П., Масленников В. В., Масленникова С. П., Котляров В. А., Данюшевский Л. В., Ларж Р. Р., Блинов И. А. Полосчатые сульфидно-магнетитовые руды Маукского медноколчеданного месторождения (Средний Урал): состав и генезис // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 3. – С. 221–238.
21. Система геологических наблюдений при прогнозе и поисках месторождений колчеданных руд / под ред. М. Б. Бородаевской, Д. И. Горжевского, Г. В. Ручкина. – М. : ЦНИГРИ, 1992. – 225 с.
22. Сначёв В. И., Рыкус М. В. Контактново-метаморфические преобразования Таш-Ярского колчеданно-полиметаллического месторождения (Южный Урал) // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18, № 3. – С. 6–14.
23. Чернышев И. В., Викентьев И. В., Чугаев А. В., Шатагин К. Н., Молошаг В. П. Источники вещества колчеданных месторождений Урала по результатам высокоточного MC-ICP-MS изотопного анализа свинца галенитов // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 418, № 4. – С. 530–535.
24. Шадлун Т. Н. Особенности минералогического состава, структур и текстур руд некоторых колчеданных месторождений Урала // Колчеданные месторождения Урала. – М. : АН СССР, 1950. – С. 117–147.
25. Ярош П. Я. Диагенез и метаморфизм колчеданных руд на Урале. – М. : Наука, 1973. – 226 с.
26. Prokin V. A., Buslaev F. P. Massive copper–zinc sulphide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. – 1999. – V. 14. – P. 1–69.
27. Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 85. – P. 30–63.

Волков А. В., Галямов А. Л., Савчук Ю. С. (ФГБУН ИГЕМ РАН)

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ В МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Применение космических технологий имеет большое значение для прогнозирования новых месторождений стратегических металлов в отдаленных слабоизученных районах Арктической зоны России. Полученные космическим аппаратом GOCE гравиметрические данные стимулировали развитие глобальных моделей глубинного строения земной коры и верхней мантии (далее глобальных моделей), способствовавших пониманию металлогенической специализации рудных районов. Рассмотрены несколько примеров применения этих моделей в металлогеническом анализе. Полученные результаты имеют большое значение для прогнозирования новых месторождений.

Ключевые слова: Арктическая зона, космос, технология, металлогения, прогноз.

Космический аппарат GOCE (массой 1 т) был выведен с российского космодрома Плесецк ракетой-носителем «Рокот» на низкую околоземную солнечно-синхронную орбиту 17 марта 2009 г. GOCE – спутник Европейского космического агентства (ESA), сочетающий гравиразведку и GPS-трекинг для определения среднего гравитационного поля Земли с беспрецедентными точностью и пространственным разрешением [1]. Для обеспечения максимально возможной точности измерений была выбрана весьма низкая орбита – 260 км над поверхностью Земли (приблизительно на 500 км ниже, чем орбиты других научных спутников, в частности ASTER). В результате миссии GOCE (2009–2013 гг.) составлена новая сверхточная гравитационная карта Земли [2]. Кроме того, более точно определена форма планеты, измерены сила тяготения в различных регионах и плотность земной коры. Создаваемые модели земной коры на основе сейсмических данных и разрезов были согласованы с наблюдаемым GOCE гравитационным полем. Проект GEMMA, также финансируемый ESA, выполнил оценку границы между земной корой и мантией (Мохо) на основе полученных GOCE данных [2].

Для объяснения закономерностей размещения и особенностей формирования месторождений различных формационных типов нами применены современные глобальные модели глубинного строения земной коры: модели глубины поверхности Мохо, мощности и строения осадочного чехла, модель CRUST1.0, унаследованная из модели CRUST2.0 [3, 4], модель плотности и термального режима верхней мантии [5, 6]. Типы коры определялись в зависимости от возраста фундамента или тектонических условий [5]. Данные осадочных слоев в основном соответствует модели [7]. На основе моделей глубинного строения земной коры в последние годы нами были получены следующие результаты.

Современные прогнозно-металлогенические построения на основе космических технологий невозможны без подготовки ГИС-проекта, сочетающего материалы дистанционного зондирования Земли и базу данных месторождений полезных ископаемых. При ГИС-анализе применяются известные методические приемы, заложенные в аналитический аппарат ARCMAP, MAPINFO и других картографических математико-аналитических систем, а также разработанные авторами новые методические подходы.

Месторождения золота Карлинского типа (МЗКТ) представляет собой крупные метасоматические тела джаспероидов в карбонатных вмещающих породах, которые содержат субмикроскопическое тонкодисперсное золото во вкрапленном пирите или марказите. МЗКТ впервые были установлены, как самостоятельный класс месторождений в 1961 году, хотя несколько месторождений разрабатывались еще в начале 1900-х годов. В настоящее время насчитывается 88 месторождений в Неваде, США и 30 – в Южном Китае [8]. Рекордным стал 2000 год, когда из МЗКТ Невады было добыто 275 т золота. К 2015 году производство золота из карлинских руд сократилось почти в 2 раза – до 150 т [8].

В настоящей работе обсуждаются результаты сравнительного металлогенического анализа геодинамических обстановок формирования МЗКТ на основе современных геофизических моделей литосферы Верхоянской, Невадийской и Южнокитайской металлогенических провинций. Юго-восточный тренд МЗКТ Сакындинского рудного района арктической зоны Якутии Верхоянской провинции коррелирует с простиранием средних значений плотности и температуры верхней мантии. Сходное направление отмечается также в структуре поверхности Мохо. Невадийские и сакындинские МЗКТ и месторождения района Гуйчжоу Южного Китая пространственно приурочены к областям со средней мощностью земной коры (на мантийных поднятиях или их склонах). Невадийские и сакындинские месторождения приурочены к участкам коры с наименьшей толщиной слабометаморфизованного осадочного слоя, при этом такой закономерности в размещении южнокитайских МЗКТ не отмечается. Невадийские и сакындинские месторождения пространственно контролируются относительно менее плотными и более нагретыми участками верхней мантии. Южнокитайские МЗКТ локализованы на границе «прогретой» и «остывшей» области верхней мантии. Выявлено сходство геодинамических обстановок формирования невадийских и сакындинских МЗКТ, что подтверждает высокие перспективы открытия крупных месторождений в этом арктическом районе Якутии. Новые рудные районы с МЗКТ прогнозируются на всем протяжении Черско-Полоусненского покровно-складчатого пояса (Колымской петли).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-70001).

Список литературы:

1. Ключиков А. А. Новая эра в изучении гравитационного поля Земли // Научные труды Института астрономии РАН. – 2018. – Т. 2. – С. 20–25.
2. Reguzzoni M., Sampietro D. GEMMA: An Earth crustal model based on GOCE satellite data. Intern. // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2015. – V. 35. – P. 31–43.
3. Bassin C., Laske G., Masters G. The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America // EOS Trans AGU. – 2000. – V. 81. – F897. – URL: <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust2.html>.
4. Laske G., Masters G., Reif C. CRUST 2.0: A new global crustal model at 2×2 degrees. – URL: <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/rem.html> (дата обращения: 08.04.2021).
5. Bouman J., Ebbing J., Meekes S., Abdul Fattah R. [et al.] GOCE gravity gradient data for lithospheric modeling // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2015. – V. 35. – P. 16–30.
6. Cammarano F., Guerri M. Global thermal models of the lithosphere // Geophysical Journal International. – 2017. – V. 210. – P. 56–72.
7. Pasyanos M. E., Masters T. G., Laske G. LITHO1.0: an updated crust and lithospheric model of Earth // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2014. – V. 119, № 3. – P. 2153–2173.
8. Волков А. В., Сидоров А. А. Геолого-генетическая модель месторождений золота Карлинского типа // Литосфера. – 2016. – № 6. – С. 145–165.

Вязовецкий Ю. В., Ярцева Л. А. (ТОО «Латон-Геосервис»)

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАРЫХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ

Современные технологии позволили усовершенствовать известные методы поисков месторождений полезных ископаемых. Метод IP-duple-duple является усовершенствованной модификацией электроразведочного метода ВП. Геохимические методы поисков совершенствуются в аналитической части. На этой основе используются методы Ionex, Ionic Leach. В докладе рассматриваются плюсы и минусы нововведений, предлагается рациональный комплекс работ.

Ключевые слова: геохимические поиски, электроразведка, МПФ, ICP, Ionic Leach, IP-duple-duple.

В советское время при поисках рудных месторождений широко использовался электроразведочный метод ВП (вызванной поляризации). Однако глубинность этого метода составляла 50 м. Насколько позволяли технические возможности. Современная модификация метода ВП, так называемый метод IP-duple-duple (диполь-дипольная вызванная поляризация), способен поставлять информацию с глубин до 750 м. На примере одного из участков в Южном Казахстане проводится сравнение данных этих двух модификаций метода. Участок, перспективный на сульфидное полиметаллическое оруденение, приурочен к южному флангу массива гранодиоритов, который здесь перекрыт туфами. Туфы прорываются дайками кислого состава. В советское время на участке были проведены электроразведочные работы, в результате которых были получены две группы аномалий ВП. Обе эти группы аномалий были проверены скважинами глубиной порядка 100 м. Рудных пересечений не вскрыто. В наше время на этом же участке были проведены работы методом IP-duple-duple до глубины 350 м. Получены срезы электроразведочных аномалий на глубинах 50, 150, 250, 350 м, которые позволяют сделать вывод о том, что с глубиной оруденение становится более интенсивным и смещается в сторону. Исторические скважины были заложены не в том месте и не той глубины.

Аналитическую основу геохимических методов поисков в советское время составлял полуквантитативный спектральный анализ (ПСА). Этот экспрессный анализ выполнялся в лабораторных условиях на приборах ДФС. С использованием ПСА были открыты практически все месторождения в СССР. В настоящее время при геохимических съемках вместо ПСА используются более высокочувствительные методы анализов – ICP-MS и другие. Примером являются гео-

Нижние пределы определения элементов различными методами анализов

Элементы	Нижний предел определения элементов (ppm) по методам анализов			Средние содержания элементов, ppm	
	ПСА	ICP-MS	Ionic Leach	В рыхлых отложениях	В осадочных породах
Cu	10	1	0,001	40	1
Pb	5	3	0,0001	40	7
Zn	10	3	0,01	100	16
Ag	0,1	0,5	0,0001	0,2	0,05
Mo	5	0,2	0,0002	1	0,2
Sn	2	1	0,0002	1	0,5
Ba	100	10	0,01	100	50
Co	1	1	0,0003	15	0,3
Cr	4	3	0,001	40	35
Ni	5	1	0,001	40	2
Li	10	1	0,0002	40	15
Au (FA)		0,0002	0,00002	0,005	0,005

химические работы китайских геохимиков, которые, используя новейшие аналитические методы с анализом на широкий круг элементов, открыли в Китае более 100 месторождений.

В Казахстане в последнее время широко пропагандируются и применяются геохимические методы поисков, использующие различные формы вытяжек из валовой геохимической пробы для повышения чувствительности анализа – Ionex, Ionic Leach. Метод Ionex – это модификация старого метода подвижных форм (МПФ), предложенного Л. Антроповой, как вытяжка металло-органических форм пробы. Окончание анализа проводилось методом ПСА, сейчас – методом ICP-MS. При широком использовании метода Ionex, в т. ч. на Рудном Алтае, не было открыто ни одного месторождения. Метод Ionic Leach разработан в лаборатории ALS (Russel Birrell). Методика анализа не раскрывается, известно только, что это амонио-кислая вытяжка с использованием цианида натрия. Ionic Leach апробирован компанией SRK Exploration в Австралии, Канаде. И несмотря на то, что этим методом также не открыто ни одного месторождения, этот метод используется в настоящее время в Казахстане на поисковых площадях ТОО «Казцинк». По принципу: иностранное – значит лучшее, без критического подхода. Основным преимуществом Ionic Leach считается высокая чувствительность анализа. В таблице 1 приводится сравнение нижних пределов определений основных элементов различными методами, а также средние содержания этих элементов в рыхлых отложениях и осадочных породах. Фоновые содержания элементов в рыхлых отложениях в тысячи и сотни тысяч раз превышают чувствительность Ionic Leach. Какой смысл использовать такую чувствительность, если в природе не существует пород с такими содержаниями? Все описанные геохимические методы поисков нацелены на выявление слабых аномалий, под которыми ожидаются скрытые месторождения. Но такие ожидания часто не оправдываются. Скрытые пологозалегающие месторождения не проявляются на дневной поверхности аномалиями искомых рудных элементов непосредственно над залежью. Необходимо создавать геолого-поисковые модели скрытых месторождений. В качестве модели скрытого колчеданно-полиметаллического месторождения предлагается модель Новоленингорского месторождения, пологозалегающего на глубине 600 м.

На территории Большого Алтая рекомендуется проведение мелкомасштабного геохимического картирования с учетом ландшафтно-геохимических условий на широкий круг элементов с использованием ICP-MS и других современных методов анализа, но без вытяжек. Имеется задел. В Калба-Нарымском регионе Рудного Алтая (Восточный Казахстан) было проведено мелкомасштабное геохимическое картирование нового поколения в содружестве с Институтом геофизических и геохимических исследований Академии геологических наук Китая (IGGE CAGS). Пробы анализировались в лаборатории института на 67 элементов. На основе проведенных работ прогнозируется наличие лития в соленосных отложениях Павлодарской впадины [1]. Впадины в советское время никогда не исследовались геохимическими методами.

Новые открытия на Большом Алтае могут быть сделаны на основе переинтерпретации старых советских геолого-геофизических и геохимических данных с позиций моделей скрытых месторождений. Кроме этого, могут быть выявлены месторождения нетрадиционных типов для конкретного региона. Например, в советское время в свинцово-цинковом регионе Рудного Алтая не приветствовалось опосредованное опосредование участков, перспективных на медно-порфировое оруденение. В качестве такого «пропущенного» объекта приводится пример обнаружения признаков крупного медно-порфирового месторождения в самой молодой в Лениногорском регионе триасово-юрской щелочной интрузии Россыпной белок [2].

Список литературы:

1. Вязовецкий Ю. В., Ярцева Л. А., Акбаров Е. Е. Перспективы лития в Восточном Казахстане на основе геохимической карты нового поколения // Геология и охрана недр. – 2019. – № 1. – С. 58–63.
2. Ярцева Л. А., Махонина С. А., Олейник Ю. Ф. Медно-порфировая минерализация Россыпной белок на Рудном Алтае // Геология и охрана недр. – 2008. – № 1. – С. 33–36.

Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В. (ФГБУН ИГЕМ РАН)

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ Pb-Zn МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Геодинамические обстановки формирования Pb-Zn месторождений, помимо локальных факторов, определяются особенностями строения осадочного слоя литосферы. Важную роль в образовании месторождений миссисипского типа (MVT) могли играть углеводородные системы, а размещение эксгальационных руд (SEDEX) контролировалось рифтогенными структурами.

Ключевые слова: арктическая зона, земная кора, модель, геодинамические обстановки, Pb-Zn месторождения, VMS, MVT, SEDEX.

Pb-Zn сульфидные месторождения, по общепринятой международной классификации, разделяются на три основных типа: в вулканогенных комплексах (VMS), в терригенных и терригенно-карбонатных комплексах (SEDEX) и в карбонатных комплексах (MVT – миссисипский).

В Российской Арктике к настоящему времени открыто *небольшое число Pb-Zn месторождений*, среди которых только одно крупное (Павловское, арх. Новая Земля). Несколько рудопроявлений расположено в Республике Саха (Якутия). Более 10 объектов рассредоточены в Мурманской и Архангельской областях, в Ямало-Ненецком АО, а также на Таймыре и Чукотке. В арктической зоне других стран известен ряд крупных и суперкрупных месторождений – Ред Дог, Грин-Крик (Аляска), Селвин, Ховард Пасс, Пайн-Пойнт (Канада), Цитронен (Гренландия), а также около 100 более мелких по масштабу объектов в Скандинавии.

В состав прогнозно-поисковых моделей Pb-Zn месторождений входят *региональные и локальные признаки*, объединяющие геодинамические, тектонические обстановки, фациальные особенности формирования рудовмещающих толщ, минералого-геохимические свойства рудовмещающей среды, характеризующие особенности ее взаимодействия с рудоносными флюидами различной природы, а также геофизические поля, отражающие состояние геологического и рудного пространства. При этом важно выделять *глобальные признаки*, которые могут определять общее направление поисков.

Современные геофизические модели литосферы основаны на успешно реализованном космическом проекте GOCE [2]. В модели CRUST1.0 выделяются восемь слоев: воды, льда, трехслойного осадочного чехла и верхней «метаморфической», средней «гранитной» и нижней «базальтовой» кристаллической коры. Структура осадочного слоя в целом отражает региональную тектонику [3].

Осадочный покров имеет мощность до двух десятков км, в нем выделены три горизонта. Наиболее распространен маломощный верхний горизонт с отдельными локальными прогибами. Средний горизонт обладает меньшим распространением, но его мощность достигает 4,0 км и охватывает многие углеводородные провинции (Аравийский полуостров, Южная Америка, Западная Сибирь и др.). Нижний горизонт, менее всего распространенный в мире, имеет наиболее мощные комплексы, приходящиеся на крупные углеводородные провинции мира.

Глобальные модельные признаки разных типов Pb-Zn месторождений отражены в пространственных соотношениях размещения руд и глубинного строения литосферы. Месторождения MVT размещаются в платформенных и субплатформенных карбонатных толщах. Они отчетливо приурочены *к наиболее глубоким бассейнам и связаны с крупными нефтегазоносными провинциями*, что признается многими геологами [1 и др.]. Устанавливается приуроченность руд к застойным аноксическим бассейнам с мощными (около 2 км) карбонатными часто хемогенными отложениями (Южное Верхоянье, Туора-Сис, Хараулах в Якутии, Бассейн Сельвин, Канада). Колчеданные VMS-месторождения, напротив, приурочены преимущественно к областям *наименьшей мощности осадочной коры* – не более 1,0 км. Эти области также характеризуются *умеренными мощностями нижней коры* (в среднем 10–16 км). Это, например, Кордильеры, Анды, Северо-Восточные территории Канады, Скандинавия, отечественные вулканические островодужные пояса – Урало-Монгольский, Кавказский и другие. Месторождения SEDEX, формировавшиеся в рифтогенных прогибах [4, 5], занимают *промежуточное положение* между MVT и VMS – в областях с *минимальной и умеренной мощностью осадочной коры в ареалах развития рифтовых прогибов*. У месторождений типов SEDEX и MVT часто отмечаются общие признаки. С другой стороны, многими исследователями признается единый ряд месторождений SEDEX и VMS типов [4, 5, 6], залегающих в близких вулканогенных обстановках и связанных с дистальными металлоносными флюидами. Например, месторождения бассейна Селвин (Канада), месторождения Холоднинское (Бурятия) и Горевское (Красноярский край), а также рудноалтайские объекты.

Перспективы выявления новых Pb-Zn месторождений в Российской Арктике, помимо локальных элементов-признаков прогнозно-поисковых моделей, определяются *широким распространением нефтегазоносных полей* (Пайхойско-Новоземельский регион, северное обрамление Сибирской платформы), *ареалов вулканогенной деятельности* (Таймыр, Чукотка). Особой проблемой здесь является *недостаточная опосредованность арктических регионов*. Причина «неэффективности» применения прогнозно-поисковой модели – неполная характеристика рудоконтролирующих факторов исследуемых площадей.

Список литературы:

1. Павлов Д. И. Геологические соотношения стратиформного свинцово-цинкового оруденения и нефтепродуцирующих толщ (на примере Южного Верхоянья) // Литология и полезные ископаемые. – 1988. – № 3. – С. 89–100.
2. Bouman J., Ebbing J., Meekes S. [et al.] GOCE gravity gradient data for lithospheric modeling // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2015. – V. 35. – P. 16–30.
3. Laske G., Masters G. A Global Digital Map of Sediment Thickness, EOS Trans AGU, 78 (F483). – 1997.
4. Goodfellow W. D., Lydon J. W., Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits // Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. – 2007. – № 5. – P. 163–183.
5. MacIntyre D. G. Sedex – Sedimentary-exhalative Deposits // Ore Deposits, Tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera / W. J. McMillan, B. C. Coordinator; Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources. – 1991. – № 4. – P. 25–69.
6. Sangster D. F. Carbonate-Hosted Lead-Zinc Deposits: 75th Anniversary Volume / Society of Economic Geologists. – 1996. – Special Paper. – V. 4. – 687 p.

ПЛЕЙ-АНАЛИЗ ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Плей-анализ используется при геологическом изучении месторождений нефти и газа. Предлагается применять его для прогнозирования и поисков рудных объектов. Рудный плей – совокупность месторождений, рудопроявлений и перспективных участков, имеющих общий генезис и приуроченных к одному структурно-вещественному комплексу. Поиски и разведка в пределах одного плея ведутся по единой методике; выявленные месторождения имеют сходные технологические свойства.

Ключевые слова: плей, прогнозирование, совокупность, геолого-генетический тип, технологический, геолого-экономическая оценка.

Совершенствование научно-методической базы для прогнозирования и поисков рудных месторождений является актуальной задачей. Несмотря на большое количество соответствующей литературы, в практике работы отечественных горнорудных компаний мало применяются единые научно обоснованные принципы выделения и оценки перспективных рудоносных площадей, составления и ранжирования портфеля геологоразведочных активов. Работы зачастую сводятся к искаживанию или разбуриванию участков с известными прямыми признаками, а попытки придать им научную обоснованность встречают неприятие менеджмента. Подобная ситуация не вызывает удивления. Ни один инвестор не захочет вкладывать средства в актив, для которого неизвестны количественные и качественные характеристики, срок службы. Однако именно это требуется от желающих заниматься разведкой и освоением новых месторождений. Оптимизировать расходы позволяет стадийность геологоразведочных работ (далее – ГРР), однако она на практике часто нарушается.

В этом контексте критичным представляется выбор перспективной площади или провинции для поисков. До сих пор подобные решения часто принимаются без подробного рассмотрения геолого-экономических и технологических факторов. В практике любой горнорудной компании есть примеры неудачных ГРР-проектов, на которых были понесены значительные экономические потери из-за необоснованных решений, касающихся выбора объектов на новых территориях.

В современной нефтегазовой геологии основой прогнозно-поисковых работ является плей-анализ. Плей – совокупность месторождений одного генетического типа, поиски и разведка которых ведутся по одной методике и одинаковым комплексом технических средств, сосредоточенных в одном комплексе в пределах одной тектонической зоны [5]. Плеи могут сменять друг друга в вертикальном разрезе и по латерали. Геолого-генетическая однородность плея обуславливает близость геолого-экономических показателей и технологических решений, применяемых при их освоении, и позволяет корректно оценивать геологические риски при ГРР.

Плей-анализ начинается с разделения всего геологического пространства, перспективного для поисков, на плеи [4]. Изучается их геологическое строение, проводится анализ результатов работ предшественников, масштаба выявленных месторождений, подготовленных к бурению структур и их параметров. Это позволяет уточнить объем неразведанных ресурсов, глубину бурения, прогноз средних запасов месторождений. К достоинствам плей-анализа относятся простота и ясность выбора главных направлений ГРР и конкретных геологических задач, возможность обоснованного выбора задач и конкретных объектов в объеме каждого плея [5].

Развитие металлогенического анализа, применение высокоточных геохимических методов в последние десятилетия привели к созданию концепций «рудно-магматических систем» [2, 3] или «минеральных систем» [6] по аналогии с нефтегазовыми системами [7]. Стало возможно идентифицировать конкретные тектонические структуры, магматические комплексы и палеогидротермальные системы как рудогенерирующие и рудораспределяющие. Выяснилось, что общий генезис ассоциирующих месторождений определяет общность методических подходов к их изучению и близость технологии их освоения. Такие связанные группы месторождений, рудопроявлений и перспективных участков по аналогии с нефтегазовой геологией мы предлагаем называть рудны-

ми плеями. Это набор объектов одних геолого-генетического и геолого-промышленного типов, сосредоточенных в пределах одной региональной тектонической структуры и одного географо-экономического района. Поиски и разведка в пределах одного плея ведутся по единой методике одинаковым набором технических средств; выявленные промышленные месторождения имеют сходные технологические свойства руд. В той же степени, в какой месторождение является экономическим объектом для промышленного освоения, рудный плея является операционным объектом для ГРП. В зависимости от площади ареала развития структурно-вещественного комплекса, с которым связан плея, он может соответствовать и металлогеническому поясу (10^4 – 10^5 км²), и металлогенической (рудной) зоне (10^3 – 10^4 км²), и рудному району, и крупному узлу (10^2 – 10^3 км²). Например, Au-Ag месторождения на всем протяжении Охотско-Чукотского вулканогенного пояса ассоциируют с одними и теми же вулканоплутоническими ассоциациями мелового возраста, имеют близкие геологическое строение и состав руд, которые перерабатываются цианированием. Таким образом, речь идет о рудном плее, охватывающем целую провинцию. Следует упомянуть, что примеры фактического применения рудного плея-анализа в отечественной литературе имеются [1], хотя сами авторы не используют термин «плея».

Именно оптимальный выбор плея является ключевой задачей раннего этапа ГРП. Неудачное решение может иметь серьезные экономические последствия для средней по величине компании, а небольшую компанию привести к гибели. Применение рудного плея-анализа позволяет повысить эффективность решения этой задачи. Вследствие схожести типов рудоносных структур и морфологии рудных тел, общности процессов рудообразования, однотипности методов разведки и разработки, единообразия географо-экономических условий и обязательств перед государством геолого-экономическую оценку можно производить для всего рудного плея в целом, по одним и тем же укрупненным показателям.

Список литературы:

1. Виноградов А. М., Малышев А. И. Факторы и критерии прогнозы, направление и методика поисков крупных колчеданных месторождений на Урале // Литосфера. – 2017. – № 5. – С. 90–109.
2. Власов Г. М., Мишин Л. Ф. Геотектоническая теория и магматогенно-рудные системы. – М. : Наука, 1992. – 230 с.
3. Кривцов А. И. Прикладная металлогения. – М. : Недра, 1989. – 288 с.
4. Крылов Н. А., Кучеря М. С. Плея-анализ на примере Афгано-Таджикской впадины // Геология нефти и газа. – 2008. – № 4. – С. 24–29.
5. Крылов Н. А., Кучеря М. С. О корректном применении понятий «плея» и направление геолого-разведочных работ // Актуальные проблемы нефтегазовой геологии. – 2010. – № 6. – С. 2–7.
6. Hagemann S. G., Lisitsin V., Huston D. L. Mineral system analysis: Quo Vadis // Ore Geology Reviews. – 2016. – V. 76. – P. 504–522.
7. Magoon L. B., Dow W. G. The Petroleum System – From Source to Trap // AAPG Memoire. – 1994. – V. 60. – P. 3–24.

Глухов А. Н. (ФГБУН СВКНИИ ДВО РАН)

К ВОПРОСУ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ АРХЕЙСКИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрены закономерности локализации архейских золоторудных месторождений. Охарактеризованы два подобных объекта Канадского щита, различающихся тектонической позицией, составом руд и вмещающих комплексов. На их примере обосновано выделение двух геолого-генетических типов – золото-кварцевого (орогенного) и золото-редкометалльного, связанного с гранитоидами (по аналогии с фанерозойскими аккреционно-коллизийными поясами).

Ключевые слова: архейские золоторудные месторождения, провинция, гранит-зеленокаменная область, орогенный, связанный с гранитоидами.

Архейские золоторудные месторождения (далее АЗМ) широко распространены в пределах гранит-зеленокаменных областей (ГЗО) Северо-Американской, Австралийской и Африканской платформ. На их долю АЗМ приходится около 20 % накопленной мировой добычи золота. В генетическом отношении АЗМ являются разнородной совокупностью объектов [7]. В нашей стране подобные месторождения до сих пор не выявлены. Тем не менее широкое распространение архейских ГЗО делает необходимым продолжение исследований, в частности, уточнение геолого-генетических типов АЗМ и факторов, контролирующих их размещение.

Геологическое строение архейских провинций Канадского щита (Сьюпериор и Слэйв) детально охарактеризовано в литературе [3]. Структурный план их супракрустальных комплексов определяется зеленокаменными (ЗКП) и разделяющими их «парасланцевыми» (ПСП) поясами. Вулканогенные и осадочные образования рассеяны зонами рассланцевания и смятия и прорваны коллизионными гранитоидами. Метаморфизм архейских пород относится к фации высоких температур и низких давлений и проявлен зонально относительно гранитоидов.

Абсолютное большинство АЗМ, в том числе крупных, вмещаются осадочно-вулканогенными комплексами ЗКП. Эти объекты хорошо изучены и известны [5, 6]. Примером является изученное нами месторождение Моньмент-Бей на северо-западном фланге провинции Сьюпериор, в пределах ЗКП Оксфорд-Лейк. Рудное поле имеет протяженность более 20 км при ширине 2–4 км; рудные тела представлены зонами прожилково-сетчатого и метасоматического окварцевания и сульфидизации мощностью 2–20 м, а также отдельными плитообразными кварцевыми жилами мощностью 0,2–0,5 м. Руды малосульфидные; самородное золото образует включения (5–10 мкм) в игольчатом арсенопирите в сростании с пирротинном и галенитом. Пробность золота 807–863 ‰. Геохимический спектр руд Au-As-Zn-Cu-Pb.

Золоторудные объекты ПСП имеют намного меньшие масштабы и известность. Характерным представителем является месторождение Томсон-Лундмарк в южной части провинции Слэйв, локализованное в ороговикованных сланцах экзоконтактной зоны гранитоидного массива. Рудные тела представлены кварцевыми жилами мощностью до 5 м. Руды убогосульфидные; золото свободное, крупностью 0,05–0,1 мм, пробностью 824–883 ‰, ассоциирует с пиритом и минералами Те и Вi. Геохимический спектр руд Au-Bi-Ag-W-As. Наблюдается геохимическая зональность, выражающаяся в повышении в рудных телах концентраций As и W по мере приближения к гранитам. В рудах некоторых подобных месторождений провинции Слэйв концентрации WO_3 достигают 30–40 %, и они отрабатывались как вольфрамовые. Пространственно золотоносные кварцевые жилы ассоциируют с дайками редкометалльных пегматитов.

Месторождения ЗКП характеризуются разбавленным (< 6 % экв. NaCl) углекислотным ($CO_2/CH_4 > 1$) рудообразующим флюидом [7]. Напротив, объекты ПСП связаны с высококонцентрированными (25–30 % экв. NaCl) метансодержащими растворами [8].

Таким образом, архейские золоторудные месторождения Канадского щита можно подразделить на два типа. Объекты первого аналогичны орогенным (золото-кварцевым) месторождениям протерозоя и фанерозоя. Месторождения второго типа изучены намного слабее. Их пространственная ассоциация с коллизионными гранитами, минеральный состав и геохимический спектр руд, параметры рудообразующего флюида, зональность позволяют отнести их к типу месторождений, связанных с гранитоидами (золото-редкометалльным или золото-висмутовым) [1]. Архейские золото-кварцевые и золото-редкометалльные месторождения характеризуются всеми чертами, которые присущи их фанерозойским и протерозойским аналогам. Это не подтверждает представления о слабой геохимической дифференциации архейского золотого оруденения и отсутствии значимых различий между его различными типами [2].

Затронем вопрос о перспективах выявления АЗМ в нашей стране. Большинство супракрустальных архейских комплексов Балтийского, Алданского и Анабарского щитов, Воронежского кристаллического массива были переработаны в ходе грандиозных протерозойских орогенных событий, которые сопровождалось образованием надвигов, амфиболитовым и гранулитовым ме-

таморфизмом, внедрением гранитоидов и анортозитов, и глубоко эродированы; известная здесь золоторудная минерализация имеет протерозойский возраст [4]. Все это определяет ограниченный потенциал архейских провинций нашей страны для поисков АЗМ обоих рассмотренных типов. Тем не менее выявление небольших по масштабам объектов такого типа возможно. Первоочередными для изучения являются участки пространственного совмещения пунктов минерализации, геохимических и шлиховых аномалий золота, мышьяка, вольфрама с раннедокембрийскими зонами расщелачивания и смятия, рассекающими комплексы ЗКП и ПСП.

Список литературы:

1. Горячев Н. А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – 143 с.
2. Горячев Н. А. Благоприятнометалльный рудогенез и мантийно-коровое взаимодействие // Современные проблемы геохимии. Тезисы докладов Всероссийского совещания, посвященного 95-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона. – Иркутск : Институт геохимии СО РАН, 2012. – С. 47–49.
3. Конди К. Архейские зеленокаменные пояса. – М. : Мир, 1983. – 390 с.
4. Металлогения рядов геодинамических обстановок раннего докембрия. – М. : МПР РФ, РАН, ГеоКарт, РосГео, 1999. – 399 с.
5. Некрасов Е. М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М. : Недра, 1988. – 286 с.
6. Шер С. Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия, Океания). – М. : Недра, 1972. – 295 с.
7. Colvine A. C., Fyon J. A., Heather K. B., Marmont S., Smith P. M., Troop D. G. Archean Lode Gold Deposits in Ontario // Ontario Geological Survey. – 1988. – № 139. – 138 p. – (Miscellaneous Paper).
8. Stokes T. R., Zentilli M., Culshaw N. Structural and lithological controls of gold-bearing quartz-breccia zones in Archean metatubidites, Gordon Lake, Northwest Territories, Canada // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1990. – V. 27, № 12. – P. 1577–1589.

Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Голубева Ю. Ю. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ПРОБЛЕМЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА МСБ АЛМАЗОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ГРР

Рассмотрено состояние и перспективы развития МСБ алмазов РФ. По степени перспективности на обнаружение коренных месторождений алмазов по комплексу геолого-геофизических данных выделены три группы площадей. Проведен анализ количества поисковых лицензий на алмазы и объемов ГРР за последние пять лет, приведены факторы, осложняющие проведение поисковых работ на алмазы.

Ключевые слова: алмазы, прогнозные ресурсы, поисковые площади, лицензирование.

Мониторинг состояния МСБ алмазов РФ показывает нарастание негативных тенденций в её развитии. За последние 10 лет погашение в недрах (добыча) составило 393 млн кар при приросте запасов за счет ГРР 191 млн кар. *Воспроизводство запасов за счет ГРР только наполовину покрывает добычу (49 %).* Анализ МСБ алмазов РФ показывает, что практически при любом варианте развития ситуации в ближайшие годы будет происходить спад добычи алмазов (Голубев Ю. К., Гаранин К. В., Кошкарёв Д. А. и др., 2020). При этом максимально быстрый спад с 40–42 млн кар/год до 22 млн кар/год будет происходить в период с 2026 по 2032 г. После этого поддержание уровня добычи в объеме 30–22 млн кар будет возможно за счет ввода в эксплуатацию известных в настоящее время месторождений, рентабельность отработки которых на сегодня неочевидна. Уве-

личение добычи выше 20 млн кар/год после 2030 г. будет возможно только при условии открытия и ввода в эксплуатацию новых месторождений. Как уже отмечалось ранее, для поддержания уровня алмазодобычи на современном уровне требуется в ближайшие годы открыть месторождение (месторождения) алмазов с суммарными ресурсами не менее 300–400 млн кар.

Потенциал открытия новых месторождений в первую очередь определяется оценкой прогнозных ресурсов. Прогнозные ресурсы алмазов по состоянию на начало 2020 г. составляют по категориям P_3 3249,9 млн кар, P_2 402 млн кар, P_1 392,3 млн кар. При этом наблюдается существенный дефицит ресурсов категорий P_2 и P_1 . Категория P_1 в основном связана с глубокими горизонтами действующих месторождений, и на настоящий момент около 49 % этих ресурсов могут быть сняты, т. е. уже переведены в запасы. Категория P_2 в Северо-Западном округе связана с кимберлитовыми трубками, заведомо нерентабельными к отработке. В Якутии значительная количественная оценка прогнозных ресурсов данной категории привязана к локальным участкам, которые рассматриваются как потенциальные кусты кимберлитовых тел. К настоящему времени месторождения в пределах этих участков не выявлены, несмотря на достаточно плотную их разбурку. В составе прогнозных ресурсов алмазов резко преобладает категория P_3 . Как показывает мировой опыт, обнаружение крупных месторождений возможно в пределах новых территорий ведения поисков, т. е. в первую очередь в пределах территорий с оценкой прогнозных ресурсов P_3 .

В 2018 г. ФГБУ «ЦНИГРИ» по договору с ФГБУ «ВСЕГЕИ» была подготовлена цифровая карта закономерностей размещения полезных ископаемых (алмазы) территории Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000 с сопровождающей базой данных, включающая тематические слои, отражающие алмазоносные минерагенические таксоны и перспективные площади для постановки поисковых работ.

В результате выполненных работ по комплексу геолого-геофизических предпосылок (косвенные индикационные факторы) в пределах территорий российской части Восточно-Европейской платформы и Сибирской платформы выделены семь потенциально алмазоносных провинций. На территории российской части Восточно-Европейской платформы выделены четыре потенциально алмазоносных провинции. В пределах потенциально алмазоносных провинций выделен ряд алмазоперспективных площадей ранга субпровинций.

Кроме того, на карту вынесены все площади, которые в разные годы разными исследователями были выделены как перспективные для постановки поисковых работ на выявление коренных месторождений алмазов. В пределах территории РФ к настоящему времени выделено в разное время разными организациями 140 объектов – перспективных площадей для постановки поисковых работ на алмазы. Основная масса этих площадей имеет весьма значительные размеры – от 5000 км² и более. В то же время поисковые работы на алмазы следует ставить на площадях, локализованных как прогнозируемые кимберлитовые поля размером 1500–2000 км².

Всю совокупность территорий, рассматриваемых как перспективные на обнаружение коренных месторождений алмазов, можно разделить на три основные группы: 1-я группа – наиболее перспективные территории, в пределах которых известны россыпи алмазов, а также территории, где обнаружены слабоалмазоносные кимберлитовые тела; 2-я группа – территории со средней степенью перспективности, к ней относятся районы, где известны россыпепроявления алмазов, а также ореолы минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) с находками пиропов алмазной ассоциации. К 3-й группе относится большинство площадей, которые можно рассматривать как площади с неочевидными перспективами обнаружения месторождений алмазов, что обусловлено, с одной стороны, сложным строением осадочных толщ, перекрывающих потенциальный срез кимберлитовмещающих пород, затрудняющим получение прямых признаков алмазоносности в виде ореолов МИК, россыпепроявлений алмазов, с другой стороны, эти площади характеризуются недостаточной геолого-геофизической изученностью, что не позволяет провести их локализацию до размеров прогнозируемых кимберлитовых полей.

К 1-й группе наиболее перспективных территорий относится Арктическая зона (АЗ) Якутии, где на площади свыше 400 тыс. км² открыто около сотни россыпей и россыпных проявлений алмазов. Запасы данных россыпей составляют несколько десятков млн карат, что позволяет отнести их к категории уникальных. Коренные источники данных россыпей до настоящего времени не установлены. К 1-й группе также можно отнести территорию Алданского щита в Якутии, где АО

«Якутскгеология» были вскрыты кимберлитовые трубки, в составе которых обнаружены микроалмазы. Промышленно-алмазоносных трубок не обнаружено. Ко 2-й группе можно отнести перспективные площади в Иркутской области и в Красноярском крае, где известны многочисленные россыпепроявления алмазов, а также ореолы МИК.

Основные объемы ГРР на алмазы проводятся за счет средств недропользователей, финансирование со стороны госбюджета незначительно. В 2015–2020 гг. на территории РФ действовали 127 поисковых лицензий, из них 21 к настоящему моменту аннулирована, получены 84 новых лицензий, продолжают действовать 106, в том числе 80 на коренные алмазы и 25 – на россыпные. ГРР на алмазы (бурение) были проведены на территории 45 (35 %) лицензионных площадей. В течение последних пяти лет наблюдается увеличение числа лицензий, выданных на геологическое изучение и поиски месторождений алмазов. Так, количество действующих поисковых лицензий в 2015 г. составляло 43, в 2020 г. – уже 106. Увеличение количества лицензий произошло за счет независимых недропользователей (с 21 в 2015 г. до 77 в 2020 г.), при том, что у основного недропользователя АК «АЛРОСА» (ПАО) количество действующих поисковых лицензий изменяется не столь значительно (22–29). Анализ отчетности по выполнению лицензионных соглашений показывает, что одновременно с увеличением количества выданных лицензий уменьшаются объемы поискового бурения. При этом у независимых недропользователей ГРР выполняются не более чем на 10 % лицензионных площадей. У АК «АЛРОСА» за период с 2015 по 2020 г. количество лицензий, где ГРР не ведутся, выросло с 23 до 44 %.

Таким образом, увеличение количества выданных лицензий не привело к увеличению объемов поисковых работ, в первую очередь поискового бурения. При этом объемы бурения с 2015 г. уменьшились в 2,2 раза, что означает отсутствие или недостаточность инвестиций для проведения работ. Подобное положение, с одной стороны, связано с мировым экономическим кризисом, с другой стороны, перспективы площадей на коренную алмазоносность, на которые выданы лицензии, далеко неоднозначны, что не вызывает доверия потенциальных инвесторов.

Как показывает анализ состояния ГРР на алмазы, открытие в ближайшее время месторождения алмазов с ресурсами, отмеченными выше, маловероятно. В первую очередь, с нашей точки зрения, это связано с дефицитом площадей под постановку поисковых работ на алмазы, обладающих достаточной обоснованностью их перспектив на коренную алмазоносность. Осложняющими факторами проведения поисковых работ является:

- недостаточная геолого-геофизическая изученность территорий, не позволяющая выполнить достоверный прогноз площадей для постановки поисковых работ на коренные месторождения алмазов;
- недостаток квалифицированных кадров для выполнения весьма специализированных работ на алмазы. Данное обстоятельство ярко проявляется в том, что зачастую проведение поисковых работ осуществляется организациями, не имеющими опыта проведения алмазописковых работ;
- проведение работ с использованием инновационных компьютерных технологий, с одной стороны, является положительным фактом, с другой стороны, получаемые в автоматизированном режиме данные далее критически не осмысливаются с учетом анализа особенностей геологического строения территории;
- получение положительных результатов работ сдерживается также тем, что они проводятся в пределах территорий со сложными поисковыми обстановками, что требует разработки прогнозно-поисковых комплексов (ППК), адаптированных к геологическим условиям конкретных территорий.

Решение обозначенных проблем может быть осуществлено в ходе проведения:

- опережающих геолого-геофизических работ с целевым назначением «локализация прогнозируемых кимберлитовых полей» и получением однозначных прямых признаков алмазоносности, связанных с прогнозируемым полем;
- специализированных тематических работ, нацеленных на разработку эффективных ППК и новых поисковых методов, адаптированных к конкретным поисковым обстановкам.

МАГМАТИЗМ СИНЮХИНСКОГО И ЧОЙСКОГО ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЕЙ ГОРНОГО АЛТАЯ: ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА ОРУДЕНЕНИЯ

Синюхинское и Чойское скарново-золоторудные поля, по данным изотопного датирования, имеют одинаковый возраст интрузивного магматизма, но отличаются по степени окисления магм. В Синюхинском рудном поле с магматизмом окисленной серии связано крупное Синюхинское медно-золоторудное месторождение. С гранитоидами восстановленного типа в Чойском рудном поле связано золото-теллуридное оруденение, масштаб и перспективы которого до конца не раскрыты.

Ключевые слова: Синюхинское месторождение, Чойское месторождение, скарны, золото, магматизм, окисленный тип, восстановленный тип.

Крупное по запасам Синюхинское медно-золоторудное месторождение эксплуатируется с 50-х годов прошлого века. Структура его рудного поля (55 км²) обусловлена надинтрузивной позицией заливообразного плаща рудовмещающих вулканогенных и карбонатных пород усть-семинской свиты (Є₂) над пологой кровлей Синюхинского интрузивного массива. Последовательность внедрения интрузивных пород имеет гомодромно-антидромный характер. Гомодромная последовательность от габбро до гранита представлена нормальной известково-щелочной серией с преобладанием кварцевых диоритов. Антидромная ветвь фиксируется по более позднему внедрению даек умеренно-щелочных (шошонитовых) базальтоидов, монцодиоритов и монцонитов. Все интрузивные образования относятся к окисленной (магнетитовой) серии. Золотое оруденение представлено в виде золото-медно-скарнового, жильного золото-сульфидно-кварцевого и кварцево-штокверкового золото-малосульфидного.

Чойское рудное поле (45 км²) расположено в 20 км к северо-востоку от Синюхинского, в пределах террейна осадочных пород, сложенного ороговикованными и скарнированными терригенно-карбонатными отложениями тандошинской (Є₂₋₃) и ишпинской (О₁) свит. Отложения прорваны Чойским и Бийским интрузивами и роями даек долеритов, диоритов, гранит-порфиров и лампрофиров. Чойский массив имеет размеры 5 × 1–0,5 км и вытянут в широтном направлении. В его составе выделяется несколько фаз внедрения от габбро до гранитов, среди которых преобладают (~ 50 %) гранодиориты. Восточная часть Чойского рудного поля интродуцирована Бийским массивом лейкогранит-порфиров размером 3 × 1,7 км, вытянутым меридионально. Оруденение представлено золото-теллуридным и молибденит-шеелитовым в скарнах, стратиформным медно-цинк-золото-теллуридным и жильным кварц-золото-теллуридным. Рудный столб в скарнах имеет мощность 1–3,6 м, по простирацию прослежен на 70 м, по падению – 350 м. Содержания золота 5–288 г/т, среднее по рудному телу 23,2 г/т. Второе по значимости – трубообразное тело брекчий диаметром несколько десятков метров с содержанием Au 1–12 г/т (среднее 2,33 г/т) с прогнозными ресурсами золота категории Р₃ 80 т. Руды представлены низкотемпературными золото-теллуридными и золото-сульфидными парагенезисами. Золотое оруденение не имеет четкой пространственной связи со скарнами и развивается по зонам дробления в гранитоидах, в кварцевых, кварц-карбонатных и кварц-карбонат-хлоритовых прожилках с золото-сульфидной минерализацией.

Интрузивный магматизм, по геохимическим данным, относится к субдукционному типу активной окраины и по возрасту совпадает: на Синюхинском месторождении 421 ± 5 – 399 ± 2 млн лет [1], в Чойском рудном поле 416 ± 4 – 398 ± 7 млн лет [2]. Дайки внутрирудных трахидолеритов (возраст 397 ± 2 млн лет) на Синюхинском месторождении свидетельствуют о поступлении в магматический очаг порции ювенильной умеренно-щелочной базитовой магмы, вероятно, повлекшем за собой формирование крупномасштабной медно-золоторудной минерализации. На Чойском месторождении также фиксируется антидромный эпизод в развитии магматизма в виде даек долеритов и лампрофиров. Для магматических образований Синюхинского и Чойского рудных полей предполагается мантийный источник ($\epsilon\text{Nd(T)} = 3,3$ – $6,4$) с позднерифейским Nd-модельным возрастом протолита ($T(\text{Nd})_{\text{DM}} = 0,7$ – $0,8$ млрд лет) (таблица).

Sr-Nd изотопная систематика интрузивных пород Синюхинского и Чойского рудных полей

№ пп	№ проб	Возраст, млн лет	Sm, г/т	Nd, г/т	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	ε _{Nd} (T)	T(Nd) _{DM} , млрд лет	Rb, г/т	Sr, г/т	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	ε _{Sr} (T)
1	12	406	5,28	24,3	0,1313	0,512728	5,2	0,78	92,6	276	0,9695	0,709860	3,3
2	14	380	4,49	22,6	0,1202	0,512703	5,0	0,73	135,8	29	13,72	0,775779	-37,7
3	5	397	3,87	16,3	0,1438	0,512821	6,3	0,72	39,36	538	0,2113	0,705630	5,64
4	9	397	6,43	25,7	0,1513	0,512846	6,4	0,75	44,93	633	0,2051	0,705357	2,26
5	16	400	3,27	17,5	0,1134	0,512626	4,0	0,80	94,43	266	1,027	0,710769	12,6
6	15	400	4,60	25,6	0,1087	0,512584	3,4	0,82	97,91	140	2,026	0,716180	8,7

Примечание: 1–4 – Синюхинское рудное поле: 1 – гранодиориты, 2 – лейкогранит-порфиры, 3 – трахидолериты, 4 – трахиандезибазальтовые порфириты; 5, 6 – Чойское рудное поле: 5 – гранодиориты, 6 – лейкогранит-порфиры.

В раннем девоне субдукционный магматизм Алтайской активной континентальной окраины осложнялся эпизодами рифтогенеза. В Синюхинском рудном поле рифтогенные дайки трахидолеритов и трахиандезибазальтов имеют соотношения изотопов Sr и Nd, близкие к мантийному источнику типа PREMA, в Чойском рудном поле с рифтогенезом связаны дайки лампрофиров. Периодически возникающие трансформные обстановки, обусловленные «косой» субдукцией океанической литосферы, вызывали сдвигово-раздвиговые перемещения, разрывающие субдуцирующую океаническую литосферу и способствующие внедрению в разрывы астеносферных диапиров. Астеносферные окна («slab-windows») обеспечивали проникновение мантийных расплавов, с которыми связано разнообразное эндогенное оруденение, в том числе золотое.

Степень окисления магмы контролирует кристаллизацию, отделение и состав магматических флюидов, перенос элементов и отложение руд [3]. Крупномасштабное медно-золотое оруденение Синюхинского рудного поля связано с окисленным типом интрузий, прорывающих вулканогенно-карбонатный разрез. В Чойском рудном поле вмещающими интрузив являются осадочные породы, содержащие органическое вещество, вследствие чего они обогащены углеродом. Плавление этих пород в области магматического очага формировало восстановленный тип магм, с которым связано висмут-золото-теллуридное оруденение. Месторождения этого типа обычно имеют низкие (около 1 г/т) содержания Au, запасы которого могут достигать 100–500 т [3]. В Чойском рудном поле поисково-оценочные работы были направлены на выявление богатых руд, аналогичных установленным в рудном столбе в скарнах, при этом потенциал рядовых руд для золото-теллуридных месторождений не оценивался.

Список литературы:

1. Гусев Н. И., Гусев А. И. Изотопно-геохимические особенности и возраст магматизма Синюхинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2012. – № 1–2 (15). – С. 23–32.
2. Гусев Н. И., Гусев А. И. Геохимия, U-Pb возраст (SHRIMP II) и Sr-Nd изотопная систематика интрузивных образований Чойского золото-теллуридного месторождения (Горный Алтай) // Корреляция алтаид и уралид: глубинное строение литосферы, стратиграфия, магматизм, метаморфизм, геодинамика и металлогения. – Новосибирск : СО РАН, 2018. – С. 41–43.
3. Hart C. J. R. Reduced intrusion-related gold systems // Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. – 2007. – № 5. – P. 95–112.

ПЕРСПЕКТИВЫ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ ТАНЗАНИЙСКОГО КРАТОНА
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТ КОМПАНИИ SAVANNAH DIAMONDS LTD (2006–2008 гг.)

Приведен обзор результатов алмазопроисковых работ на Танзанийском кратоне за 100 лет, включая последние по времени масштабные поиски под руководством авторов, приведших к открытию примерно 400 кимберлитов, в том числе слабоалмазоносных; на основе геолого-геоморфологического картирования, обобщения данных илихового опробования, микронзондовых и геохимических исследований индикаторных минералов кимберлитов. Сделан вывод о недостаточной опробованности на кимберлиты юго-западного сектора кратона, в этом же направлении отмечается уменьшение геотермального градиента в верхней мантии, что увеличивает вероятность обнаружения здесь тел с промышленной алмазоносностью.

Ключевые слова: кимберлит, алмазоносность, кратон, Танзания, геотерма.

Республика Танзания расположена в восточной части Африканского континента сразу к югу от линии экватора. Общая площадь страны 945 000 км², из которых примерно треть занимает область распространения архейских пород, составляющих Танзанийский кратон (возраст кристаллизации ~ 2800 млн лет). Первые алмазы на территории страны были обнаружены в 1910 г. в галечниках, залегающих на поверхности кимберлитовой трубки Мабуки. К 1939 г. были открыты 44 кимберлитовых тела, из которых три вовлечены в разработку. Общая продукция до 1939 г. составила 108 тыс. карат. Новый этап развития алмазодобычи в стране начался в 1940 г., когда д-р Уильямсон открыл кимберлитовую трубку Мвадуи, до сих пор являющуюся крупнейшим по площади алмазным месторождением в мире. После смерти Уильямсона месторождение Мвадуи и его компания Williamson Diamonds Ltd (WDL) были выкуплены Де Бирс. В 2009 г. Де Бирс продал свою долю компании Petra Diamonds. Самым крупным из когда-либо обнаруженных в стране стал алмаз массой 512 карат, найденный старателем в мае 2019 г. в районе Shinyanga и проданный позже за 1,4 млн долларов.

С 1959 по 1976 г. компания Williamson Diamonds Ltd (WDL) имела исключительное право на поиски алмазов в Танзании. В это время геологами компании Де Бирс проводились систематические алмазопроисковые работы по всей стране, в основном шлихо-минералогическим методом. Опробовался современный аллювий и делювий по сети 1 × 1 м шлихами весом 30–40 фунтов (12–16 кг) из отсеянного в поле материала размером менее 5 мм. Всего опробование было проведено на площади в 200 000 квадратных миль (из 342 688 квадратных миль общей площади страны). Из опробования были исключены территории, сложенные молодыми вулканами или покрытые четвертичными осадками большой мощности. Всего на этом этапе открыты 62 кимберлитовых тела. После 1979 г. основной объем поисков геологами WDL был сосредоточен в районе Shinyanga, вокруг месторождения Мвадуи. Проведена аэромагнитная съемка, выделено около 600 аномалий, на 27 вскрыты кимберлиты, четыре из которых оказались алмазоносными. Всего в результате этих работ в Танзании было открыто порядка 350 кимберлитовых тел, менее 10 % которых содержат алмазы, а на пяти предпринимались попытки промышленной добычи. В настоящее время добыча ведется только на трубке Мвадуи. Общая площадь тела 146 га, отрабатывается открытым карьером с 1940 г. Максимальная глубина карьера в 2019 г. 95 м. Согласно опубликованным на сайте Petra данным, разведанные запасы в трубке до глубины 580 м составляют 39 млн карат при среднем содержании 3,3 кар/100 т. Всего с 1940 г. из месторождения Мвадуи добыто порядка 19 млн карат, самый крупный камень ювелирного качества весил 256,67 карат. В 2019 г. добыча составила 399 615 карат, проданных за 93 млн долларов США при средней стоимости 231 доллар за карат.

Последний по времени этап масштабных алмазопроисковых работ связан с компанией Savannah Diamonds Ltd (Д. Данкэн, А. И. Дак, Э. Ревитт, 2006–2009 гг.). Общая площадь лицензионных

площадей составила около 70 000 км². Было проведено несколько детальных аэромагнитных съемок (масштабы 1 : 20 000 и 1 : 10 000), выделено около 600 аномалий. Заверено примерно 20 %, открыты 19 кимберлитовых тел, в том числе слабоалмазоносные (< 1 кар/100 т). Работы остановлены в связи с прекращением финансирования из-за мирового финансового кризиса.

В результате столетних поисковых работ установлено, что кимберлиты Танзании образуют два коридора (западный и восточный), вытянутые с юга на север. Алмазоносные тела встречены только в западном коридоре. Подтверждены три основных возрастных этапа кимберлитового магматизма: протерозойский, мел-палеогеновый и четвертичный. Во многих телах западного коридора присутствуют ИМК алмазной ассоциации дунит-гарцбургитового парагенезиса, доля которых может составлять более 10 % от выборки.

Максимальная алмазоносность 7 кар/100 т установлена в трубке Loya (880 млн лет, данные авторов). Геоморфологический анализ показал наличие тянувшегося с юга на север регионального водораздела, разделяющего бассейны относительно многоводных водотоков, впадающих в озеро Виктория и Индийский океан, от сухих большую часть года русел, текущих в западном направлении. Также для западной области кратона характерны повышенные мощности четвертичных озерных осадков, покрывающих современный рельеф плащом толщиной 10–50 м. Обращает на себя внимание тот факт, что практически все известные кимберлиты расположены к западу от водораздела. Можно предположить, что это связано с более благоприятными условиями для формирования шлихо-минералогических ореолов рассеяния ИМК и относительной простотой обнаружения здесь кимберлитов.

Выполненное нами шлиховое опробование водотоков к западу от водораздела выявило несколько точек присутствия зерен пикроильменита, составы которых позволяют предполагать множественность их коренных источников. К сожалению, физико-химические условия выветривания в приповерхностных зонах (латеритизация и калькретизация) уничтожают зерна пиропов в осадках и коренных телах. Изучение геохимических особенностей составов пиропов из кимберлитов позволило реконструировать палеогеотерму для ряда кимберлитов из разных частей кратона и выявить признаки ее охлаждения по мере продвижения к юго-западу кратона до 40 мW/m².

Выборочная заверка аэромагнитных аномалий в этой области не привела пока к открытию кимберлитов. Магнитное поле западной части кратона осложнено развитием зоны даек основного состава и все пробуренные скважины попали в эти дайки. Возможно, требуется переинтерпретация результатов геофизических данных.

Таким образом, имеющиеся материалы позволяют предполагать значительную недоисследованность на кимберлиты юго-западной части Танзанийского кратона. Можно ожидать здесь открытия новых кимберлитовых кластеров, а по результатам реконструкции палеогеотермы – присутствия в них алмазоносных тел, возможно, с промышленными содержаниями.

Список литературы:

1. Chesler R. The geochemistry and geochronology of Tanzanian kimberlites. : thesis PhD. – University Of Melbourne, 2012. – 298 p.
2. Gobba J. M. Characteristics of diamonds in Tanzania // Africa Geoscience Review. – 1996. – V. 3, № 2. – P. 273–293.
3. Gobba J. M. Kimberlite exploration in Tanzania // Journal of African Earth Sciences. – 1989. – V. 9, № 34. – P. 565–576.
4. Griffin W. L., Ryan C. G., O'Reilly S. Y., Nixon P. H., Win T. T. Trace elements in garnets from Tanzanian kimberlites: relation to diamond content and tectonic setting // Proceedings of the 5th International Kimberlite Conference. – 1991. – P. 346–355.
5. Nixon P. H., Condcliffe E. Tanzania kimberlites: a preliminary heavy mineral study. – P. 407–418.
6. Tainton K. M., Seggie A. G., Bayly B. A., Tomlinson I., Quandling K. E. Regional variation in mantle heat flow within the Tanzanian Craton // 7th International Kimberlite Conference: Extended Abstracts. – 1998. – № 7 (1). – P. 880–882.

ГИДРОГЕННЫЕ РУДНЫЕ КОНКРЕЦИИ ПОКРОВНОГО ЧЕХЛА – ИНДИКАТОРЫ СКРЫТОГО ДРЕВНЕГО ОРУДЕНЕНИЯ ФУНДАМЕНТА (ЮЖНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

Выявление горизонта рудных конкреций в основании нижнемеловой карабильской свиты (K_1kr) покровного мезозойско-кайнозойского чехла (MZ-KZ), установление и изучение гидрогенного генезиса конкреций и самого оруденения, приуроченности его к заключительному неоген-среднечетвертичному амагматическому этапу тектоно-металлогенической активизации позволяют прогнозировать скрытое древнее оруденение в породах палеозойско-протерозойского (PZ-PR) фундамента.

Ключевые слова: рудные конкреции, продуктивный горизонт, мезозойско-кайнозойские отложения, карабильская свита, тектоно-металлогеническая активизация, глубинные рассолы нефтяного типа, рудоконтролирующий фактор.

В геологическом строении юго-западных отрогов Гиссарского хребта выделяется два структурных этажа: нижний PZ-PR фундамент, представленный магматическими и метаморфогенно-осадочными образованиями, и верхний MZ-KZ покровный чехол, сложенный осадочными породами. Мезозойско-кайнозойские отложения (покровный чехол) составляют 85 % площади, а породы фундамента – 15 %. В последнем сосредоточены основные рудные полезные ископаемые, но в данном регионе они часто труднодоступны. Поэтому особенно важным является изучение полезных ископаемых покровного чехла и установление возможных их взаимоотношений с фундаментом. Одним из таких связующих звеньев можно считать рудные конкреции нижнемеловой карабильской свиты (K_1kr), образовавшиеся на заключительном амагматическом этапе тектоно-металлогенической активизации (неоген-среднечетвертичном).

Подробное минералого-геохимическое описание конкреций приводилось ранее (Головкин А. В., Дементеев Л. И., Нинуа Т. Н., 2010). Здесь приведем только те характеристики, которые прямо или косвенно указывают на связь с породами фундамента.

Протяженность продуктивного горизонта конкреций в основании нижнемеловой карабильской свиты на поверхности составляет около 200 км, но его мощность, концентрация конкреций во вмещающих аргиллитах и содержание в них рудных компонентов разные, вплоть до полного выклинивания горизонта над соляными толщами (Тюбегатан).

По результатам математической обработки были выделены геохимические ряды интенсивности: для конкреций участка Ханатахта – ряд $Au-1000 > V-130 > Cu-20$. Для всего горизонта конкреций по преобладающим минералам и геохимической характеристике рудный тип можно охарактеризовать как золото-медно-ванадиевый. В то же время преобладающие группы с основными рудными элементами характеризуют колчеданно-полиметаллическое оруденение, широко развитое на площади в породах фундамента. Источником ванадия, вероятней всего, также являются породы фундамента, из которых этот элемент в виде ванадиевой кислоты переходит в раствор в поверхностных водах. Минералы группы деклаузита, повсеместно установленные в конкрециях, обычно образуются в зонах окисления месторождений свинцово-цинковых сульфидных руд (Бетехтин А. Г., 1950).

Для характеристики генезиса конкреций были рассмотрены три стадии организации рудных концентраций – сингенез, диагенез и катагенез-эпигенез на разных временных уровнях, начиная с Кугитангского келловей-оксфордского моря и заканчивая нижнемеловыми прибрежно-морскими и лагунными осадками. Рассматривалась миграция рудных элементов и, в частности, золота, в разных системах при различной кислотности и щелочности, с изменением окислительно-восстановительного потенциала и солености бассейнов. Установлен главный вывод – тесная связь оруденения с деятельностью высокоминерализованных глубинных рассолов нефтяного типа, содержащих значительные концентрации сероводорода и углеводородных газов.

Кроме того, было установлено, что в покровном чехле, как и в породах фундамента, наиболее благоприятным рудоконтролирующим фактором рудообразования является сложное струк-

турное строение. Но важность в рудообразовании заключительного этапа активизации – неоген-среднечетвертичного – не была оценена.

В ходе неоген-среднечетвертичного этапа тектоно-металлогенической активизации наибольшее металлогеническое значение имеет подновление глубинных зон субмеридиональной ориентации, служивших в палеозое вначале трансформными разломами, затем игравших роль крутопадающих зон постконсолидационной субдукции. К ним тангенциально причленяется ряд глубинных сколов-надвигов, заложившихся в результате давлений на Южно-Азиатскую плиту Индостанского субконтинента. Плоскости этих надвигов являются как путями проникновения рудоносных флюидов, так и экранами для них. Эти глубинные сколы-надвиги в свою очередь оперяются многочисленными межфациальными и внутриформационными разрывными нарушениями, образуя взаимосвязанные и многообразные флюидо-гидро-рудоподводящие, распределяющие и вмещающие системы.

Наиболее крупный, прослеженный на десятки километров вдоль северного склона Яккабагских гор с поворотом на ЮЗ-З в сторону Лянгара, – одноименный Лянгарский надвиг. По нему Яккабагский антиклинорий надвинут на Кашкадарьинскую мульду. Он является рудоконтролирующим для продуктивного горизонта конкреций участков Хантахта, Гурунляк, Ташкурбан.

На юго-востоке площади для участка Бабатаг с комплексным гидрогенным оруденением главной рудоконтролирующей структурой служит Бабатагский надвиг (взбросо-надвиг).

Главный практический вывод, который следует из анализа структурно-тектонического строения площади, – что гидрогенное оруденение покровного чехла образовалось на заключительном этапе тектоно-металлогенической активизации. Совместно с оруденением кристаллического фундамента оно приурочено к единым рудоконтролирующим структурам, по которым подновлялось и перераспределялось рудное вещество, и поэтому служит индикатором скрытого глубинного оруденения. Примером совместного нахождения древнего и молодого оруденения является Хандизинское рудное поле.

Для перекрытых южных склонов Яккабагских гор (Яккабагского рудного поля) наличие рудоносного горизонта конкреций с высокими содержаниями рудных компонентов на участках Хантахта, Гурунляк, Ташкурбан является прямым поисковым признаком скрытого оруденения в фундаменте. Причем участками первой очереди следует считать места высокой концентрации конкреций с максимальными содержаниями полезных компонентов. В правом борту р. Каплан-дара (среднее течение) участка Хантахта содержание золота в конкрециях составляет от 6,0 до 17,6 г/т, меди – до 4,2 %, ванадия – 3,53 %, платины – 0,3 г/т, палладия – 0,1 г/т. Вместе с тем мощность мезозойского разреза самая минимальная (450 м) и доступна для бурения.

Таким образом, изучение гидрогенного оруденения позволяет не только расширить фонд самих полезных ископаемых покровного чехла, но и получить ценную информацию о полезных ископаемых фундамента.

Джурабаев А. Б., Амиров Э. М., Оролов А. К., Садиров Р. М.
(Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева, Узбекистан, Ташкент)

Вещественный состав золотого оруденения месторождения ТАУШАН (ГОРЫ КУЛЬДЖУКТАУ, ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ)

Выявление вещественного состава руд и характера распределения основных и сопутствующих оруденению элементов, которые обусловлены условиями их формирования, несут важную информацию о характере рудообразующей системы и используются как поисковые признаки [2]. В данном сообщении приведены результаты изучения минерального состава золотого оруденения гор Кульджуктау в Центральных Кызылкумах и особенностей распределения элементов, а также выяснение возможности использования полученных результатов в прогнозно-поисковых работах.

Ключевые слова: Кульджуктау, золотое оруденение, минеральный состав, распределение элементов, средние содержания, кларки, корреляционные связи, поисковые признаки.

Исследования проводились по материалам месторождения Таушан (и частично рудопрооявления Перевальное), которое является наиболее значимым в промышленном отношении золоторудным объектом гор Кульджуктау. Минералого-геохимические изыскания включали оптическое изучение шлифов, содержания элементов определялись методом масс-спектрометрии в индуктивно связанной плазме (ISP-MS).

Участок месторождения Таушан сложен терригенными отложениями таушанской свиты. Подстилающие и перекрывающие мраморизованные известняки девона прослеживаются на севере площади и в виде тектонических линз в южной и западной частях месторождения [4]. Литологический состав свиты довольно пестрый и представлен чередованием песчаников, алевролитов, филлитовидных сланцев. Терригенно-осадочные отложения прорваны дайками лампрофиров. Наиболее широко проявлены дайки спессартитов (диоритовых порфиритов, микродиоритов). Эти дайки имеют субширотное простирание ($300\text{--}340^\circ$), мощность от 1 до 20 и более метров и протяженность до 200 м. Углы падения крутые ($60\text{--}80^\circ$) на север.

В структурном плане месторождение Таушан представляет собой систему сближенных субпараллельных складок синформной морфологи, разделенных разрывами субширотного и северо-восточного простирания. Они сопровождаются окварцеванием, перераспределением углеродистого вещества и сульфидной минерализацией. В результате последовательного проявления складчато-разрывных структур при формировании месторождения образовалась сложная мозаично-блоковая инфраструктура, которую в целом можно охарактеризовать как линейно-ориентированный штокверк [3].

С поверхности минерализованные зоны и рудные залежи имеют значительный горизонтальный размах – 50–200 м. В вертикальном разрезе с глубиной они закономерно уменьшаются и объединяются в крутопадающие зоны (рудные столбы), образуя структуру типа так называемого «конского хвоста» [1].

В зоне окисления в приповерхностной части месторождения рудовмещающие породы в значительной степени ожелезнены, обогащены арсенатами железа, гидроксидами марганца, в результате чего рудные зоны приобретают буроватые оттенки до охристой, темно-коричневой и красноватой окраски. По массе окисленных руд неравномерно распределены сильнокатаклазированные гнездовидные выделения окислов марганца, по составу относящиеся, вероятнее всего, к группе псиломелана (криптомелан, голландит, коронадит). Под микроскопом при больших увеличениях отчетливо видна небольшая разница на уровне отражательной способности, а также в строении зерен: одни более плотные и компактные, другие же чешуйчатые, волокнистые. Из чего следует вывод о том, что эти выделения представляют собой тонкую смесь вышеперечисленных минералов.

Более высокие степени концентрации элементов характерны для теллура (101), селена (95), мышьяка (93), менее – для золота (24), сурьмы (13), серебра (10), висмута (9) и вольфрама и молибдена (4). Значения других элементов низкие. Содержания редкоземельных элементов в изученных пробах низкие (ниже кларка).

Золото образует значимую корреляционную связь с мышьяком (0,9), молибденом (0,7), теллуром, висмутом (до 0,6), вольфрамом (0,75). Эти связи свидетельствуют о проявлении более высокотемпературных минерально-геохимических ассоциаций при формировании золотого оруденения месторождения Таушан.

Выводы:

1. Минерализованные зоны площади представлены зонами дробления и окварцевания. Сложены гетит-гидрогетитами, развивающимися по трещинам в породах, и отдельно в виде гнезд и вкрапленностей. В кварце из зоны окисления встречаются реликты пирита: в трещиноватой кварцевой породе изредка встречаются вкрапленные микрозерна пирита размером не более 0,01 мм (м-фото), форма зерен неправильная полигональная.

2. Характер распределения главных и сопутствующих элементов показывает, что золото образует сильную корреляционную связь с мышьяком, вольфрамом, молибденом, теллуром и менее

с висмутом. Эти связи свидетельствуют о проявлении более высокотемпературных минерально-геохимических ассоциаций при формировании золотого оруденения месторождения Таушан.

Хотя кларки концентрации вольфрама и молибдена невысокие, эти элементы также могут быть использованы как поисковые критерии золотого оруденения наряду с мышьяком, теллуром, сурьмой и др.

3. Содержания редкоземельных элементов в рудах низкие (ниже кларка).

Список литературы:

1. Айсанов Я. Б. Тектоническое строение палеозоя гор Кульджуктау // Узбекский геологический журнал. – 1969. – № 5.
2. Бискэ Ю. С. Палеозойская структура и история южного Тянь-Шаня – СПб. : СПбГУ, 1996.
3. Гранитоидные формации Узбекистана / под ред. И. М. Исамухамедова. – Ташкент, 1970.
4. Эволюция и типы магматизма Западного Тянь-Шаня / под ред. Т. Н. Далимова, И. Н. Ганиева. – Ташкент, 2010.

Донец А. И. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

КЛАССИФИКАЦИЯ И ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД НЕСУЛЬФИДНЫХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрено геологическое строение трех групп месторождений несulfидных свинцово-цинковых руд. Группа I включает в себя месторождения преимущественно каламиновых руд, образовавшихся при окислении и замещении первичных руд свинца и цинка. В группу II входят преимущественно виллемитовые залежи в терригенно-карбонатных и карбонатных толщах. Группа III представлена гипергенными залежами гидросиликатов и гидрокарбонатов свинца и цинка, которые сформировались в коре выветривания и зоне окисления первичных сульфидных руд этих металлов.

Ключевые слова: несulfидные свинцово-цинковые руды, минеральный состав и запасы руд, содержание металлов, геохимические ореолы.

Месторождения несulfидных свинцово-цинковых руд вызывают у горнодобывающих компаний и исследователей значительный интерес, обусловленный высокими концентрациями металлов в рудах (Zn до 50, Pb до 9 %), высокой технологичностью процессов переработки и относительно слабым загрязнением окружающей среды. Последнее связано в основном с незначительным присутствием в рудах сульфидов, генерирующих при переработке серную кислоту [1].

В [2] на основе анализа и обобщения данных о геологическом строении, минералогии, геохимии, времени формирования руд, составе и возрасте вмещающих пород месторождения несulfидных руд разделены на три группы.

Группа I включает в основном месторождения каламиновых руд $Zn_4[(OH)_2Si_2O_7]H_2O$ (со смитсонитом $ZnCO_3$, гидроцинкитом $Zn_5[(OH)_3CO_3]_2$), тесно связанные со стратиформными свинцово-цинковыми месторождениями в карбонатных породах. К рассматриваемой группе относятся несulfидные залежи месторождений Верхней Силезии в Польше (Бытом), Испании, Бельгии, Таиланде (Паданг) и др. На месторождении Бытом в период с 1960 по 1989 г. добыто 17,3 млн т несulfидной руды со средним содержанием Zn 17,2 % (всего 2,97 млн т Zn). Несulfидные руды сформировались при окислении первичных сульфидов свинца и цинка поверхностными водами, циркулирующими в рудовмещающих породах по разломам и зонам трещиноватости. Несulfидные руды сложены мелкозернистым гемиморфитом (каламином), смитсонитом, гидроцинкитом и церусситом.

На месторождении Паданг (Тайланд) несulfидные руды (запасы 4,59 млн т со средним содержанием Zn 28,9 % – всего 1,26 млн т металла) выполняют карстовые воронки и гнезда непосредственно под первичными сульфидными рудами и обогащены цинком.

Группа II месторождений несulfидных свинцово-цинковых руд включает преимущественно виллемитовые (Zn_2SiO_4) залежи в среднепротерозойских толщах на месторождениях Белтана (Австралия), Вазанти (Бразилия), Франклин и Стерминг-Хилл (США) и Кабве (Замбия).

На месторождении Белтана рудные тела линзообразной и клиновидной формы приурочены к приразломной карстовой воронке глубиной >100 м, в центральной части которой размещаются богатые руды (Zn до 40 %), сложенные виллемитом и коронадитом с небольшим количеством гедфана и смитсонита.

Исследования газовой-жидких включений показали, что температура рудообразования варьирует от 50 до 170°.

Список литературы:

1. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Свинец и цинк» / Г. В. Ручкин, В. Д. Конкин, А. И. Донец [и др.]. – М. : ЦНИГРИ, 2002.
2. Boni M, Large D. Nonsulfide zink mineralization in Europe: an overview // Economic Geology. – 2003. V. 98, № 4. – P. 715–729.
3. Classification, genesis and exploration guides for nonsulfide zinc deposits / W. Murray, D. Hitsvan, N. A. Reynolds [et al.]. // Economic Geology. – 2003. – V. 98, № 4. – P. 683–685.

**Дьячков Б. А., Мизерная М. А., Бисатова А., Мирошникова А. П., Кузьмина О. Н.,
Зимановская Н. А (НАО «ВКТУ им. Д. Серикбаева»)**

К ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО АЛТАЯ

Рудный Алтай является уникальной платформой, в которой сосредоточено огромное количество полиметаллических месторождений. Цель данной статьи заключается в уточнении и углублении выясненных ранее закономерностей формирования колчеданных руд в пределах Казахстанской части Рудного Алтая на основе современных научно-методических технологий.

Ключевые слова: Рудный Алтай, колчеданно-полиметаллические месторождения, рудообразование, генезис.

Рудный Алтай является хорошо известным регионом с развитым минерально-сырьевым комплексом. В его пределах сосредоточены многие промышленные месторождения меди, свинца, цинка, золота, серебра и других металлов, расположенные в Лениногорском, Зыряновском, Прииртышском, Змеиногорском и Рубцовском рудных районах, образуя крупный Рудноалтайский медно-полиметаллический пояс [1].

В изучение геологии и металлогении Рудного Алтая большой вклад внесли многие исследователи (П. П. Буров, Н. П. Курек, А. К. Каюпов, Н. Л. Бубличенко, П. Ф. Иванкин, Г. Н. Щерба, В. В. Попов, Б. А. Чепрасов, Д. И. Горжевский, Г. Ф. Яковлев, В. В. Авдонин, В. И. Старостин, М. Г. Хисамутдинов, В. М. Чекалин, Х. А. Беспасев, Ю. И. Демин, Н. И. Стучевский, Г. Д. Ганженко и др.). На протяжении всего периода исследований одним из наиболее спорных был вопрос о генезисе крупной рудоносной структуры Рудного Алтая.

В настоящее время известны три гипотезы формирования полиметаллических месторождений Рудного Алтая: интрузивная, эффузивная и принятая в настоящей статье вулканогенная. В соответствии с ней колчеданно-полиметаллические руды образовались в герцинский цикл в риф-

тогенной геодинамической обстановке (D_1 – D_3) до проявления главной саурской (C_1) фазы складчатости, интенсивного многоактного расщепления и смятия пород, становления гранитоидных интрузий Змеиногорского, Калбинского комплексов и их дериватов. Главным источником рудоносных растворов являлись сложнодифференцированные глубинные очаги базальтоидного магматизма. Руды сформировались синхронно с образованием девонских вулканогенно-осадочных отложений и флюидно-порфировых комплексов. Рудные тела значительной части месторождений претерпели вторичные наложенные тектонические, магматические, гидротермальные преобразования, что существенно усложнило их минеральный состав [2].

По современным представлениям в среднем палеозое Рудный Алтай представлял собой активную континентальную окраину Алтае-Саянской складчатой области. В начале палеозоя по юго-западному краю Алтайского микроконтинента сформировалась система сближенных субпараллельных и кососекущих глубинных разломов северо-западного направления, проникающих в активизированную верхнюю мантию, падающих на северо-восток под углами 60 – 70° . Они способствовали формированию специфического, линейно-вытянутого в северо-западном направлении тектоно-магматического литосферного блока Рудного Алтая, заключенного между Иртышской и Северо-Восточной зонами смятия. Мозаично-блоковое строение рифтогенных зон, в пределах которых формировались вулканотектонические поднятия (Рубцовское, Алейское, Синюшинское, Ревнюшинское и др.), являлись областями интенсивного проявления преимущественно средневерхнедевонского кислого (риолитового) вулканизма. Эти поднятия ограничивались зонами глубинных разломов, в связи с которыми развивались вулканотектонические депрессии, заполненные преимущественно известково-терригенными толщами с телепирокластическими осадками и вулканическими образованиями базальт-андезит-риолитовой формации (D_{2gv} – D_{3fm_1}).

Возникшие рудоносные вулканотектонические структуры при более поздних геодинамических режимах (коллизонные сжатия, субвертикальные растяжения, горизонтальные сбросо-сдвиговые перемещения по тектоническим зонам) были значительно преобразованы и усложнены вместе с рудными телами.

Накопление флюидов и концентрированная миграция рудонасыщенных потоков представляют главными для потенциальной продуктивности всей рудообразующей системы Рудного Алтая, а наличие благоприятных структурных элементов способствовало формированию флюидно-магматогенных комплексов с зональным размещением рудогенных элементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Au др.).

По физико-химическим, геолого-структурным и минералого-геохимическим особенностям рудообразования и практической значимости выделены основные генетические типы колчеданно-полиметаллического оруденения: гидротермально-осадочный и гидротермально-метасоматический. К первому стратиформному вулканогенно-осадочному типу относятся месторождения, рудные тела которых локализуются среди неизмененных или слабоизмененных осадочно-пирокластических и магматических пород, несущих свинцовое, свинцово-цинковое, золото-колчеданное и колчеданно-полиметаллическое оруденения (2-я Риддерская залежь Риддер-Сокольного месторождения, Календарское, Верх-Убинское, Осеннее, Банное, Никитинское, Никандровское, Пневское месторождения и Южно-Алтайская группа рудопроявлений).

Гидротермально-метасоматический тип колчеданно-полиметаллического и медно-цинкового оруденения является основным на Рудном Алтае. Он тесным образом связан с рифтогенными тектоно-магматическими процессами герцинского цикла среднего–верхнего девона и становлением субвулканических порфировых тел, которые сопровождаются мощными ареалами гидротермально-метасоматических пород (до гидротермалитов и метасоматитов) и колчеданным оруденением в виде отдельных рудных тел и залежей.

К этому типу относятся крупные и уникальные месторождения Рудного Алтая, находящиеся в пространственно-структурных связях с субвулканическими порфирами (Орловское, Золотушинское, Артемьевское, Николаевское, Тишинское, Зыряновское, Малеевское, Иртышское и др.). Последние занимают до 40 – 80 % объема сформированной РМС и имеют преимущественно лополитообразную и субпластовую форму, уходя своими корнями в зоны магмоподводящих глубинных разломов, расположенных по периферии крупных вулканотектонических поднятий.

Минеральный состав большинства месторождений довольно однообразен: галенит, халькопирит, сфалерит, пирит, золото и др. Отмечаются также блеклые руды, мельниковит-пирит, пир-

ротин, магнетит, многочисленные минералы серебра, теллура и других элементов. Такое постоянство вещественного состава руд позволяет предполагать однотипный источник рудного вещества, близость генетических типов месторождений, состава рудообразующих растворов и флюидных потоков

Рудоносные флюиды содержали широкий спектр рудных элементов (Cu, Pb, Zn, Fe, S, As, Au, Bi, Te и др.), литогенных (Si, Mg, Ca, K и др.) и растворенных газов (CO_2 , N_2 , H_2S , SO_2 , S, HCl, F, Cl, H, H_2O).

Стратиформный тип руд сформировался из холодноводных углекислых, сернистых и железистых растворов, обогащенных рудными элементами, в результате смешивания их с морскими водами при температуре менее 100°C и давлении 100–600 бар. В рудообразующих растворах, по данным водных вытяжек, выявлены ионы Na^+ , Ca^{++} , K^+ , HCO_3^- , газы – CO_2 , H_2 , S и др. Морская вода играла важную роль физико-химического барьера для рудоносных растворов. Здесь же формировались кремнистые, карбонатные и органогенные осадки с рассеянным типом оруденения. О едином, глубинном источнике серы всех типов месторождений и генетической близости руд свидетельствуют показатели изотопного состава серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}$ от $-4,5$ до $+10$ ‰).

Гидротермально-метасоматические руды образованы теми же первичными растворами, но при меньшем влиянии морской воды и усилении изменений режима кислорода и серы, более высоких *PT*-условиях. Основная масса сульфидов сформирована при температуре 200–350 $^\circ\text{C}$ и давлении 300–1500 бар. Изотопный состав серы сульфидов не отличается от состава серы большинства колчеданно-полиметаллических месторождений и близок к метеорной, варьируется в узком интервале значений ($\delta^{34}\text{S}$ от $-4,2$ до $+5,2$ ‰, основная часть проб – от $-2,2$ до $+2,0$ ‰).

В целом гидротермально-метасоматические руды имеют более сложный минеральный состав с повышенными концентрациями элементов-примесей (висмута, теллура, золота, серебра, сурьмы и др.), фиксируемых в виде субмикроскопических включений в блеклых рудах, галените, халькопирите, сфалерите с возрастанием содержаний от ранних парагенезисов к поздним. Глубина формирования первичных руд оценивается от 0,2–0,5 до 1,5–3 км.

Приведенные данные воссоздают общую картину рудообразования с восходящей пульсирующей вадозно-гидротермальной системой растворов с ювенильными продуктами (Cu, Pb, Zn, Fe, S, Ag, Au, Bi, Se, Te, Pt и др.) и элементами выщелачивания (Ca, Mg, Si, K и др.) в неустойчивых термодинамических и физико-химических условиях. С этой точки зрения, основные месторождения Рудного Алтая нельзя считать полигенными, так как оруденение сформировано единым источником рудного вещества, генерированного общей рудоносно-флюидной системой [3].

Исходя из разнообразия механизмов формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, длительности проявления процессов рудообразования, последующего преобразования и трансформации рудных объектов, целесообразно систематизировать обширные геологоразведочные материалы, касающиеся генетических особенностей формирования структур и размещения в них полиметаллического, золотосеребряного, редкометалльного и редкоземельного оруденения. Необходимо также продолжить изучение минерального состава рудных ассоциаций с широким использованием современных высокоточных методов исследований и на этой основе выполнить прогнозную оценку глубокозалегающих объектов.

Список литературы:

1. Ганженко Г. Д., Юдовская М. А., Викентьев И. В. Золото-полиметаллическая минерализация Риддер-Сокольного месторождения на Рудном Алтае (Восточный Казахстан) // Минералогия. – 2018. – № 4 (1). – С. 8–31.
2. Париков Ю. С. Генезис основных типов месторождений цветных металлов Казахстана (по результатам изучения флюидных включений). – Алматы, 2012. – 266 с.
3. Chekalin V. M., Dyachkov B. A. Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization // Geology of Ore Deposits. – 2013. – V. 55, № 6. – P. 513–532.

Ефанова Л. И.¹, Тарбаев М. Б.³, Кузнецов С. К.¹, Майорова Т. П.^{1,2} (¹ ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ² ФГБОУ Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, ³ Отдел геологии и лицензирования Департамента по недропользованию по Северо-Западному федеральному округу по Республике Коми)

ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ МАНИТАНЫРДСКОГО РАЙОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Проведен анализ материалов поисковых работ, проводившихся в пределах Манитанырдского золотоносного района (Полярный Урал), входящего в состав Воркутинской опорной зоны Арктики. Дана характеристика геологического строения и вещественного состава руд проявлений Верхненяюского-2 и Нияхойского-2. Определены перспективы наращивания ресурсного потенциала района.

Ключевые слова: Манитанырдский золоторудный район, Полярный Урал, золото-сульфидная минерализация.

Манитанырдский район, находящийся на западном склоне Полярного Урала, представляет большой интерес в отношении золотоносности. К настоящему времени здесь в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах доордовикского возраста выявлен ряд гидротермальных золото-сульфидных, золото-сульфидно-кварцевых проявлений и многочисленные пункты минерализации. Основные рудопроявления приурочены к разрывным нарушениям северо-восточного простирания, к антиклинальной складке с благоприятным составом пород и сериям даек габбро-долеритов. Выделяется Манитанырдская рудная зона протяженностью более 18 км.

Наиболее изученным является рудопроявление Верхненяюское-2, локализованное в вулканитах основного состава бедамельской серии позднего рифея–венда. Залегание пород моноклиналиное, простирание северо-восточное (35–50°), падение на восток под углом 60–70°. Горными выработками вскрыты 4 жильные зоны, каждая мощностью 4–6 м и протяженностью 1200 м, прослеженные на глубину на 240 м. По минеральному составу руды являются пирит-арсенопиритовыми с халькопиритом, галенитом, сфалеритом [2]. Важной особенностью месторождения является устойчивое обогащение пирита примесью мышьяка. Ранее без утвержденных кондиций подсчитаны запасы золота по категории $C_1 + C_2$ в количестве 3423 кг при содержании 4,8 г/т на мощность 0,68 м. Запасы серебра составляют 10 889 кг при содержании 15,2 г/т, запасы мышьяка – 11 827 т (Севастьянов, 1965 г.). Оруденение отнесено к жильному золото-сульфидно-кварцевому геолого-промышленному типу.

Кроме Верхненяюского-2, известны рудопроявления Верхнелекелецкое, Верхненяюское-1, Ягодное, Нияхойское-2, Нияхойское-1, локализованные в одной тектонической зоне север-северо-восточного простирания. Вмещающими породами для них являются рассланцованные туфо-алевролиты и туфопесчаники енганэпейской свиты позднего венда–раннего кембрия, прорванные метадолеритами ордовикского возраста.

Особый интерес представляет рудопроявление Нияхойское-2, где на протяжении 160 м выработки вскрывают катаклазированные, с вкраплениями сульфидов, окварцеванные, хлоритизированные, карбонатизированные туфопесчаники, содержащие большое количество согласных кварцевых, кварц-хлоритовых, кварц-карбонатных и кварц-сульфидных жил и прожилков север-северо-восточного простирания (аз. пр. ССВ 20–30°, аз. пад. ЮВ, угол 50–70°). Оруденение сосредоточено в 20-метровом интервале катаклазированных песчаников между интрузией метадолеритов и сместителем разлома (глинка трения). Содержание золота во вмещающих породах колеблется на уровне аномальных 0,03–0,089 г/т, достигая рудных значений: 2,09 г/т (на мощность 0,6 м), 1,62 г/т (0,6 м), 2,24 г/т (1 м). Важно заметить, что золотоносными являются гидротермально измененные породы с вкраплениями сульфидов, не содержащие жилы. В указанном рудном интервале спорадически развиваются желто-коричневые пятна катаклазитов мощностью 0,2–1 м, протяженнос-

тью 1,5–6 м, в центральной части которых отмечаются тонкие (1–5 см) кварц-сульфидные прожилки длиной 1–3 м, расположенные кулисообразно. Все прожилки в высокой степени золотоносны: начиная от первых до десятков (5,16–16,45), до сотен (146,36–440,35) граммов на тонну. И в прожилках, и во вмещающих породах золото прямо коррелирует с Pb, Ag, Pb, Zn, Bi, As, Sb. По минеральному составу рудная минерализация подобна проявлению Верхненижнекамское-2 [3, 4].

Приповерхностные части всех рудопроявлений затронуты процессами выветривания. Выветрелые породы представлены рыхлыми обохренными сланцами разного состава, глинами. Их положение маркируется бурой или пятнисто-бурой окраской, наличием кварцевых жил, часто с сухаревидным кварцем или кварцевой щебенки. До глубины 15–60 м (в меньшей степени до 150–190 м) руды окислены. Основными минералами окисленных руд являются лимонит, скородит, практически повсеместно отмечается присутствие халькозина, борнита, ковеллина [1].

Несмотря на большой объем выполненных ранее работ, ресурсный потенциал Манитаньрдской рудной зоны раскрыт не в полной мере. Нарращивание ресурсов и запасов золота возможно за счет доизучения рудопроявлений Верхнелекеевское, Верхненижнекамское-1, Ягодное, Нияхоевское-2 и Нияхоевское-1, локализованных в породах енганэпейской свиты. Наблюдения свидетельствуют о золотоносности межжильного пространства и линейно-штокверковом характере оруденения. Широкому развитию прожилково-вкрапленной и вкрапленной минерализации способствовали значительный катаклиз пород и, соответственно, их большая проницаемость для рудообразующих растворов

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-45-110006 р_а и темы НИР ИГ КОМИ НЦ УрО РАН (ГР № АААА_А-17-11721270036-7).

Список литературы:

1. Ефанова Л. И., Симакова Ю. С. Артеева Т. А., Донцов А. Б. Мезозойско-кайнозойские коры выветривания на хребтах Манитаньрд и Енганэпэ // Труды ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2009. – Вып. 125. – С. 29–38.
2. Кузнецов С. К., Майорова Т. П., Сокерина Н. В., Филиппов В. Н. Золоторудная минерализация Верхненижнекамского месторождения на Полярном Урале // Записки Российского минералогического общества. – 2011. – Ч. СХХХХ, № 4. – С. 58–71.
3. Майорова Т. П., Ефанова Л. И. Новые данные по золотоносности кряжа Манитаньрд – Нияхоевское рудное поле, проявление Нияхоевское-2 // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России : материалы XVII Геологического съезда Республики Коми. – Сыктыв-кар : ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019. – Т. 111. – С. 204–206.
4. Майорова Т. П., Ефанова Л. И. Проявление золото-мышьяковистого типа Нияхоевское-2 на Полярном Урале (кряж Манитаньрд) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2019. – № 8. – С. 33–41.

Загайный А. К., Микоев И. И., Лобкова Л. П., Николаева Э. В., Антонов С. А. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ ЯКУТИИ МИРНИНСКОГО ТИПА

На основе анализа и обобщения опубликованных и фондовых материалов разработана модель коренного месторождения алмазов мирнинского типа. Прогнозно-поисковая модель коренного месторождения представляет собой совокупность достаточно устойчивых предпосылок (факторов, критериев) и признаков (прямых и косвенных) алмазности. Приводится их краткое описание применительно к модели Мирнинского поля и месторождения алмазов мирнинского типа.

Ключевые слова: алмазы, кимберлитовая трубка, прогнозно-поисковая модель месторождения, Якутия.

В настоящее время все известные коренные месторождения алмазов Сибирской платформы сосредоточены в пределах пяти кимберлитовых полей: Мирнинского, Накынского, Алакит-Мархинского, Далдынского и Верхнемунского. Геологическое строение каждого из них существенно отличается от остальных, поэтому прогнозно-поисковая модель коренного месторождения алмазов разрабатывается для каждого поля в отдельности.

Ранее уже проводились работы подобного типа, однако, как отмечают многие специалисты, модели месторождений являются «текущими» и по мере поступления новой информации могут претерпевать значительные изменения, то есть периодически должны обновляться.

Кроме того, результаты проведенных исследований изложены в основном в производственных отчетах и известны лишь узкому кругу специалистов. В данной работе в концентрированном виде приведено описание прогнозно-поисковой модели месторождения алмазов Якутии мирнинского типа, составленной с использованием всей имеющейся на данный момент информации.

Разработка модели месторождения алмазов проводилась с учетом Методических рекомендаций по ведению алмазопроисловых работ, составленных специалистами ФГБУ «ЦНИГРИ» на основе опыта работ и новых данных, полученных в период 2003–2018 гг.

При составлении модели коренного месторождения алмазов Мирнинского типа были проведены анализ и обобщение опубликованных и фондовых материалов различных исследователей, использованы данные, полученные в ходе выполнения тематических, научно-исследовательских и геологоразведочных работ в Мало-Ботуобинском районе и на сопредельных территориях.

Известно, что прогнозно-поисковая модель коренного месторождения алмазов включает все элементы моделей более крупных минералогических таксонов. Считается, что модели полей, районов и т. д. для Сибирской платформы составлены ранее, поэтому в данной работе будут приведены только их наиболее важные элементы.

Модель каждого из таксонов представляет собой совокупность достаточно устойчивых предпосылок (факторов, критериев) и признаков (прямых и косвенных) алмазности, к основным из которых относятся структурно-тектонические, глубинные (геофизические) и минералогические. Приводится их краткое описание применительно к модели Мирнинского поля и месторождениям алмазов мирнинского типа.

1. Структурно-тектонические предпосылки:

- приуроченность к Маганскому террейну Анабарского геоблока архейской стабилизации (архону);
- расположение в пределах крупной положительной структуры – Непско-Ботуобинской антеклизы;
- размещение на западном борту (плече) Вилуйского (Патомско-Вилуйского) рифейского авлакогена, активизированного в палеозое;
- локализация в узлах пересечения региональной северо-восточной Вилуйско-Мархинской кимберлитоконтролирующей зоны с разломами северо-западного направления;
- приуроченность к Западному, Параллельному и Центральному рудоподводящим разломам Вилуйско-Мархинской зоны и оперяющим их рудовмещающим нарушениям северо-западного простирания;
- связь с присдвиговыми структурами растяжения (дуплеками и пулл-апарт структурами).

2. Характерные особенности глубинного строения:

- увеличение мощности литосферы со 150–200 до 280 км и более;
- понижение теплового потока до 20–30 и менее мВт/м² на фоне 40–50 мВт/м²;
- погружение поверхности Мохоровичича до глубин 46–58 км на фоне 40 км;
- повышение средней граничной скорости продольных волн по границе Мохоро до 8,4–8,6 км/с относительно 8,2 км/с.

3. Результаты интерпретации материалов космических съемок:

- малоамплитудные купольные (блоковые) поднятия;
- кольцевые структуры диаметром около 8–15 км;
- участки повышенных значений плотности линий водотоков и водоразделов;
- блоки с изотропной ориентировкой водотоков и хребтов, контакты блоков с различной (контрастной) степенью изотропности;

- зоны контрастных значений плотности линеаментов.

4. В пределах Мирнинского поля установлены трубки взрыва (преобладают) и дайки кимберлитов. Размеры трубок от 490×320 до 120×80 м, возраст – D_3-C_1 ; эрозионный срез – 300–450 м.

5. Петрофизические свойства кимберлитовых тел: повышенная магнитная восприимчивость и электрическая проводимость, в меньшей степени – пониженная плотность. В магнитном поле трубки выделяются положительными аномалиями, в поле силы тяжести – отрицательными, по данным электроразведки – аномалиями повышенной проводимости.

6. В строении кимберлитовых тел кратерные фации отсутствуют, установлены многофазные (трубки Мир, Интернациональная) и однофазные (трубки XXIII съезда КПСС, Спутник) тела. Выделяют порфировые (или массивные) кимберлиты, кимберлитовые брекчии и автолитовые кимберлитовые брекчии.

7. Кимберлитовые породы Мирнинского поля относятся к петрохимическому типу I: магнезиально-железистые (трубка Мир), высокомагнезиальные (трубки Интернациональная, XXIII съезда КПСС), магнезиальные (трубка Дачная) и промежуточные (трубка Таежная, Амакинская).

8. Кимберлиты содержат большое количество ИМК. В большинстве тел пикроильменит преобладает над пиропом, но есть и обратные соотношения.

9. Все тела Мирнинского поля в той или иной степени алмазоносны. По типоморфным особенностям и физическим свойствам кристаллов алмазов кимберлитовые трубки делятся на три группы.

10. На территории активно проявились верхнепалеозойская, мезозойская и кайнозойская эпохи россыпеобразования. В разрезе посткимберлитовых отложений установлены 14 алмазоносных горизонтов: три – PZ_3 , четыре – MZ и семь – KZ . Россыпи характеризуются однотипной ассоциацией алмазов, источниками которых являлись трубки Мирнинского поля.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработана уточненная прогнозно-поисковая модель коренного месторождения алмазов мирнинского типа. Всесторонне охарактеризованный образ искомого промышленно-алмазоносного объекта позволит выделить перспективные для поисков площади не только в пределах Мирнинского поля и Мало-Ботуобинском районе, но и на обширных окружающих территориях.

Заернюк В. М., Чжан Чи (МГРИ)

РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ КИТАЯ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассмотрены основные тенденции развития золотодобывающей отрасли Китая, к которым относятся наращивание производственных мощностей и увеличение объемов ресурсной базы. Показаны существующие проблемы и текущий уровень сохранения ресурсной 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 горнодобывающая промышленность получила широкое развитие.

В последние годы в китайской золотодобывающей отрасли наблюдаются 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 [4].

Согласно данным исследования GFMS Thomson Reuters, на сегодняшний день больше всего золота добывается в Китае – 399,7 т (по итогам 2018 г.). 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 и 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. 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 ресурсов, что привело к снижению темпов экономического развития горнодобывающей промышленности. Более того, добыча 9 видов полезных ископаемых, таких как уголь и железо и др., в Шаньдуне понесла убытки. Хотя и со снижением золотодобывающая отрасль провинции Шаньдун все же получила совокупную прибыль в размере 1 737 млрд юаней. Это 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 три критерия, представляющие так называемый «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 провинции Шаньдун на регулярной основе проводится мониторинг по результатам внедрения «трехуровневого» стандарта для ресурсов золотых рудников 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 общей сложности 116 золотодобывающих компаний (3 открытых и 113 подземных) заполнили вопросник с показателями «трехуровневого» стандарта 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 опубликовало 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 г. / Союз золотопромышленников России.
2. Wang Li, Chang Hongliang, Yin Jiguang [et al.] 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). – 1220 p.

Заикина А. В., Лукашова М. В. (ООО «Тескан»)

**ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
НА СКАНИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОННОМ МИКРОСКОПЕ ДЛЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ ОБРАЗЦОВ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Настоящая работа демонстрирует возможности автоматизированного минералогического анализа на сканирующем электронном микроскопе TESCAN TIMA на примере исследования порошковой пробы хвостов концентрационного стола золоторудного месторождения. Целью исследования было определение форм нахождения золота. С помощью системы TIMA за короткое время (~ 20 минут на каждую шайбу) и с высокой надежностью были обнаружены все зерна золота размером от 0,8 мкм и крупнее, попавшие в изучаемые аншлифы, также определена степень раскрытия и ассоциации золота с другими минералами.

Ключевые слова: сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), энергодисперсионный рентгеновский спектрометр (ЭДС), пробоподготовка методом двойной заливки, автоматизированный поиск золотосодержащих частиц, минералогический анализ.

В силу низких содержаний и малых размеров зерен минералов, содержащих драгоценные металлы, высокой локальностью должны обладать аналитические методы, применяемые при поиске новых и переоценке известных месторождений драгоценных металлов и изучении технологических процессов обогащения руд. Одним из таких методов, позволяющих исследовать свойства объектов на микроуровне, является сканирующая электронная микроскопия. СЭМ в комплекте с системой микроанализа ЭДС получает изображения поверхности аншлифа и одновременно определяет элементный состав каждого зерна, что позволяет однозначно установить, содержит ли обнаруженное зерно драгоценные металлы, также зачастую по составу удается идентифицировать минерал или хотя бы минеральную группу. Тяжелые фазы на электронных изображениях выглядят светлыми (почти белыми), поэтому, работая вручную, оператор СЭМ должен проверять составы всех встречающихся белых зерен, чтобы сделать выводы о количестве золотосодержащих включений в данном образце. Так как типичный аншлиф имеет площадь несколько квадратных сантиметров, а искать надо микронные зерна, то подобного рода исследования очень трудоемки и чреваты возникновением субъективных ошибок [1]. Поиск труднообнаружимых минералов можно вывести на качественно новый уровень с помощью автоматизированного минералогического анализа на СЭМ.

В качестве примера приведем результаты исследования, объектом которого была порошковая проба хвостов концентрационного стола золоторудного месторождения. Работа по поиску частиц, содержащих золото, выполнялась на СЭМ TIMA с вольфрамовым катодом производства TESCAN (Чехия). Из порошковой пробы было изготовлено три реплики А, В и С методом двойной заливки, что компенсирует негативное влияние от возможной сегрегации частиц по плотности поперек залитой шайбы [2]. Поиск золотосодержащих частиц проводился в TIMA-режиме

«Поиск тяжелых фаз», т. е. сканировались не все зерна, а только те, которые потенциально могут содержать благородные металлы. На электронных снимках, полученных с помощью детектора обратно рассеянных электронов BSE, искомые зерна выглядят белыми точками. Если найдена «белая точка», то сканируется не только искомое зерно, но и его частица-хозяин [3], чтобы иметь информацию о минеральных ассоциациях. Для обработки собранных данных предусмотрено множество графических и табличных инструментов, например, таблицы и диаграммы минерального состава, данные о раскрытиях и ассоциациях золота, распределение зерен или частиц по размерам и т. д. [3].

Так, в трех репликах исследуемого образца была обнаружена 21 частица, содержащая зерна золота. В таблице показано распределение зерен золота по размерам.

Анализ минеральных ассоциаций показал, что наибольшая массовая доля золота ассоциирована с авгитом (47,98 мас. %), хлоритом (17,2 мас. %), мусковитом (15,18 мас. %) и анортитом (13,48 мас. %).

Анализ раскрытия золота показал, что если золото всех трех реплик принять за 100 мас. %, то 77,3 мас. % золота раскрыто на 40 % и хуже. Степень раскрытия вычислялась как отношение свободной поверхности минерала в частице к поверхности всей частицы.

Таким образом, в рамках настоящей работы с помощью СЭМ TESCAN TIMA проведен автоматизированный поиск золотосодержащих частиц в пробе хвостов концентрационного стола золоторудного месторождения. За короткое время (~20 минут на каждый аншлиф) и с исключением субъективных ошибок система TIMA надежно регистрирует все содержащиеся на поверхности анализируемого аншлифа зерна золота размером крупнее того, что задаст исследователь (в данном случае порог обнаружения был выбран равным 0,8 мкм). Также на основе полученных данных выполнялся анализ раскрытий и ассоциаций золота.

Распределение зерен золота по размерам

Диапазон размеров зерен, мкм	Массовая доля золота, мас. %	Количество зерен золота
$\geq 0,90 < 1,2$	0,0565	37
$\geq 1,2 < 1,6$	0,2497	70
$\geq 1,6 < 2,1$	0,1927	28
$\geq 2,1 < 2,9$	0,5186	42
$\geq 2,9 < 3,8$	0,4501	21
$\geq 3,8 < 5,1$	0,7484	23
$\geq 5,1 < 6,8$	1,8335	25
$\geq 6,8 < 9,1$	1,5082	13
$\geq 9,1 < 12$	2,1414	10
$\geq 12 < 16$	2,7653	7
$\geq 16 < 22$	2,6176	4
$\geq 22 < 29$	4,6653	4
$\geq 29 < 39$	4,2508	2
$\geq 39 < 52$	9,3209	2
$\geq 52 < 69$	7,3576	1
$\geq 69 < 92$	10,8899	1
$\geq 92 < 123$	50,4331	2
Все зерна	100	292

Список литературы:

1. Лукашова М. В. TIMA. Автоматический минералогический анализ на базе сканирующего электронного микроскопа TESCAN // Золото и технологии. – 2012. – № 3 (17). – С. 52–56.
2. Grant D. C., Goudie D. J., Shaffer M., Sylvester P. A single-step trans-vertical epoxy preparation method for maximising throughput of iron-ore samples via SEM-MLA analysis // Applied Earth Science. – 2016. – V. 125. – P. 57–62.
3. Hrstka T., Gottlieb P., Skala R. [et al.] Automated mineralogy and petrology – applications of TESCAN Integrated Mineral Analyzer (TIMA) // Journal of Geosciences. – 2018. – V. 63. – P. 47–63.

ОБСТАНОВКИ И УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Рассмотрены типовые обстановки нахождения свинцово-цинковых месторождений Енисейского кряжа, приуроченность оруденения к ассоциациям литофаций, типовые обстановки нахождения месторождений с учетом последующих тектоно-метаморфических преобразований.

Ключевые слова: литолого-фациальный анализ, обстановки нахождения месторождений, свинцово-цинковые месторождения, палеофациальные условия, стратиформные рудные ассоциации

Типовые обстановки нахождения свинцово-цинковых месторождений, составляющие геологическую основу их поисков, определяются комплексом литолого-структурных факторов, главными из которых являются рудоносные уровни разреза рудовмещающих горизонтов и приуроченность к конкретным литологическим фациям локальных впадин. Модели месторождений как основа прогноза и поиска определяются из их типов по условиям возникновения и реальным обстановкам нахождения, которые обусловлены сочетанием геологических условий формирования рудных залежей с типом и интенсивностью последующих тектоно-метаморфических преобразований. Выделение обстановки формирования рудных залежей свинцово-цинковых месторождений Енисейского кряжа основывается на типе, форме и размерах рудоконтролирующих палеодепрессий и их положении по отношению к рудоподводящим каналам, представляющим собой участки разгрузки гидротермальных рудных систем.

Палеовпадины, контролирующие размещение рассматриваемых месторождений, либо имеют изометричную форму с крутыми бортами, либо представлены удлиненными, узкими, пологими формами.

Рудовыводящие каналы достоверно не устанавливаются и в большинстве случаев могут лишь предполагаться исходя из общей геолого-геохимической обстановки.

Рудные концентрации связаны с рудоносными геологическими формациями, которые в латеральном ряду характеризуются фациальной изменчивостью с развитием в удаленных зонах центров вулканизма. Продуктивными являются углеродисто-терригенные (черносланцевые), углеродисто-терригенно-карбонатные и терригенно-карбонатные (биогермные) отложения с резко пониженной вулканогенной составляющей, выполняющие наиболее прогнутые части палеопрогибов и рифогенные постройки на плечах палеопрогибов, или конседиментационных разломов.

Обстановки нахождения свинцово-цинковых месторождений определяются их приуроченностью соответственно к терригенно-доломитовым, глинисто-кремнисто-мергелисто-сидеритовым и углеродисто-терригенным ассоциациям литофаций, формирующихся в локальных впадинах, а также к карбонатным литофациям рифогенной формации, приуроченной к конседиментационным палеоподнятиям. Значительную роль играет контроль оруденения долгоживущими рудовыводящими и рудоконтролирующими разломами.

Возможны три принципиальных типа обстановок формирования стратиформных рудных ассоциаций Енисейского кряжа:

1. Во впадинах вблизи или над рудовыводящими каналами. Рудные залежи имеют довольно четкую границу с вмещающими породами, однако для их подошвы и флангов характерны только переслаивание рудных слоев и вмещающих пород, многоярусность расположения оруденения как в пределах горизонтов, так и толщи в целом (Горевское рудное поле).

2. Во впадинах, удаленных от рудовыводящих каналов или сопряженных с ними. Для залежей характерна изменчивость мощности, текстурная зональность, преобладание цинка над свинцом, высокая степень колчеданности (Рассохинское рудное поле).

3. Пологие палеовпадины, расположенные в привершинных частях и на склонах палеоподнятий, сложенных карбонатными литофациями рифогенной формации. Степень удаленности от источника не установлена. Типичные свинцово-цинковые руды (например, Токминское, Меркури-

хинское, Сухопитское проявления). Преобладают западинно-шельфовые (возможно, пелагические) тиховодные глинистые отложения, которые включают в себя редкие слои дистальных алевроглинистых турбидитов. Образование этих отложений происходило, по-видимому, при начавшемся общем некомпенсированном прогибании шельфовой области.

Идеализированные обстановки существенно искажаются при наложении метаморфизма, процессов складкообразования и магматизма, ведущих к перекристаллизации, мобилизации, регенерации и рассеиванию рудного вещества. Из разнообразных обстановок нахождения месторождений наиболее типичными являются:

- пластовые рудные залежи будинированы, смяты в изоклинальные опрокинутые и «пропеллерообразные» флексуroidные складки;
- пластовые залежи имеют крутое, до субвертикального, залегание с унаследованными морфологическими особенностями строения, текстурно-структурной и минералого-геохимической зональностью. Отдельные маломощные слои смяты в изоклинальные складки.

Для характеристики обстановок нахождения важное значение имеет соотношение пластового стратиформного оруденения с бедным штокверковым зоны подводящего канала.

Условия ведения поисков месторождений на Енисейском кряже определяются в первую очередь типом модели и характером изменения первоначальной ориентировки рудовмещающих горизонтов и рудных тел. Что касается типов моделей, то, как было показано, при поисках имеют место три: колчеданно-полиметаллическая в терригенных комплексах, цинково-свинцовая в кремнисто-карбонатных и свинцово-цинковая стратиформная. По характеру изменения первоначальной ориентировки могут быть названы следующие обстановки:

I. не испытывавшие существенных преобразований – субгоризонтального или слабонаклонного залегания;

II. в условиях зеленосланцевой фации регионального метаморфизма – залегание наклонное или субвертикальное;

III. в условиях эпидот-амфиболитовой фации – залегание субвертикальное или опрокинутое, с развитием разноэтапной изоклинальной и флексуroidной складчатости.

Из имеющихся в настоящее время примеров рассматриваемых типов месторождений тип I не проявлен в условиях Енисейского кряжа. Проявления Линейное, Меркурихинское, Токминское и Сухопитское соответствуют второму типу, Главное и Западное рудные тела Горевского – третьему.

В заключение отметим, что для рассмотренных выше вариантов ведения поисков остаются постоянными геологические факторы, определяющие рудные поля и перспективные участки. Различия в обстановках ведения поисков влияют на выбор методики работ по обнаружению рудных тел: на расположение скважин и выбор геофизических (в том числе и скважинных геофизических) и геохимических методов исследований.

Список литературы:

1. Зайцева М. Н., Инякин А. В. Типы месторождений свинца и цинка Енисейского кряжа и основы их прогноза и поисков.
2. Зайцева М. Н., Инякин А. В., Кузнецов В. В., Конкина А. А. Прогнозно-поисковые модели полиметаллических месторождений Енисейского кряжа // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции. – М. : ЦНИГРИ, 2018. – С. 128–129.
3. Хачатуров М. М., Зайцева М. Н. Петрохимические особенности рудовмещающих отложений Ангарского рудного района.
4. Серавина Т. В. Приоритетные направления прогнозно-минерогенетических и поисковых работ месторождений свинца и цинка.
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 Ангаро-Большепитской минерогенетических зон // Сборник докладов Одиннадцатого Международного конгресса «Цветные металлы и минералы – 2019». – Красноярск, 2019. – С. 677–686.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ КРУПНЫХ И СВЕРХКРУПНЫХ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрены обстановки формирования крупных и сверхкрупных (гигантских и супергигантских) медно-порфировых месторождений. Показано, что для их возникновения необходимо сочетание специфических геодинамических, структурно-петрофизических и геохимических факторов. Описаны современные геохимические и минералого-геохимические методы поисков скрытых объектов.

Ключевые слова: медно-порфировые месторождения, рудно-магматические системы, геодинамические и структурно-петрофизические обстановки, геохимические условия, критерии прогноза, методы поисков.

Для развития МСБ цветных и благородных металлов России необходимо обнаружение новых месторождений, включая медно-порфировые, которые занимают ведущее место в мире по запасам и добыче Cu, Mo, Au, Ag и Re. Объекты этого типа со значительными запасами руды при сравнительно низких содержаниях полезных компонентов требуют громадных инвестиций при освоении, в связи с чем поискам крупных месторождений, отработка которых была бы целесообразна, и в СССР, и в России уделялось особое внимание. Проблема актуальна и в настоящее время, поскольку основными перспективами для их обнаружения обладают регионы Дальневосточного ФО с недостаточно развитой инфраструктурой. Одним из направлений решения проблемы является совершенствование геолого-генетических основ прогнозирования с целью модернизации технологии прогноза и поисков месторождений, в том числе скрытых и перекрытых поздними отложениями.

Как показано в серии отечественных и зарубежных публикаций, главным условием для образования гигантских (с запасами меди > 10 млн т) и супергигантских (> 25 млн т) медно-порфировых месторождений (МППМ) является наличие мощных магматических очагов – «материнских» гранитоидных батолитов, с выступами-апофизмами (порфировыми штоками, дайками, брекчиевыми телами) которых сопряжена рудная минерализация. Они возникали в специфических **геодинамических обстановках** – в отдельных сегментах андезитоидных и базальтоидных вулканоплутонических поясов (ВПП), на начальных стадиях формирования которых превалировал режим интенсивного коллизионного сжатия с перерывом в вулканизме, вызванный пологой субдукцией океанических хребтов и плато под континентальные окраины и островные дуги (например, Чилийские Анды, где выделены пять поясов эоцен-олигоценевого и миоцен-плиоценевого возраста с крупнейшими в мире Cu-Mo-порфировыми объектами Эль Теньенте, Чукикамата, Коллахаузи, Ла Эскондида, Лос Пеламбрес, Рио Бланко–Лос Бронсес, Эль Абра и миоцен-плейстоценовые ВПП юго-восточной Азии (Папуа – Новая Гвинея, Индонезия) с гигантскими Au-Cu-порфировыми месторождениями Голпу, Ок Теди, Фрида Ривер, Грасберг). Такой режим приводил к утолщению земной коры, выплавлению известково-щелочных магм при взаимодействии с астеносферой, насыщению их металлами и летучими компонентами за счет субдуцирующих океанических плит, мантийного слэба и дегидратации осадочных толщ и в конечном итоге к появлению флюидонасыщенных окисленных расплавов, переносящих металлы. Давление препятствовало подъему магмы в верхние части земной коры, то есть «подавляло» вулканизм, приводя к возникновению крупных магматических камер (промежуточных очагов) на небольших глубинах (до 15 км), в которых скапливались большие объемы отделявшихся от кристаллизующихся расплавов металлоносных флюидов. Эти очаги контролировались областями сопряжения парных систем глубинных синседиментационных литрических и крутопадающих поперечных трансформных разломов, где при орогенных взбросо-сдвиговых деформациях возникали линейные, глупобоконпроникающие магмо- и флюидовыводящие каналы.

Состояние «неустойчивого равновесия» подобных систем с небольшим, но варьирующим по интенсивности флюидным потоком, отражающим кинетически медленные процессы газоотделе-

ния и дренирования все более глубинных частей остывающих и кристаллизующихся «материнских» гранитоидных батолитов (очагов), могло продолжаться до нескольких миллионов лет. На дневной поверхности эти процессы проявлялись слабой вулканической и фумарольной активностью. Медно-порфировые же месторождения формировались сравнительно быстро, по разным оценкам от ≤ 100 тыс. до первых сотен тыс. лет, на небольших глубинах (первые км), куда поднимались флюидонасыщенные «порфировые» апофизы кристаллизующихся многофазных плутонов. Возможными триггерами, вызывавшими «вскрытие» магматических очагов с катастрофичными по масштабам декомпрессией и выбросом флюидной фазы, могли быть надвиговые (взбросо-сдвиговые) деформации с разрядкой тектонических напряжений, сопровождаемые сильными землетрясениями и обрушением вулканических сооружений, а также эрозия земной коры, приводившая к превышению гидростатического давления над литостатическим. Названные процессы приводили как к масштабным эксплозивным вулканическим извержениям (с «распылением» рудного вещества) в случае взламывания вскрыши, так и к возникновению рудогенерирующих гидротермальных систем, которые продуцировали МПМ, если имелись препятствия к достижению флюидным потоком дневной поверхности. Таким образом, необходимым фактором для образования крупных объектов, кроме геодинамических обстановок, являлись благоприятные **структурно-петрофизические условия**.

Петрофизическая гетерогенность интрузивной рамы, определявшая стили и интенсивность складчатых и дизъюнктивных деформаций пород, влияла на гипсометрические уровни подъема расплава, условия его дегазации и кристаллизации. Присутствие малопроницаемых толщ вулканитов (лавовых и субвулканических фаций с упруго-вязкой деформационной природой) либо карбонатных пород (доломитов известняков, мергелей, пластично деформирующихся при высоких температурах и давлении) в верхах геологических разрезов в период «вскрытия» магматических и (или) флюидных плюмов играло роль своеобразных «петрофизических экранов», способствовавших рудонакоплению и, соответственно, формированию крупных месторождений. Без подобных «структурных ловушек» разгрузка восходящего из магматического очага металлоносного флюидного потока могла привести лишь к образованию обширных геохимических ореолов, в лучшем случае рядовых по запасам объектов с низкими содержаниями металлов. Карбонатные толщи над рудоносными интрузиями препятствовали проникновению «легких» (низкоконцентрированных) флюидов с Au и Ag, отделявшихся от кристаллизующихся расплавов, в верхние зоны рудно-магматических систем (РМС), чем объясняется отсутствие промышленных эпитептермальных золото- и сереброносных руд в мощных аргиллизитовых «шляпах» ряда крупных и сверхкрупных Au-Mo-Cu- и Au-Cu-порфировых месторождений. Для них характерны скарные залежи в экзоконтактах порфириновых штоков с наложенной минерализацией с повышенными содержаниями меди и золота (Бингхэм, Рут, Ок Теди и др.).

«Экранирующее» влияние упомянутых толщ проявилось в уплотненной форме верхних ограничений медно-порфириновых штокверков, совмещении в пространстве ареалов разновозрастных рудообразующих минеральных ассоциаций, повышенной густоте рудных прожилков и, соответственно, сравнительно высоких содержаниях металлов в рудах. Такими признаками обладают уникальные по запасам месторождения Чукикамата и Рио Бланко в Чили, Ок Теди в Папуа – Новой Гвинее, Кальмакыр в Узбекистане и др.

Если перекрывающая толща сложена породами с повышенными прочностными свойствами, но склонными к хрупким деформациям (упруго-вязкий тип сред), избыточное давление газов, отделявшихся от охлаждающихся магматических тел, могло привести к их объемному взрывному растрескиванию с образованием брекчиевых трубок, вмещающих значительные объемы руд. На крупных объектах обычно отмечается несколько фаз брекчирования (на чилийских месторождениях Эль Теньенте и Рио Бланко–Лос Бронсес, например, по составу цемента выделены соответственно 5 и 7 типов брекчий), но главной рудоносной (как и для порфириновых фаз), как правило, являются одна–две. Сформированные в таких условиях рудоносные штокверки имеют трубообразную (цилиндрическую), воронкоподобную либо сложную комбинированную форму, зависящую от морфологии брекчиевых трубок и нижезалегающих порфириновых интрузивов.

Определенную роль в рудообразовании играли **геохимические барьеры**, вызывавшие разгрузку растворов и влиявшие на уровни и распределение концентраций металлов в рудных телах,

а также *древние геохимические ореолы и месторождения субстрата ВПП*, подвергавшиеся регенерации в тепловом поле интрузивов с переотложением металлов активизированными метеорными водами на верхних уровнях систем.

При внедрении магмы в реакционно-способные карбонатные толщи (известняки, доломиты, мергели) возникали проксимальные Au-Cu- и дистальные Pb-Zn-скарновые залежи. Они встречаются на многих МПМ (Бингхэм, Рут, Грасберг, Ок Теди, Кэдя Хилл, Быстринское и др.) в экзоконтактовых зонах рудоносных интрузивов и отличаются повышенными концентрациями металлов, включая золото. Богатые железом базитовые комплексы интрузивной рамы также приводили к образованию руд с сравнительно высокими содержаниями, поскольку способствовали осаждению Cu, Mo и других металлов из окисленных гидротермальных растворов. Как минимум половина запасов ряда сверхкрупных месторождений сосредоточена в таких породах – габбро-диабаз-базальтовом комплексе на Эль Теньенте (Чили), силлах протерозойских диабазов на Резольюион и Рэе (США), толеитовых базальтах на Оюу Толгое (Монголия). Роль геохимических барьеров для металлоносных растворов могли играть и воды немагматического происхождения, что подтверждается данными изучения минералогии руд и изотопного состава серы сульфидов турмалиновой брекчии трубки Сур-Сур месторождения Рио Бланко–Лос Бронсес. Они показали, что высокосортные сульфидные руды верхних горизонтов этого объекта образовались при разгрузке медьсодержащих высококонцентрированных магматических рассолов, «заполнивших» брекчиевую трубку, при их реакции с холодными, кислыми по составу, метеорными (возможно, морскими) водами.

Рудоносность субстрата ВПП влияла на вещественный состав руд и в определенной мере на запасы формировавшихся МПМ. Древние геохимические ореолы могли являться одним из источников рудного вещества, о чем свидетельствуют часто наблюдаемые обширные отрицательные (с содержаниями ниже фоновых) аномалии меди и других металлов на флангах РМС, которые рассматриваются многими исследователями как области рудосбора (выщелачивания). Например, эквивалентные таким системам рудные районы Хайлэнд Вэлли в Канаде, Дексинг и Дуобаошан в КНР, Актогайское и Бошекульское рудные поля в Казахстане. Рудные месторождения субстрата ВПП, подвергавшиеся регенерации в тепловом поле интрузивов, также могли быть источником металлов. В частности, Au-Ag-полиметаллическая жильно-прожилковая минерализация фланговых зон алмалыкских месторождений (Кальмакыра, Дальнего, СЗ Балыкты), возможно, является продуктом переотложения вещества стратиформных Pb-Zn-колчеданных залежей, присутствующих во вмещающей известняково-доломитовой толще (в непосредственной близости к северу находится частично регенерированное месторождение этого типа Кургашикан).

О возможном заимствовании металлов из вмещающих пород с их последующим переотложением разогретыми в тепловом поле порфировых интрузивов метеорными водами свидетельствуют многочисленные данные по изотопному составу кислорода разновозрастных генераций жильного кварца медно-порфировых штокверков, согласно которым доля таких вод в объеме циркулировавших гидротермальных растворов на поздних стадиях рудоотложения возрастает до 70–90 %, а также расчеты тепломассопереноса, гидродинамическое и теплофизическое моделирование рудообразующих систем. Вместе с тем роль таких процессов в образовании гигантских МПМ должным образом не оценена. Имеющиеся модельные расчеты баланса вещества в его предполагаемых источниках (геохимических ореолах), гидротермальных растворах и рудных телах (зонах разгрузки) базируются на исходных параметрах (объемах рудоносных интрузивов, минерализованных зон и рудных тел, запасах и среднем содержании меди и пр.) рядовых месторождений.

Поисковыми признаками крупных и сверхкрупных МПМ являются значительные размеры вмещающих их РМС, которые по площадям рудоносных порфировых интрузивов и/или брекчиевых трубок, зон околорудных метасоматитов и рудной минерализации, пиритовых ореолов и отражающих их эндогенных и вторичных геохимических, магнитных и электроразведочных аномалий, оцениваемых в $n-10n$ км², а также вертикальному размаху оруденения ($n \times 100$ м – до 1,0 км и более), на один–два порядка превосходят рядовые объекты. Для их прогноза должны применяться обычные методы прикладной металлогении – формационный и рудно-формационный анализы, а для поисков – традиционные геолого-структурные, геофизические, геохимические и иные методы.

Наиболее перспективны для поисков месторождений-гигантов магматогенные поднятия в пределах ВПП с редуцированным развитием либо отсутствием вулканитов продуктивных вулканоплутонических ассоциаций (ВПА). В России к таким поднятиям, сформировавшимся в обстановках латерального коллизионного сжатия с «подавлением «вулканизма», относятся: Алучинское с Баимской (месторождение Песчанка) и Иннахской РМС в Курьинском ВПП, Болоньское с Малмыжско-Болоньской РМС (Малмыжское) в Западно-Сихотэ-Алиньском поясе, Гонжинское с Боргуликанской (Иканское) и Пионерной РМС, Октябрьское с Елна-Адамихинской РМС в Умлекано-Огоджинском.

Положительными критериями для выделения территорий, перспективных для обнаружения скрытых, в том числе крупных, МПМ, являются реликты (ксенолиты) слабопроницаемых толщ, перекрывающих массивы рудоносных плутогенных формаций. Прямые поисковые признаки месторождений, локализованных под такими толщами, из-за «спрессованности» рудно-метасоматических колонок и «угнетенного» развития надрудных геохимических ореолов на дневной поверхности могут быть проявлены слабо или вообще отсутствовать. Для поисков таких объектов, как и месторождений под чехлом более поздних отложений, наряду с традиционными методами ГРП целесообразно использовать: объемное моделирование не вскрытых эрозией рудоносных интрузивов и «материнских» плутонов по данным глубинного сейсмического зондирования, магнито- и гравиразведки; современные модификации *частично-фазового анализа подвижных форм элементов* (EnzymeLeachSM, BioLeach), позволяющие выявлять надрудные солевые ореолы (по размерам и интенсивности существенно превосходят ВОР) даже при большой мощности (сотни м) перекрывающих отложений, как это показано работами USGS и CGS на гигантском Au-Мо-Си-порфировом месторождении Пеббл (Аляска, США); *изучение минералов-индикаторов (хлорита, эпидота, магнетита, граната и др.) методами масс-спектрологии (LA-ICP-MS, SEM-EDS, WDS)* для выявления внешних, слабопроявленных частей пропиловых ореолов медно-порфировых систем в областях зеленокаменного метаморфизма и прогноза глубины залегания минерализованных зон (апробированы британскими, австралийскими и канадскими специалистами как на месторождениях-гигантах Росарио, Уджина, Куабрада Бланка (рудный район Каллахаузи) и Эль Теньенте в Чили, Пеббл и Резолюцион (вскрыша – 1200–1500 м !) в США, так и на рядовых объектах Маунт Полли (Канада), E26 и E48 (Австралия).

Необходимость применения таких методов в поисковой практике диктуется исчерпанием фонда легкооткрываемых объектов. С другой стороны, чехол перекрывающих отложений хотя и осложняет поиски и отработку месторождений, но обеспечивает их сохранность. В условиях активных континентальных окраин и островных дуг, при орогенезе, МПМ могут быть уничтожены эрозией в короткий промежуток времени (десятки–сотни тысяч лет), чем объясняется мезозойский и кайнозойский возраст большинства из них; менее многочисленны палеозойские и единичны докембрийские объекты. Оптимальный вариант для поисков – «захоронение» месторождения после формирования поздними отложениями с последующей умеренной эрозией со вскрытием верхнерудных либо надрудных частей (например, гигантское Au-Мо-Си-порфировое месторождение Оюу Толгой в Монголии).

Звездов В. С., Агibalов О. А., Краснов А. Н., Минина О. В., Федоренко С. В., Черемисина Е. А., Чурилова Т. А. (ФГБУ «ЦНИГРИ»), Калабашкин С. Н., Смелова Л. В., Шерстюк Н. Н., Бужкова Т. В., Шерстюк И. А., Падерин П. Г., Деменюк А. Ф., Шахова С. Н. (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЛОЩАДЕЙ С ПЕРСПЕКТИВАМИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БАЛАНСА ЗАПАСОВ, НАКОПЛЕННОЙ ДОБЫЧИ И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ КОРЕННОГО И РОССЫПНОГО ЗОЛОТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Проанализированы запасы, накопленная добыча и прогнозные ресурсы коренного и россыпного золота по ряду субъектов РФ. Выявлены металлогенические зоны, рудно-россыпные райо-

ны и узлы с отчетливо выраженным дисбалансом этих показателей, что в комплексе с другими прогнозно-поисковыми признаками можно использовать для выделения площадей, перспективных для обнаружения золоторудных месторождений.

Ключевые слова: запасы, добыча, прогнозные ресурсы, золото коренное и россыпное, карта золотоносности.

В основу проведенного анализа положены цифровые карты коренной и россыпной золотоносности территории РФ м-ба 1 : 2 500 000, составленные специалистами ВСЕГЕИ и ЦНИГРИ в 2019 г. при выполнении госзадания по объекту «Создание, актуализация и подготовка к изданию сводных и обзорных карт геологического содержания территории России и прилегающих акваторий». При их подготовке были использованы разномасштабные карты, изданные ВСЕГЕИ: «Карта металлогенического районирования России масштаба 1 : 2 500 000», 2003; «Прогнозно-металлогеническая карта территории России масштаба 1 : 5 000 000», 2008; «Прогнозно-минерагеническая карта территории Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1 : 2 500 000», 2016; «Карта рудных узлов России масштаба 1 : 5 000 000», 2001, «Государственная геологическая карта территории РФ и ее континентального шельфа масштаба 1 : 1 000 000» 3-го, 2-го и 1-го поколений; данные Государственного баланса запасов ПИ и кадастра месторождений и проявлений ТПИ, а также составленные в ЦНИГРИ и др. отраслевых организациях прогнозно-металлогенические карты РФ и ее отдельных регионов, специализированные карты размещения запасов и прогнозных ресурсов ТПИ, в т. ч. благородных металлов, м-бов 1 : 5 000 000, 1 : 2 500 000, 1 : 1 000 000, 1 : 500 000 и крупнее.

ГИС-проект *карты коренной золотоносности* включает тематические слои, отражающие: структурно-формационную основу; минерагеническое районирование с выделением разноранговых таксонов (провинций, металлогенических зон, рудных районов и узлов); положение золоторудных и золотосодержащих комплексных месторождений различных рудно-формационных типов с разделением на классы по запасам; перспективные площади с апробированными прогнозными ресурсами рудного золота. В базе данных ГИС-проекта карты приведены геологическая, металлогеническая, рудно-формационная, геолого-промышленная, геолого-экономическая и иные характеристики (по 26 позициям) разноранговых объектов учета, включая запасы 769 золоторудных и золотосодержащих месторождений, в т. ч. отработанных и снятых с баланса (их учет необходим для более обоснованных прогнозных построений), и апробированные (по состоянию на 01.01.2018 г.) прогнозные ресурсы категорий P_3 , P_2 и P_1 1112 разноранговых объектов (от металлогенических зон до рудных полей) с выделением 127 перспективных площадей, рекомендованных для дальнейших ГРР.

ГИС-проект *карты россыпной золотоносности* построен на морфоструктурной основе, отражающей разноранговые морфоструктурно-геоморфологические комплексы и типы рельефа, которые определяют условия россыпеобразования. Он включает в себя тематические слои, отражающие контуры золотороссыпных зон и районов с разделением последних по степени продуктивности, запасы, добычу и прогнозные ресурсы золота, а также минеральный состав тяжелой фракции шлихов (по районам). В базе данных ГИС-проекта приведены сведения по 6937 россыпям и их группам (кустам) 283 рудно-россыпных и россыпных районов. По каждой группе россыпей и отдельно по наиболее крупным из них дана информация по накопленной добыче, балансовым запасам и апробированным прогнозным ресурсам золота категорий P_2 и P_1 , а также морфогенетическому типу, возрасту, условиям залегания и минеральному составу тяжелой фракции шлихов, характеризующему рудно-формационный тип возможного коренного источника.

Составленные цифровые карты могут рассматриваться как картографическая и фактографическая основы для анализа баланса количественных показателей коренной и россыпной золотоносности разноранговых таксонов (зон, районов, узлов) и выявления диспропорций между этими показателями, свидетельствующих о необходимости геологического доизучения (ревизии) площадей с признаками «неоткрытых» месторождений.

Такая работа начата для всей территории России. К настоящему времени она завершена по металлогеническим зонам и рудно-россыпным районам ряда регионов Дальневосточного ФО – Республики Бурятия, Забайкальского края и Амурской области, а на более детальном уровне (для рудно-россыпных узлов) – для Забайкальского края. Проанализированы соотношения суммар-

ных значений балансовых запасов, накопленной добычи и прогнозных ресурсов (переведенных в условные запасы) коренного и россыпного золота по следующим металлогеническим зонам: Баргузино-Ципиқанской, Муйской, Дарасун-Могочинской (Байкальская провинция); Чаро-Олекминской, Кодаро-Удоканской, Северо-Становой, Южно-Становой, Джелтулакской (Алдано-Становая); Куналейской, Даурской, Балейской, Приаргунской, Шилка-Урканской, Умлекано-Огоджинской (Монголо-Охотская); Западно-Туранской (Ханкай-Буренинская).

Примеры подобных аналитических сопоставлений по ряду горнопромышленных районов мира свидетельствуют о том, что добыча золота из россыпей составляет от 5 до 50 % его валовой добычи. Такому соотношению, которое с известной долей условности можно принять за нормальное, отвечают самые продуктивные «старые», хорошо изученные золотодобывающие районы юго-восточного Забайкалья (Дарасунский, Могочинский, Балейский, Шахтаминский, Газимуро-Заводской и др.). Вместе с тем, на территории вышеназванных субъектов РФ выделяются рудно-россыпные районы и зоны с ярко выраженным дисбалансом в пользу показателей продуктивности россыпной золотоносности. Среди них:

- Витимкано-Ципиқанский район (Р. Бурятия), где добыто > 100 т россыпного золота (остаточные запасы > 50 т) и известно одно мелкое коренное месторождение Троицкое с запасами 4 т;
- Верхнезейский, Дамбукинский и Средненюкжинский районы соответственно Южно-Становой, Джелтулакской и Джагдинской металлогенических зон в Амурской области, где добыто более 300 т россыпного золота при остаточных запасах более 50 т и известны лишь единичные мелкие золоторудные объекты с запасами и добычей в первые тонны.

Для Амурской области в целом характерна весьма значительная диспропорция между рудным и россыпным золотом в пользу последнего. Несмотря на открытие ряда средних и крупных месторождений рудного золота (Бамское, Березитовое, Покровское, Буриндинское, Маломырское, Токурское и др.), накопленная добыча россыпного (более 1100 т) существенно превышает добычу коренного (около 200 т), что свидетельствует о наличии в этом регионе значительного потенциала еще неоткрытых золоторудных объектов.

Анализ показателей площадной продуктивности рудной и россыпной золотоносности на уровне крупных металлогенических таксонов (зон и рудно-россыпных районов) дает генерализованную, в некоторой степени упрощенную картину. При более детальном анализе (на уровне рудно-россыпных узлов и полей) даже в старых горнорудных районах отмечаются участки с диспропорцией показателей рудной и россыпной золотоносности. К ним в Забайкальском крае, например, можно отнести 67 из 74 рудно-россыпных узлов 23 рудно-россыпных районов. Подобная ситуация существует во многих районах золотодобычи на Чукотке, Восточном склоне Урала, в Амурской области, Бурятии и др. регионах страны.

Основными причинами наблюдаемого дисбаланса потенциалов россыпной и коренной золотоносности могут быть: слабая изученность площадей; неблагоприятные ландшафтные обстановки, не позволившие выявить скрытые золоторудные месторождения традиционными поисковыми методами; вероятность полного «уничтожения» коренных источников эрозией; наличие многочисленных мелких проявлений рудного золота в качестве таких источников. Возможность обнаружения скрытых месторождений зависит как от комплекса применяемых методов и их «чувствительности» (наиболее эффективными среди геохимических методов, например, являются современные модификации частично-фазового анализа подвижных форм элементов (EnzymeLeachSM, BioLeach), позволяющие выявлять надрудные солевые ореолы золоторудных и золотосодержащих комплексных (колчеданно-полиметаллических, Au-Mo-Cu-порфировых и др.) месторождений даже под мощным (сотни метров) чехлом отложений), так и от достоверности прогнозных построений, базирующихся на применении структурного, фациально-формационного и рудно-формационного анализов территорий, палеогеоморфологических реконструкций их развития для определения направлений и дальности переноса Au, наличия данных по строению чехла рыхлых отложений.

Результаты анализа по изученным регионам наряду с другими прогнозными данными можно использовать для выделения перспективных (на рудное золото) площадей в ранге рудных районов и узлов для геологического доизучения – ГДП-200, ГДП-50, прогнозно-минерагенических и ревизионных работ.

ИНДИКАТОРНЫЕ ПАРАСТЕРЕЗИСЫ МСА ИЗ КИМБЕРЛИТОВ АНГОЛЫ (ГЛУБИННОСТЬ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ СРЕДЫ АЛМАЗОГЕНЕРАЦИИ)

Исследованы составы минералов-спутников алмаза (МСА) из 23 кимберлитовых трубок Анголы, разделенные на кластерные группы (КГ) [4] на основе известных химико-генетических классификаций [1, 2, 6, 7]. Определены парастерезисы МСА, связанные с алмазоносностью кимберлитов. Они контролируют региональный тренд нарастания алмазоносности кимберлитов в районе Лунда в направлении северо-восток – юго-запад [3]. Установленные минералого-химические критерии алмазоносности используются при поисках новых месторождений алмаза в кимберлитах в н изученных районах Анголы.

Ключевые слова: кимберлит, минералы-спутники, алмаз, кластерные группы.

База данных рентгеноспектрального анализа SEM-EDS химического состава МСА из кимберлитов Анголы насчитывает более 12 000 зёрен, проанализированных на микрозонде JXA-8230 с ЭДС и ВДС комплектацией на содержание главных и примесных (Ni, Mn, Na, Ti) элементов [3, 5].

Задача исследования – определить взаимозависимость между КГ составов МСА, связанных с глубиной и восстановительным потенциалом среды алмазогенерации под архейским кратоном Касаи, влиявших на алмазоносность кимберлитов. Частоты встречаемости (ЧВ) критериально значимых КГ МСА кимберлитов 23 трубок района Лунда в пределах кратона Касаи приведены в таблице, где они рассчитаны для каждой отдельной выборки МСА и отсортированы по горизонтали и вертикали групповым кластерным анализом по критерию Пирсона в парастерезисные группы [4, 5].

Гранаты. Кластерные группы составов пиропов G3-G12 вычислены по методике Dawson и Stephens [7], подсчитан процент встречаемости КГ в кимберлитах района Лунда (см. табл.). В группе G5 с алмазами было 6,25 % таких зёрен; высокое содержание FeO (в среднем 28,33 %) – высокожелезистый альмандин. Группа G12 – 3,85 % с алмазами; FeO, MgO и CaO – 7,47, 15,40 и 9,51 % соответственно, пониженное содержание TiO₂ (0,18 %), а Cr₂O₃ очень высокое (15,9 %) – кнорингитовый уваровит-пироп.

Диопсиды. Составы хромдиопсидов КГ S6, по классификации Н. В. Соболева [6], принадлежат к наиболее глубокой мантийной фации (3 – коэситовой): Na₂O – 1,0–3,0 %; Cr₂O₃ – 0,5–3,5 %. Самый большой процент таких зерен отмечен в кимберлитовой трубке Луэле и в ряде сопряженных с ней трубок по групповому кластерному расположению (четыре трубки, следующие за ней в табл.), что характеризует эти кимберлиты как интрузивные тела больших глубин внедрения. Следующими по этому показателю идут кимберлиты трубок AC016, AC012, Катока и трех следующих за ней трубок (см. табл.).

Пикроильмениты. Составы пикроильменитов КГ i16, по классификации Герни [2], принадлежат к составам с наименьшим окисным железом (гематитовый минал Fe₂O₃ – 4,0 % в среднем) и высокими содержаниями TiO₂, что указывает на низкую фугитивность O₂ в среде их кристаллизации. Данная КГ является показателем степени сохранности алмазов в среде их генерации. Самый большой процент ее отмечен в кимберлитовых телах концессии Алто Куило (AC016 и AC012). Достаточно благоприятными условиями сохранности алмазов характеризуются и кимберлиты концессии Луаше, в частности, трубка Луэле. Средние по условиям сохранности алмазов – кимберлиты трубки Катока и следующие за ней две трубки (см. табл.).

Для МСА из кимберлитов района Лунда наиболее значимая корреляция отмечена между КГ высокожелезистых гранатов G5 и КГ высокотитанистых пикроильменитов i16 – коэффициент корреляции +0,7, т. е. вероятность парастерезиса этих КГ в кимберлитах близка к 70 %. Вывод – чем больше в пробах гранатов КГ G5 и пикроильменитов i16, тем выше сохранность алмазов.

Частоты встречаемости КГ МСА кимберлитовых трубок района Лунда

Проба/КГ	кар/Т	S5	i10	S1	S15	G4	G10a	G5	i16	G12	S6	G5a	G3	i11	G6	S4	S9	i8	S14	G3a	i7	i6	S12	i5в	i9	S10
Чизу	0,50	7	2	1	0	0	1	0	0	0	3	0	2	0	0	6	0	3	0	1	2	0	12	17	0	3
	0,20	3	0	9	0	2	23	5	0	1	6	0	1	0	0	0	3	10	0	3	9	0	44	15	0	6
	-	4	0	4	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	12	3	4	0	1	0	19	3	0	2
Камачия	0,40	1	0	11	0	0	1	0	3	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	2	1	0	0
SatE42	0,90	0	0	4	0	0	16	0	0	0	8	0	0	0	0	2	22	0	0	0	0	0	22	2	0	8
Луите	-	0	9	13	0	0	6	6	14	3	43	0	4	0	0	0	0	14	3	0	17	6	0	0	0	0
	1,50	4	13	6	0	0	24	0	1	0	32	0	2	0	0	0	0	4	0	7	11	6	4	11	0	0
Луэле	1,00	9	14	8	0	0	16	0	0	0	23	0	1	0	0	0	0	4	0	1	8	6	4	10	0	0
Luaxe 071																										
Luaxe 058	-	0	1	0	0	0	3	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8	7	4	9	0	2
Luaxe 124	-	0	8	9	0	0	7	0	1	0	29	0	1	0	0	2	0	6	0	0	6	5	9	7	0	2
AC016	-	7	0	0	0	0	5	3	19	0	10	2	14	23	1	7	3	2	0	4	0	0	0	0	0	13
AC012	-	0	0	8	0	0	6	4	24	0	13	0	10	5	0	11	5	7	0	3	4	4	0	0	0	0
Luaxe 084	-	0	0	0	0	0	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	44	31	2	39
Luaxe 150	-	0	1	5	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	24	38	0	2
Furo-25, 28	-	0	7	13	0	0	5	0	0	0	4	0	8	7	0	0	29	8	2	6	3	0	4	3	0	15
AC243	-	4	5	14	0	0	6	1	1	0	1	0	4	1	1	12	30	14	1	0	4	4	4	10	0	16
Капока	0,75	1	2	5	5	0	5	0	3	0	15	0	10	4	0	1	5	2	1	5	3	3	3	10	1	4
Luaxe 061		0	2	6	0	0	1	0	1	0	16	0	3	1	0	0	0	3	1	1	13	11	0	9	0	0
Luaxe 092		0	1	2	0	0	5	0	1	0	27	0	2	1	0	0	0	1	2	0	1	3	0	10	0	2
Furo-37, 66		0	6	13	0	0	3	2	1	0	0	0	1	5	0	0	0	12	2	3	13	4	0	1	0	0
AC045		0	0	16	0	0	0	1	1	0	2	0	3	5	0	2	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0
AC197		2	13	0	0	0	2	0	1	0	5	0	9	2	0	0	0	25	12	5	15	19	5	0	0	2
AC254		0	4	2	1	0	0	0	4	0	2	0	1	4	0	0	0	18	15	3	8	15	1	1	0	0
Пирсон		0,3	0,2	0,1	0,1	0,5	0,2	0,7	0,3	0,4	0,0	0,6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,1	0,7	0,2	0,3	0,7	0,3	0,6	0,5	0,8	

Примечание. Нижняя строка – коэффициент Пирсона; КГ МСА (цвет колонок): пикроильмениты – серый, хромдиопсиды – зеленый, пиропы – розовый; цифры ЧВ МСА – %; кар/Т – содержания алмазов в разведенных месторождениях кимберлитов; индекс «i» – высокотитанистые разновидности пикроильменитов; индекс «a» – высоконагровые разновидности гранатов ($\text{Na}_2\text{O} > 0,07\%$) ([5], с изменениями и дополнениями).

Значимая корреляция вычислена также для КГ высокохромистых пиропов G12 и КГ хромдиопсидов S6 – коэффициент корреляции +0,4, т. е. вероятность парастерезиса этих КГ в кимберлитах близка к 40 %. Представляется, что чем больше в пробах кимберлитов пиропов КГ G12 и хромдиопсидов S6, тем больше глубина зарождения кимберлитовых расплавов, формирующих трубку.

Эти выводы подтверждаются данными об алмазоносности кимберлитов (кар/Т), приведенными в таблице ЧВ КГ МСА (см. табл.), с трендом ее нарастания с северо-востока на юго-запад района Лунда по линии кимберлитов Камафука-Камачия-Чиузу-Катока-КАТ-Е42-Луэле [3].

Список литературы:

1. Гаранин В. К. [и др.]. Включения в алмазе и алмазоносные породы. – М. : МГУ, 1991. – 240 с.
2. Герни Дж. Дж., Мур Р. О. Геохимическая корреляция между минералами кимберлитов и алмазами Кратона Калахари // Геология и геофизика. – 1994. – С. 12–24.
3. Зинченко В. Н. Месторождения алмазов из кимберлитов Северо-Востока Анголы. – СПб. : СПбГУ, 2017. – 485 с.
4. Иванов А. С. Методика статистической обработки составов типоморфных минералов кимберлитовых трубок при поисках алмазов в Якутии // Прикладная геохимия. – 2004. – Вып. 5. – С. 45–56.
5. Иванов А. С. [и др.]. Методика определения в кимберлитах парастерезисов хромдиопсидов с пиропами // Труды XVI Всероссийской научной школы. Математические исследования в естественных науках. – 2019. – № 16. – С. 95–107.
6. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.
7. Dawson J. B., Stephens W. E. Statistical classification of garnets from kimberlites and xenoliths // The Journal of Geology. – 1975. – V. 83, № 5. – P. 589–607.

Зинчук Н. Н. (Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я))

О НЕКОТОРЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТ НА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

По результатам проведенных исследований с использованием большого фактического и аналитического материала сделаны выводы о необходимости более углубленного комплексного изучения эпох мощного корообразования и алмазоносного магматизма, на которые раньше не обращалось особое внимание. Имеющиеся ныне неравноценно и неравномерно распределенные материалы позволяют различать два мегаэтапа в формировании алмазоносности Сибирской платформы. Ранний охватывает время от архея до рифея включительно, т. е. от появления собственно алмаза в недрах до первого его поступления в приповерхностные обстановки. Для мегаэтапа характерны полицентризм, тяготение к периферическим частям платформы, а также разнообразие транспортеров. Второй мегаэтап (ранний палеозой–эоцен) отличается от первого пространственным расположением проявлений, моноцентризмом, преобладанием диаметров кимберлитов.

Ключевые слова: корообразование, алмазоносный магматизм, Сибирская платформа.

Очень важным для древних платформ мира является вопрос **возрастного становления кимберлитов** – главнейшей ультраосновной породы, содержащей алмазы. На ряде древних платформ мира (Африканская, Северо-Американская и др.) основными эпохами мощного корообразования и эндогенного рудообразования (в том числе и алмазоносного магматизма) являлись: ранний докембрий (4000–1650 млн лет), поздний протерозой (1650–570 млн лет), каледонский этап (570–400 млн лет), раннегерцинский (400–310 млн лет) и позднегерцинский (310–205 млн лет) этапы,

киммерийский (205–137 млн лет), раннеальпийский (137–65 млн лет) и позднеальпийский (65 млн лет) этапы. Несмотря на то, что на Африканской платформе все эти временные интервалы являются промышленно-алмазоносными, на Сибирской платформе (СП) практически значимыми признаются только среднепалеозойские кимберлиты и с большими оговорками триасовые. Рассматривая по временным срезам-этапам процесс становления продуктивных магматитов в пределах СП, можно отметить, что отдельные ее части оказались в разные интервалы в различных историко-минералогических провинциях (ИМП), пространственное совмещение которых отражает миграцию кимберлитообразования в пространстве и времени. Историко-минерагеническими провинциями мы именуем площади континентов и океанических бассейнов Земли с массовыми проявлениями аккумуляций рудного и нерудного вещества, сформировавшегося в определенный историко-минерагенический этап. Наиболее ранний *раннепротерозойский* эруптивный мантийный магматизм предполагается в центральной части *Алданской ИМП* по присутствию индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) и мелких ксенолитов эклогитоподобных пород в песчаниках венда р. Джеконда. В пределах *Усть-Ленской ИМП* существуют признаки того, что северо-восток СП в раннем протерозое был областью алмазоносного магматизма. Вклад *рифейского этапа* и его авлакогенеза в алмазоносность СП определяющий, поскольку это было время формирования алмазоносных протолитов в центральных районах и поступления алмазоносного материала в верхние горизонты земной коры в периферических районах. Для рифея выделяют *Анабарско-Оленекскую, Ангарско-Тунгусскую и Алдано-Становую ИМП*. Наиболее древними рифейскими диатремами, выявленными в Анабарско-Оленекском регионе, являются тела вулканических брекчий в бассейнах рек Большая Куонамка и Хорбусуонка. В *Ангарско-Тунгусской ИМП* с рифейским возрастом известны слабоалмазоносные кимберлиты Ингашинского (Окинского) поля Присаянского алмазоносного района. *Раннепалеозойский этап* отдельными исследователями считается временем «предрудной подготовки». Области проявления каледонского алмазоносного магматизма относятся к *Вилуйской и Анабарско-Оленекской ИМП*. Для *раннегерцинского этапа (средний девон–ранний карбон)* возрастные датировки имеются для трубок 12 кимберлитовых полей СП. Выделяются раннегерцинские *Вилуйская, Анабарско-Оленекская и Ангаро-Тунгусская ИМП*. Основные поля среднепалеозойских кимберлитов расположены в центральной части платформы, ее *Вилуйской ИМП*. Появляются данные о среднепалеозойских алмазоносных диатремах Анабарской субпровинции. На юго-западе СП в Ангарском кратоне с возрастом консолидации 2,6 млрд лет выделяется ряд алмазоносных районов: *Присаянский, Чуно-Бирюсинский, Муру-Ковинский, Илимо-Катангский, Нижне-Тунгусский и Тычанский*, перспективные на обнаружение высокоалмазоносных диатрем как среднепалеозойского, так и мезозойского возрастов. Потенциально продуктивные и алмазоносные магматиты *позднегерцинского этапа (средний карбон–средний триас)* известны в *Анабарско-Оленекской и Ангарско-Тунгусской ИМП*. Позднегерцинские (310–200 млн лет) кимберлиты *Молодинского, Куойского, Куранахского, Лучаканского, Ары-Мастахского и Старореченского районов* относятся к *Анабарско-Оленекской ИМП*.

Следует подвергать тщательному анализу *геолого-тектоническую (структурно-тектоническую и геодинамическую)* позицию перспективных территорий поскольку в сложных геологических условиях структурно-тектонические критерии могут иметь решающее значение при определении перспективности той или иной площади и стадийности проведения на ней поисковых работ. В настоящее время успех в открытии новых кимберлитовых полей, их кустов и самих трубок в сложных условиях поисков на закрытых территориях невозможен без привлечения структурно-тектонических и геофизических предпосылок. Для получения сведений о структурно-тектонических особенностях региона и конкретных перспективных участков применяется комплекс *геофизических исследований*, включающий *грави- и магнитометрию, сейсмические, электроразведочные и другие методы*. Выделенные и обработанные геофизические аномалии в большинстве случаев подвергаются геологической заверке для выяснения их природы. Особенно результативными эти методы были на начальных стадиях геолого-геофизических исследований. Важной задачей при прогнозно-поисковых работах на алмазы является наличие *дробной стратиграфической схемы* отложений и древних коллекторов, в составе которых установлены алмазы и другие ИМК. В настоящее время в основных алмазоносных районах СП применяются измененные и укрупненные стратиграфические схемы, в которых потенциально алмазоносные осадочные тол-

щи лапчанской (P_1l) и иреляхской (T_3-J_1ir) свит, являющиеся по сути формацией перемыва и переотложения древних кор выветривания (КВ), соединены с более молодыми отложениями. К этим свитам приурочены древние алмазоносные россыпи (к первой – Солур, ко второй – Водораздельные галечники и Новинка) и по ним проводились поиски и коренных источников алмазов.

Основным методом поисков алмазных месторождений был, есть в большинстве геолого-поисковых обстановок и останется *минералогический*. В результате более чем 60-летних геолого-разведочных работ на СП открыты уникальные месторождения алмазов, что позволило в очень короткие сроки создать мощную алмазодобывающую промышленность. Возрастание сложности решения геологоразведочных задач в центральной части платформы, где сосредоточены основные производственные мощности акционерной компании «АЛРОСА», а также расширение поисков за ее пределами (Иркутская область и Красноярский край) повышают актуальность прогноза алмазоносности на территориях со сложным геологическим строением. Поскольку алмаз является главным минералом объекта поисков, представляется весьма важным привлечь к решению прогнозно-поисковых задач широкое разнообразие его типоморфных особенностей. Внедрение в последние годы в практику прогнозно-поисковых работ современных физико-химических методов изучения вещественного состава магматических и осадочных пород существенно повысило эффективность применяемого шлихо-минералогического метода. При проведении алмазопоисковых работ детальному комплексному исследованию следует подвергать терригенные осадочные толщи, содержащие продукты перемыва и переотложения местных источников сноса и в первую очередь кимберлитов. Отложения платформенной субформации свойственны в основном аллювиальным образованиям и осадкам начальных, ранних, поздних и конечных стадий геологического развития озерно-болотных водоемов, паралических областей прибрежных равнин и эпиконтинентальных бассейнов. В основных алмазоносных районах СП благоприятные палеогеографические условия для формирования мощных *кор выветривания* существовали в позднедевонское–раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время. Выветриванию в этот период подвергались терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя, долериты, туфы и туфобрекчии трубчатых тел, туфогенные образования корвунчанской свиты и кимберлиты. Глинистые минералы в *верхнепалеозойских и мезозойских отложениях* алмазоносных районов СП, связанные в основном с процессами переотложения различных продуктов КВ, определенным образом наследуют структурные и кристаллохимические особенности минералов из элювиальных толщ. Это позволяет использовать типоморфные признаки отдельных минералов, а также геохимические особенности выветрелых пород для идентификации в осадочных толщах продуктов, поступивших из различных источников и связанных с гипергенными изменениями пород различного химического и минералогического составов.

Таким образом, проведенный анализ материала по алмазоносности СП позволяет утверждать, что, несмотря на большой объем полученного за более чем полувековой период фактического материала, есть ряд проблемных вопросов, решение которых будет способствовать повышению эффективности поисков алмазоносных кимберлитов. Важнейшим вопросом в этой проблеме являются слабая изученность и освещенность геологических и тектонических аспектов локализации месторождений алмаза, которые в большей степени связаны с недостаточностью наших знаний о строении и алмазоносности значительной части СП. В ее пределах имеются площади россыпных узлов и кимберлитовых полей, изученных десятками и сотнями тысяч скважин, в то время как западная часть и территории с широким развитием пород трапповой формации очень слабо изучены. Имеющиеся ныне неравноценные и неравномерно распределенные материалы позволяют различать два мегаэтапа в формировании алмазоносности СП. Ранний охватывает время от архея до рифея включительно, т. е. от появления собственно алмаза в недрах до первого его поступления в приповерхностные обстановки. Для мегаэтапа характерны полицентризм, тяготение к периферийным частям платформы и разнообразие транспортеров. Второй мегаэтап (средний палеозой–эоцен) отличался от первого пространственным расположением проявлений, моноцентризмом и преобладанием диатрем кимберлитов. Для реального решения практических прогнозно-поисковых задач в пределах СП, кроме поисков среднепалеозойских кимберлитов, следует акцентировать внимание и на другие эпохи мощного корообразования и алмазоносного магматизма: раннепротерозойский, рифейский, раннепалеозойский, каледонский, раннегерцинский, позднегерцинский

и киммерийский этапы. Имеются все основания ожидать развитие новых и совершенствования уже применяемых геолого-геофизических методов, что позволит уточнять глубинные структурные особенности территорий, выделять и выяснять природу геофизических аномалий.

Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н. (Западно-Якутский научный центр АН РС(Я))

ДРЕВНИЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ В СВЯЗИ С АЛМАЗОПОИСКОВЫМИ РАБОТАМИ

Сравнительный комплексный анализ различных типов кор выветривания показывает, что наряду с минералогическими особенностями исходных пород и гидрогеохимическими условиями среды важное значение в формировании элювиальных продуктов имеют три следующих фактора. Первый – это степень структурной упорядоченности первичных минералов. Второй связан с унаследованностью этих свойств вновь возникающими фазами. И третий включает универсальность процесса преобразования гипогенных и образования гипергенных минералов в профилях выветривания, развитых на различных типах пород. Разработанная методология позволяет дифференцировать на структурном уровне одни и те же видовые разновидности первичных минералов, а также идентифицировать вторичные силикаты, образующиеся на разных стадиях гипергенного изменения пород.

Ключевые слова: коры выветривания, элювиальные продукты, гипогенные и гипергенные образования, структурно-кристаллохимические исследования.

Коры выветривания (КВ) возникают при благоприятных соотношениях следующих основных факторов: интенсивность выветривания, глубина возможного корообразования и скорость размыва. В основных алмазоносных районах Сибирской платформы (СП) благоприятные палеогеографические условия для формирования мощных КВ существовали в позднедевонское – раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время. Выветриванию в этот период подвергались терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя, долериты, туфы и туфобрекчии трубчатых тел, туфогенные образования корвунчанской свиты и кимберлиты. В структурном плане древние КВ приурочены преимущественно к конседиментационным палеоподнятиям, в пределах которых в период формирования перекрывающих их отложений развивались обстановки денудационных и денудационно-аккумулятивных равнин. В конседиментационных палеовпадинах, служивших местами аккумуляции переотложенного материала КВ, наоборот, были неблагоприятные условия для интенсивного корообразования. В Малоботубинском алмазоносном районе (МБАР) относительно наиболее полные и мощные (до 15 м) площадные остаточные **коры выветривания на терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя** развивались (а затем сохранились от размыва) на Улу-Тогинском, Мирнинском, Джункунском и Чернышевском палеоподнятиях, обрамляющих Кюеляхскую, Улахан-Ботубинскую и Ахтарандинскую впадины. В отдельных разрезах устанавливаются верхние горизонты КВ, свидетельствующие о формировании в них полных профилей. Для легкой фракции продуктов КВ этого типа характерны кварц и халцедон, а также обломки опала. Для тяжелой фракции характерны полуокатанные и окатанные зерна апатита, алмадина, турмалина, циркона и эпидота, а также повышенные концентрации пирита, сидерита, барита и ярозита. Особенностью глинистой составляющей из разрезов КВ терригенно-карбонатных пород следует считать повсеместное присутствие в ее составе диоктаэдрической гидрослюда $2M_1$ в ассоциации с $1M$ и неупорядоченного монтмориллонит-гидрослюдистого смешанослойного образования (МГСО). Для верхних горизонтов профилей этого типа характерен также каолинит с полубеспорядочной структурой. В ряде алмазоносных районов СП отмечено развитие КВ на **породах трапповой формации**, детально она изучена в пределах юго-восточной окраины Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВПС). Трапповое плато, занимающее северо-западную часть района, и развитая на нем площадная остаточная КВ средне-позднетриасового возраста вместе с породами субстрата в послераннеюрское время сохранилась от размыва только в пони-

жениях плато или в тектонически опущенных блоках. Мощность КВ на долеритах обычно составляет первые метры, лишь в отдельных разрезах достигая до 50 м. Обычно от размыва сохраняется лишь нижняя часть КВ – зона дезинтеграции. Характерными минералами выветрелых *долеритов* являются в разной степени измененные плагиоклазы (от андезина до битовнита) и гейландит. Такие же минералы легкой фракции отмечены и для КВ *туфов и туфобрекчий* трубок взрыва трапповых пород, а также *туфогенных образований* корвунчанской свиты нижнего триаса. Вверх по разрезам в породах трапповой формации обычно увеличивается содержание олигоклаза, что связано с меньшей устойчивостью средних и основных плагиоклазов. Типоморфным минералом тяжелой фракции выветрелых пород трапповой формации является ильменит. В КВ долеритов обычно доминируют толстотаблитчатые и пластинчатые кристаллы ильменита с хорошо развитыми гранями и угловатые обломки с реликтами огранки. В отличие от этого в КВ туфов и туфогенных образований зерна минерала преимущественно неправильной формы со сглаженными краями, реже остроугольные обломки. Довольно характерными для тяжелой фракции из выветрелых пород трапповой формации являются переменные концентрации амфиболов, моноклинных пироксенов, эпидота, клиноцоизита, цоизита, турмалина, циркона, дистена и вулканического стекла. Отличительной особенностью глинистых минералов в слабоизмененных профилях КВ долеритов является сохранение $Mg-Fe^{3+}$ -монтмориллонита до тех пор, пока в породах фиксируется собственно вермикулит. Для нижних горизонтов выветрелых туфогенных образований трубок взрыва наиболее характерными слоистыми силикатами являются вермикулит и низкотемпературный хлорит. Последний быстро разлагается вверх по разрезам. На основе вермикулита здесь, как и в КВ долеритов, возникает сначала ассоциация вермикулита и $Mg-Fe^{3+}$ -монтмориллонита, которые в верхних частях профилей в результате гомогенизации переходят в неупорядоченную вермикулит-монтмориллонитовую смешанослойную фазу. В виде переменной примеси в наиболее зрелых профилях отмечается каолинит. Особый интерес представляет вопрос о типоморфных особенностях *продуктов выветривания кимберлитов*, в которых в различной степени сохраняются устойчивые минералы этих пород (алмазы и их парагенетические спутники – пироп, пикроильменит, хромшпинелиды и др.). Как в плотных, так и в выветрелых кимберлитах нередко отмечаются келифитовые каймы, являющиеся продуктом реакции пироба с расплавом. Внешняя поверхность их обычно покрыта бугорчатыми образованиями, повторяющими рельеф зерна под келифитовой каймой, которая часто имеет радиально-лучистое строение. Между основанием каймы и поверхностью пироба, как и по трещинам в нем, отмечаются пелитоморфные новообразования, в составе которых преобладает хлорит с незначительной примесью флогопита и кальцита. В глинистой составляющей продуктов выветривания кимберлитов кроме содержащихся в легкой фракции серпентина, хлорита и вермикулита присутствуют также монтмориллонит, монтмориллонит-гидрослюдистая смешанослойная фаза и гидрослюда. В октаэдрических сетках структуры разбухающих минералов, судя по $b = 0,893$ нм, содержатся главным образом Fe^{3+} и Al. В нижних и средних частях КВ кимберлитов эта смешанослойная фаза характеризуется тенденцией к упорядоченному чередованию пакетов. К верхним частям профилей в ней появляются явные элементы разупорядочения структуры и в лабильных межслоевых промежутках, как и в монтмориллоните, преобладают Mg и Ca. По кристаллохимическим особенностям указанная смешанослойная фаза рассматриваемого типа КВ существенно отличается от аналогичной в измененных терригенно-карбонатных породах. Это связано с иными природой и химизмом исходного материала, за счет которых в кимберлитах возникло указанное образование, представленное продуктами диоктаэдризации флогопита и дальнейшей его дегградации. Это обуславливает свойственный указанным продуктам высокий отрицательный межслоевой заряд, который наследуется от исходной слюдистой структуры. Такие особенности смешанослойной фазы, характеризующейся специфической неоднородностью слагающих ее пакетов, являются важным типоморфным признаком продуктов выветривания кимберлитов. Для продуктов выветривания этих пород характерен пластинчатый серпентин, структура которого состоит из слоев типов A и B, а в верхах профилей КВ политипом A. Для частиц новообразованного политипа (A) вначале характерна округлая глобулярная форма (размер глобул до 0,5 мкм). Глобулы образуются иногда на острых гранях других минералов. Они сочленяются в вытянутые червеподобные сростки длиной в несколько микрометров. Вверх по разрезу профилей КВ обычно увеличиваются размеры новообразован-

ного серпентина и его сростков. Морфологические выделения серпентина в породах, не затронутых выветриванием, существенно отличаются от его форм в продуктах гипергенного изменения кимберлитов и родственных им пород. Характерная для этих продуктов выветривания гидрослюда связана в основном с изменением флогопита и наследует свойственный ему политип 1М, что также является ее типоморфным признаком.

Продолжительность периодов корообразования, протекавших при теплом влажном климате и относительно хорошем дренаже территории, существенно влияет на мощность элювиальных толщ и, соответственно, на количество алмазов, высвобождающихся из этих толщ при их образовании либо непосредственно на кимберлитах, либо в продуктах их ближнего переотложения во вторичных коллекторах. Оценивая с этих позиций материалы о древних КВ на территории СП, можно отметить, что в позднедевонское – раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время здесь существовали благоприятные условия для интенсивного корообразования. Об этом свидетельствуют сохранившиеся от размыва мощные КВ с высокозрелыми верхними горизонтами. Однако непосредственно в КВ россыпи алмазов фиксируются только над кимберлитовыми трубами, что приводит к их резко ограниченному размеру. Поэтому важное значение имеет установление условий размыва и переотложения продуктов выветривания при накоплении верхнепалеозойских и мезозойских осадков. Переотложение продуктов выветривания вблизи областей денудации и накопление их в основном в пресноводных континентальных водоемах, а также небольшая мощность сформировавшихся осадочных толщ и незначительные погружения их определили, в частности, слабое гидрохимическое воздействие среды на аллотигенные минералы, а также отсутствие наложенных на них процессов каталитического преобразования. Эти условия привели к тому, что глинистые минералы верхнепалеозойских и мезозойских отложений алмазоносных районов СП, связанные в основном с процессами переотложения различных продуктов КВ, определенным образом наследуют структурные и кристаллохимические особенности минералов из элювиальных толщ. Это позволяет использовать изложенные выше типоморфные признаки отдельных минералов легкой, тяжелой и глинистой фракций, а также геохимические особенности выветрелых пород для идентификации в осадочных толщах продуктов, поступивших из различных источников снова и связанных с гипергенными изменениями пород различного химического и минералогического составов. Установленные особенности накопления продуктов выветривания в позднепалеозойское время в пределах перспективных районов СП, учитывая схожесть тектонического развития и геологического строения их с остальной территорией, позволяют распространить полученные закономерности на обширные соседние территории, которые в будущем могут явиться новыми алмазоносными провинциями. Сравнительный анализ рассмотренных выше КВ показывает, что важное значение в формировании элювиальных продуктов также имеют степень структурной упорядоченности первичных минералов, унаследованность этих свойств вновь возникающими фазами, а также универсальность процесса преобразования гипогенных и образования гипергенных минералов в профилях КВ на различных типах пород.

Зубова Т. П., Краснов А. Н. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЗКВ И РОССЫПЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучение изменений в ряду коренной источник–кора выветривания–россыпь помогает при интерпретации результатов поисковых работ. Характер распределения золота в коре выветривания во многом зависит от ее типа. Минералого-геохимическая информация о золоторудной минерализации сохраняется также в делювиально-пролювиальных россыпях. При опробовании ЗКВ важно учитывать возможный тип коренного источника, подвергшийся выветриванию.

Ключевые слова: ЗКВ, золото, россыпи.

Изучение изменений золоторудной минерализации в ряду коренной источник–кора выветривания–россыпь является основой для выявления поисковых критериев и признаков. При работе на месторождениях Урала (Воронцовское, Светлинское, Каталамбинское, Новогоднее Монто), Салаира (Июньское), Енисейского края (Олимпиадинское), Казахстана (Суздальское) и других, на перспективных площадях Алтае-Саянской области, Красноярского края, Бурятии собранный фактический материал показал, что в экзогенных условиях степень изменений золоторудной минерализации разных формационных типов определяется особенностями коры выветривания, ее зрелостью, генезисом россыпей.

При изучении Воронцовского месторождения нами были прослежены изменения рудной минерализации во всех типах коры выветривания, а также в россыпях: делювиально-пролювиальных, аллювиально-озерных юрского возраста, аллювиальных четвертичных. Было установлено, что в остаточной коре выветривания неполного профиля сохраняются остаточные концентрации золота и рудогенных элементов. В минеральном составе происходят изменения, связанные с образованием псевдоморфоз гидроксидов железа по сульфидам, глинизацией минералов коренного субстрата, тем не менее всегда присутствуют реликты порообразующих минералов с признаками гидротермально-метасоматических изменений. В контактово-карстовой коре выветривания, образующейся по контакту силикатных и карбонатных пород с участием сульфидов, происходят активные окислительные процессы, которые приводят к видимому нивелированию первичного состава пород при сохранении концентраций золота. Морфология рудных тел на месторождении сохраняется в связи с тем, что известняки в зоне контакта являются брекчиевидными, роль цемента выполняют туфы с пирит-арсенопиритовой минерализацией. В карстовых корах выветривания степень преобразования рудных тел значительная и определяется механизмом заполнения карстовой полости. В прилегающем к контакту карсте концентрации золота близки первичным рудам. Рудные тела приобретают мульдобразное залегание, часто повторяя форму карстовой полости. По мере удаления рудное тело растаскивается на отдельные линзы, содержания в них либо разубоживаются, либо увеличиваются за счет сепарации. Детальная документация и изучение минералогического состава карстовых отложений помогают выяснить механизм образования карста: за счет медленных просадок либо за счет обрушения, что влияет на характер распределения в нем содержания золота. В карстовых полостях происходит увеличение размера золота, иногда в 10 раз как за счет гипергенных процессов, так и за счет появления другого источника – золото-кварцевой минерализации, развитой на периферии рудного поля. Минералого-геохимическая информация о золоторудной минерализации сохраняется в делювиально-пролювиальных россыпях, при этом полностью отсутствует в аллювиально-озерных.

Изучение особенностей изменения разных типов минерализации в экзогенных условиях (коры выветривания, россыпи) позволили выработать алгоритм проведения поисковых работ на новых площадях. Большую роль играет минералогический метод. Отбор площадных шлихо-геохимических проб (с учетом мощности перекрывающих отложений и типа рельефа) хотя бы по отдельным профилям на экспонированных участках позволяет выявить состав пород, гидротермально-метасоматические изменения, проявление рудной минерализации, присутствие самородного золота. Анализ монофракций (гидроксидов железа, окисленного пирита, кварца, обломков пород с вкрапленностью окисленных и неокисленных сульфидов) на золото и элементы спутники с помощью JSP-MS или AES совместно с результатами минералогических исследований помогает определить тип золоторудной минерализации, что является очень важным моментом при выборе метода опробования и вида анализов.

При развитии коры выветривания по прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализации содержания золота хорошо определяются золото-спектральным и пробирным анализом с атомно-абсорбционным окончанием.

Если источником золота были кварцевые жилы с крупным самородным золотом, оправданным является отбор крупнообъемных шлиховых проб и их промывка, традиционно применяемые при поисках и разведке россыпей.

Как показывает опыт, на большинстве месторождений развито несколько типов золоторудной минерализации. Наряду с золото-сульфидной, несущей тонкое и тонкодисперсное золото, часто пространственно совмещена золото-кварцевая минерализация. Использование только одного ви-

да анализа приводит к потерям золота и отнесению объекта к разряду неперспективных. Нами проводились работы по сопоставлению результатов опробования на Северном Урале, Кузнецком Алатау, Бурятии. Часто пробирный анализ даже при наличии в пробе 400 знаков мелкого самородного золота показывает значения $<0,2$ г/т. Зерна крупнее 0,5 мм, будучи даже весовыми, могут не попасть в отобранную на анализ навеску, что приводит к отрицательному результату. Для решения подобной проблемы при полиформационной минерализации целесообразно при опробовании коры выветривания проводить параллельно минералогический и пробирный анализы. При несовпадении результатов – заверять интервалы пробирным с предварительным гравитационным концентрированием. Такой подход дал положительные результаты на ряде объектов. Так, на Актайской площади при проведении поисковых работ на россыпное золото при опробовании высокоглинистых отложений и коры выветривания по россыпной методике в пробах порой было установлено до 700 знаков мелкого, но не весового золота размером 0,05–0,25 мм. Использование пробирного анализа с предварительным гравитационным обогащением увеличило содержание в 5–20 раз, что позволило провести прогнозную оценку объекта. Подобная ситуация произошла на Ольгинской площади (Кузнецкий Алатау). При опробовании коры выветривания в отдельных интервалах было установлено до 400 знаков мелкого самородного золота, по результатам пробирного анализа содержание составляло $< 0,2$ г/т. Заверка интервалов пробирным анализом с предварительным гравитационным концентрированием увеличила содержание золота до 1,2–1,4 г/т.

Комплексный подход при поисковых работах на ЗКВ с учетом изменений золоторудной минерализации в экзогенных условиях позволяет более надежно локализовать перспективные площади.

Иванов А. И. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ ЗОЛОТОНОСНЫЕ СТРУКТУРЫ В ОБЛАСТЯХ РАЗВИТИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ И КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Золоторудные месторождения в углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных комплексах («орогенные» по D. I. Groves et al., 1998 и др.), согласно классификации ЦНИГРИ (В. А. Нарсеев и др., 1986, стр. 14), представлены тремя основными геолого-промышленными типами – жилами золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций, зонами-залежами прожилково-вкрапленных руд золото-сульфидной формации и мегаштокверками золото-сульфидно-кварцевой формации.

Локализованы они в углеродистых флишеидных разрезах пассивных континентальных окраин, претерпевших орогенез. Примерами таких регионов и являются Енисейская, Байкало-Патомская и Верхояно-Колымская золоторудные провинции.

Основой прогнозирования месторождений служит прогнозно-поисковый комплекс (А. И. Кривцов, В. А. Нарсеев, 1983), разрабатываемый на основе установленных закономерностей формирования месторождений и включающий всю совокупность поисково-оценочных критериев объектов прогнозирования и методов их решения (В. А. Нарсеев и др., 1986).

Основой создания прогнозно-поискового комплекса являются выявленные закономерности формирования золотого оруденения.

Проведенные ЦНИГРИ исследования в Байкало-Патомской, Енисейской и Верхояно-Колымской провинциях показали значительное сходство стадийности рудообразования во всех трех регионах, и во всех из них выделены четыре этапа, связанные с этапами формирования их геологической структуры: седиментационный, линейного складкообразования, регионально-метаморфический, гранитоидного магматизма.

Каждый из этапов вносил свою лепту в формирование золоторудных объектов, однако наибольшее рудоконтролирующее значение на всех этапах имели продольные региональные разло-

мы фундамента. В седиментационный этап они контролировали распределение фаций и могли «поставлять» глубинные гидротермы в бассейн седиментации, что обуславливало обогащение осадочных толщ рудными компонентами.

При линейном складкообразовании деформации по этим разломам усиливали «ступенчатость» поверхности фундамента складчатой области, приводили к деформации зеркала складчатости чехла, формированию антиклинорных и синклинорных структур. В складчатом чехле они выражены зонами расланцевания (складчато-разрывных деформаций – ЗСРД). За счет повышенной анизотропии для ЗСРД характерен интенсивный флюидный поток, что обуславливает интенсивные гидротермально-метасоматические преобразования осадочных пород – порфиروبластическую железо-магнезиальную карбонатизацию (буропатизацию), сульфидизацию, окварцевание и др. Эти процессы, по мнению Ф. А. Летникова (1999), являются результатом глубинного С-флюидного метасоматоза. Вероятно, именно этим объясняется повышенная золотоносность железо-магнезиальных карбонатов – зоны буропатизации (ЗСРД) трассируются вторичными ореолами рассеяния золота и мышьяка (А. И. Иванов, 2014).

В последующие этапы – гранито-гнейсового куполообразования и регионально-метаморфических преобразований, «батолитового» гранитоидного магматизма и син- и поздне-гранитных процессов происходила активизация ЗСРД с локализацией в их пределах наиболее интенсивных флюидопотоков. В результате происходили переработка обогащенных золотом пород с его перераспределением и вероятным дополнительным привносом золота с сингранитными флюидами и, как результат, формирование в ЗСРД золоторудных месторождений.

Исходя из этого, выделение ЗСРД, являвшихся на всех этапах развития регионов эпицентрами деформаций и гидротермально-метасоматических преобразований пород, – одна из важнейших задач при прогнозировании золотого оруденения. Соответственно, ЗСРД являются одной из важнейших составляющих прогнозно-поискового комплекса для регионов развития углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных отложений. Рудные поля и месторождения золота приурочены к участкам ЗСРД, деформированным в сингранитный этап зонами поперечных разломов фундамента.

Кроме того, (А. И. Иванов, 2014), размеры вероятных золоторудных месторождений, формировавшихся в пределах ЗСРД, во многом зависят от амплитуды суммарных деформаций по разломам фундамента – крупные и средние по запасам месторождения формируются в зонах разломов (ЗСРД) с общей амплитудой перемещений более 0,5–2,0 км.

Выделение ЗСРД при прогнозировании осуществляется по ряду прямых и косвенных признаков: уступам поверхности фундамента по материалам точечного сейсмического зондирования (ТСЗ), продольным и поперечным перегибам зеркала складчатости, аномалиям и градиентным зонам в региональных магнитных и гравиметрических полях, поясам даек, градиентным зонам регионального метаморфизма, зонам резкой смены фациального состава отложений, дешифрованным на космических снимках крупным линейным элементам и т. д. (А. И. Иванов и др., 1995). Они характеризуются относительно большей деформированностью пород, их структурно-вещественный парагенезис включает ряд малых структурных форм (мелкая складчатость, муллион- и будинаж-структуры, вязкие и «концентрированные» разрывы, жилы и прожилки различной морфологии и различного состава и т.д.) и минеральных новообразований (порфиробласты железо-магнезиальных карбонатов, сульфидов и др.).

Кроме продольных разломов фундамента по резким перегибам зеркала складчатости, искривлениям осей линейных складок и т.д. выявляются поперечные (субмеридиональные) разломы. Их активизация в синрудный постмагматический этап определяла расположение в пределах продольных рудоконтролирующих зон расланцевания рудных полей и месторождений (А. И. Иванов, 2004, 2010, 2014).

Иванов А. С. (НИГП АК «АЛРОСА» ПАО), Ащепков И. В. (Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева, СО РАН), Медведев Н. С. (Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН)

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ И ПРИМЕСНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПИРОПАХ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ЗАРНИЦА

Кимберлитовая трубка Зарница – первая трубка кимберлита, найденная в Сибири Ларисой Попугаевой в 1954 г. Это самая большая трубка в Далдынском кимберлитовом поле. В составах пиропов этого кимберлита нами изучены содержания основных элементов и элементов примесей, включая редкоземельные элементы (РЗЭ). В работе установлено, что составы пиропов с его самым высоким миналом относительно выборки – $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ – при метасоматических преобразованиях меньше всего концентрируют примесные и редкоземельные элементы. Повышенный процент пиропов в этом кластере отмечен нами в кимберлитовых трубках с высокой алмазоносностью, к примеру, трубка Айхал содержит в этом кластере больше, чем других, менее алмазоносные кимберлиты.

Ключевые слова: кимберлит, пиропы, редкоземельные элементы.

В работе предложены пузырьковые диаграммы, которые увеличивают информативность диаграммы Н. В. Соболева, при этом на графике появляется возможность отобразить дополнительную информацию по концентрации примесных и редкоземельных элементов в разных парагенетических группах составов пиропов.

Редкоземельные элементы: легкие (La, Ce, Pr...), средние (Sm, Eu, Gd...) тяжелые (Lu, Yb, Tm...) неравномерно накапливаются в составах пиропов трубки Зарница, такие же особенности мы отмечали в составах пиропов и трубки Сюльдюкарская [2]. В центральной области диаграммы Н. В. Соболева располагаются фигуративные точки составов пиропов с его самым высоким миналом – $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$, более 72 % относительно выборки зерен.

Повышенная концентрация легких РЗЭ в кимберлитовых трубках приходится на высокохромистые зерна пиропов, в низкохромистой области составов пиропов концентрируются тяжелые РЗЭ, а средние РЗЭ концентрируются в низкохромистых пиробах, и в высокохромистых составах пиропов одинаково. В большинстве изученных нами кимберлитовых тел частоты встречаемости этого кластера составов пиропов имеют также и высокую положительную корреляцию с частотами встречаемости составов пикроильменитов с высоким $MgTiO_3$ (гейкелитовый минал) и низким Fe_2O_3 (гематитовый минал), по классификации Дж. Герни [1] это область составов пикроильменитов идеальна для сохранности алмазов. Составы пиропов с его высоким миналом – $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ – при метасоматических преобразованиях [3] меньше всего концентрируют примесные и редкоземельные элементы. Большой процент пиропов в этом кластере отмечен в кимберлитовых трубках с высокой алмазоносностью, к примеру, трубка Айхал содержит в этом кластере больше, чем других, менее алмазоносные кимберлиты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-00788.

Список литературы:

1. Герни Дж., Мур Р. О. Геохимическая корреляция между минералами кимберлитов и алмазами Кратона Калахари // Геология и геофизика. – 1994. – С. 12–24.
2. Иванов А. С., Специус З. В., Ащепков И. В., Толстов А. В. О составах хромистых пиропов лерцолитовых парагенезисов из неалмазоносных и алмазоносных кимберлитов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2019. – № 3. – С. 122–126.
3. Лиманов Е. В., Бутвина В. Г., Сафонов О. Г. Образование флогопита в системе ортопироксен – гранат в присутствии флюида H_2O-KCl при 5 Гпа // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – Апатиты : КНЦ РАН, 2019. – № 16. – С. 343–347.
4. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АЛАКИТСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ

Аэроэлектроразведка – современный и востребованный при поисках кимберлитовых тел метод, что подтверждается значительным числом публикаций положительных результатов ее применения в разных регионах мира [5, 6]. Эффективность использования метода значительно зависит как от особенностей геологического строения изучаемой территории, так и от настройки и типа используемого оборудования. В работе рассмотрена задача оптимизации параметров аэрогеофизического оборудования для поиска локальных объектов на примере кимберлитовой трубки Алакитская.

Ключевые слова: ТЕМ, Импульс-аэро, аэрогеофизика, поиск кимберлитовых тел.

В настоящее время в Якутии остро стоит вопрос воспроизводства сырьевой базы. Высокая степень опосредованности Якутской алмазонасной провинции обуславливает существенное снижение ее потенциала на выявление новых месторождений, но данное обстоятельство касается только открытых и полузакрытых площадей. Половина территории, перспективной на коренную алмазонасность, перекрыта мощным чехлом осадочных образований и трапповых тел, которые создают сложности при интерпретации геофизических данных. На таких территориях, например в Алакит-Мархинском кимберлитовом поле, практически все кимберлитовые трубки обнаружены с помощью площадного бурения по сети различной плотности [2], что дорого и малоэффективно. Следовательно, применение геофизических методов в такого типа районах работ актуально.

С помощью численных методов [4], а именно с использованием современного программного обеспечения «EM-DataProcessor», в работе смоделированы синтетические данные для вертолетной аэроэлектроразведочной платформы «Импульс А-150» со следующими параметрами:

- радиус генераторной петли – 7,1 м,
- число витков – 4,
- сила тока в коммутаторе – 200 А,
- момент приемной катушки – 1000 м².

Предполагалось, что измерения выполняют на высоте 30 м над центром поискового объекта.

При построении геоэлектрической модели трубки Алакитская использовались исследования Н. Н. Зинчука, И. Г. Коробкова, А. А. Евстратова. Вмещающая кимберлитовую трубку среда представлена массивными и прочными, не нарушенными разломной тектоникой известняками со значениями УЭС в тысячи Ом (Ом·метр / Ом·м). Трубка перекрыта высокоомным трапповым телом, а также рыхлыми отложениями с мощностью в десятки метров с УЭС около 100–300 Ом.

Варьируемым параметром для расчетов выбраны форма зондирующего импульса, а именно длительность спада тока в коммутаторе, расстояние от эпицентра объекта, а также мощность перекрывающих рыхлых отложений и наличие высокоомного траппового тела.

Результаты численного моделирования показывают, что при увеличении длительности спада тока в индукторе от 0 до 2 мс относительное значение пика аномалии снижается незначительно (с 78 до 64 %), в отличие от абсолютного, величина которого падает с сотен до единиц мВ. Наличие траппового тела понижает значение аномалии на 20 %.

Численные исследования показывают, что увеличение магнитного момента индуктора – не единственный способ повышения аномальной составляющей сигнала от поискового объекта (кимберлитовой трубки). Фронт спада тока в индукторе влияет на амплитуду аномалий, его снижение увеличивает аномальный вклад в сигнал. Выделение поисковых объектов, в том числе перекрытых трапповыми телами и четвертичными отложениями, может быть достигнуто с использованием меньшего магнитного момента и веса ЭМ-системы, чем у аналогов с большей длительностью фронта выключения тока.

Список литературы:

1. Зинчук Н. Н. Геолого-вещественные особенности кимберлитовых диатрем // Вестник Пермского университета. – 2016. – С. 70–89.
2. Зинчук Н. Н., Бондаренко А. Т., Гарат М. Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. – М. : Недра-Бизнесцентр, 2002.
3. Коробков И. Г., Евстратов А. А., Мильштейн Е. Д. Базитовые вулканоструктуры алмазоносных районов восточного борта Тунгусской синеклизы / ред. Поцелуев А. А. – Томск : STT, 2013. – 270 с.
4. Тригубович Г. М., Персова М. Г., Соловейчик Ю. Г. 3D-электроразведка становлением поля. – Новосибирск : Наука, 2009.
5. Bournas Nasreddine 88-е ежегодное собрание SEG // A new approach for kimberlite exploration using helicopter-borne TDEM data. – Калифорния : [б. м.], 2018.
6. Dominique Fournier, Lindsey Heagy, Nate Corcoran, Devin Cowan, Sarah G. R. Devriese SEG Denver 2014 Annual Meeting // Multi-EM systems inversion – Towards a common conductivity model for the Tli Kwi Cho complex. – Denver : [б. м.], 2014. – С. 1795–1799.

Игнатов П. А. (МГРИ), Зарипов Н. Р. (ООО «ГеоСолюшинс»), Новиков К. В. (ФГБУ «Гидроспецгеология»), Толстов А. В. (НИГП АК АЛРОСА (ПАО))

МЕЛКИЕ СКЛАДКИ ВОЛОЧЕНИЯ В КЕМБРИЙСКИХ И ОРДОВИКСКИХ ТОЛЩАХ, ВМЕЩАЮЩИХ КИМБЕРЛИТЫ МИРНИНСКОГО, НАКЫНСКОГО И СЮЛЬДЮКАРСКОГО АЛМАЗОНОСНЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТИИ

Приведена характеристика разных складок волочения, распространенных в терригенно-карбонатных толщах кембрия и ордовика, вмещающих алмазоносные кимберлиты Мирнинского, Накынского и Сюльдюкарского полей Западно-Якутской алмазоносной провинции. По центральной части последнего показаны результаты детального их картирования.

Ключевые слова: складки волочения, сдвиги, кимберлиты, терригенно-карбонатные толщи.

Складки волочения являются характерным признаком сдвиговых структур. Последние в районах Якутии контролируют положение коренных алмазных месторождений [1–3]. Складки волочения зафиксированы в мирнинской и холмолохской свитах кембрия и олдондинской свите ордовика, входящих в состав осадочного чехла Мирнинского, Сюльдюкарского и Накынского кимберлитовых полей Западно-Якутской алмазоносной провинции. Названные поля хорошо изучены – многочисленные разрезы этих свит вскрыты большим числом скважин, в абсолютном большинстве которых практически стопроцентный выход керна.

Складки волочения и другие тектонические нарушения изучены по единой методике одними документаторами [3] по керну более 8 тыс. скважин, вскрывших разрезы нижнего палеозоя. Они вместе с рядом других признаков учтены в базе данных, по которой созданы геоинформационные проекты, что позволило провести корректный анализ их распространения. При диагностике тектонических признаков учитывался литогенетический состав морских отложений и седиментогенетические осложнения горизонтальной слоистости.

Складки волочения представляют собой подворот и складчатую деформацию пласта в зоне разрыва, происшедшие из-за воздействия касательных напряжений на верхнюю и нижнюю поверхности слоя, испытавших тектоническое перемещение по разрыву. Кроме того, такие складки отражают существенно более низкую вязкость слоя, который испытывает деформацию относительно более хрупких выше- и нижезалегающих пород.

Складки волочения и основы сдвигового механизма их образования рассмотрены в работах по структурному анализу [4, 5]. В осадочно-метаморфических породах докембрийского фундамента древних платформ они описаны в работах [7, 8], а также на ряде рудных месторождений.

В рассматриваемых случаях складки волочения отмечены в прослоях тонко-горизонтально-слоистых глинистых известняков, залегающих в однородных пластах доломитов и известняков. Мощность слоев, затронутых складками волочения, составляет от нескольких до 20 см. Протяженность единых слоевых деформаций, по данным бурения по сети 20×20 м, можно предполагать до сотен метров.

По керну выделяются следующие формы складок: моноклираль, флексура *S*- или *Z*-образная, симметричная клиновидная антиклираль. Кроме того, встречаются складки, в которых видна пloyчатость, представленная миллиметровыми складками, осложняющими слойки складок волочения. Очевидно, что две последние формы отражают деформации, которые затрагивали слои и слойки более пластичных и менее вязких осадочных пород по сравнению с другими формами.

Отмеченные формы складок, по-видимому, отражают последовательный ряд дислокаций по степени сдвигового смещения верхнего и нижнего слоев. Очевидно, что максимально изогнутые слойки типа *S* и *Z* наиболее приближены к источнику тектонических движений – к осевой части сдвига или магистральному разлому зоны сдвижения. Можно предположить, что следующими деформациями в показанном ряду могут быть микровзбросы, которые формируются в относительно хрупких породах. В случаях менее вязких сред в осевой части сдвигов могут образоваться межслоевые тектонические брекчии и милониты. Собственно плоскость магистрального разлома сдвиговой зоны маркируется зеркалами скольжения с горизонтальными бороздами. Они задокументированы как в горизонтальной межпластовой плоскости, так и в вертикальной, соответствующей крутопадающему нарушению.

В случае литологического выклинивания относительно пластичного слоя две плоскости межслоевого скольжения объединяются в одну. При этом противоположные горизонтальные напряжения могут формировать симметричные антиклинали.

В ансамбль хрупких и вязких деформаций, сопровождающих сдвиги, в рассматриваемых толщах терригенно-карбонатных пород входят зоны рассланцевания. Они представляют собой серию сближенных крутопадающих криволинейных субпараллельных трещин, слагающих плоскую скорлуповатую форму. Представляется, что рассланцевание заканчивает распространение магистральных нарушений сдвиговых зон. Это подтверждено данными картирования разведочных наклонных скважин на Майском месторождении алмазов, где сдвиги вмещают дайки и жилы алмазоносных кимберлитов.

Зоны рассланцевания и складки волочения широко распространены в породах нижнего палеозоя названных алмазоносных полей Якутии. В среднем в керне каждой десятой поисковой скважины фиксируется складка волочения. Реже встречаются микровзбросы и зеркала скольжения с горизонтальными бороздами. Межслоевые тектонические брекчии и милониты зафиксированы в единичных случаях.

Закономерности площадного распространения складок волочения и других признаков сдвигов показаны на примере центральной части Сюльдюкарского кимберлитового поля, в котором с 2016 г. известны одноименные кимберлиты, слагающие два дайковидных или одно сложное тело [6]. Они прорывают мергели, известняки и доломиты холомолохской свиты кембрия и перекрываются среднекаменноугольно-пермскими угленосными песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Площадь с кимберлитами расположена в так называемом трапповом окне, за пределами которого широко распространены триасовые базальтовые туфы и силлы долеритов.

Поисковым бурением вскрыта верхняя часть холомолохской свиты, в абсолютном большинстве случаев мощностью в первые десятки метров. На локальном участке с кимберлитами разрезы более представительны и достигают 300 м. На этом участке изучен керн 26 скважин, в трех из которых обнаружены складки волочения. В плане все три обнаруженных складки волочения маркируют магистральное нарушение сдвиговой зоны, вдоль которого вытянуты кимберлиты. В этой зоне встречены микровзбросы и зеркала скольжения с горизонтальными бороздами, в том числе в двух разрезах, в которых установлены и складки волочения. Ореол складок волочения имеет ширину до 100 м и длину около 300 м.

На площади примерно в 4 км^2 по анализу керна скважин, пройденных по сети 200×200 м, наблюдается кустовое распределение складок волочения. Ореолы со складками волочения обрамляются скважинами, в которых вскрыты зоны рассланцевания. Это подтверждает модельное со-

отношение признаков сдвига, отмеченное выше. Ореолы складок волочения, установленные по такой сети наблюдений, составляют в поперечнике до 500–600 м, что сопоставимо с площадями кимберлитовых трубок и протяженностью даек.

Участки распространения складок волочения, выделенные по анализу сети бурения 500 × 500 м на площади примерно в 100 км², отражают узлы пересечения разломов. Они составляют в поперечнике 1,5–2,5 км, что соответствует кустам кимберлитов. Важно отметить, что и по такой редкой сети наблюдений распространение складок волочения ограничивается зонами рассланцевания, что также подчеркивает разломные узлы. Важно отметить, что из восьми выделенных ореолов складок волочения лишь в двух из них имеются микровзбросы и зеркала скольжения с горизонтальными бороздами, указывающими на наибольшие деформации сдвига. В одном из них локализованы алмазоносные кимберлиты. Второй участок представляется перспективным на их обнаружение.

Неравномерность распространения складок волочения в разных масштабах отражает фрактальность тектонических деформаций и повторение элементов сдвигов разного ранга.

Диагностику и картирование складок волочения в совокупности с другими признаками сдвигов следует использовать в качестве косвенного поискового признака скрытых зон сдвигов и участков их локального растяжения, контролирующих кимберлитовые кусты и вмещающих кимберлиты.

Список литературы:

1. Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А. Тектонофизические исследования при алмазопромышленных работах. – М. : Научный мир, 2008. – 175 с.
2. Игнатов П. А., Бушков К. Ю., Штейн Я. И., Толстов А. В., Яныгин Ю. Т. Геологические и минералогическо-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты На-кынского поля Якутии // Руды и металлы. – 2006. – № 4. – С. 59–67.
3. Игнатов П. А., Новиков К. В. Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя. Методическое руководство. – Мирный, 2019. – 76 с.
4. Кирмасов А. Б. Основы структурного анализа. – М. : Научный мир, 2011. – 368 с.
5. Корсаков А. К., Межеловская С. В., Погребс Н. А. [и др.]. Основные формы залегания горных пород : учебное пособие. – М. : ГЕОКАРТ ; ГЕОС, 2017. – 280 с.
6. Мальцев М. В., Толстов А. В., Бережнев И. И. Условия локализации и критерии поисков кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2018. – № 6. – С. 41–49.
7. Giambiagi L., Ghiglione V., Cristallini E., Bottes G. Kinematic models of basement/cover interaction: Insights from the Malargue fold and thrust belt, Mendoza, Argentina // Journal of Structural Geology. – 2009. – № 31. – P. 1443–1457.
8. Mc. Farlane H. B. The geodynamic and tectonic evolution of the Palaeoproterozoic Sefwi Greenstone Belt, West African Craton. School of Earth, Atmosphere and Environment, Monash University, Australia and Géosciences Environnement Toulouse Université Paul Sabatier (Toulouse III), France. – 2017. – 297 p.

Игнатов П. А. (МГРИ), Толстов А. В., Проценко Е. В., Колесник А. Ю. (НИГП АК АЛРОСА (ПАО)), Мальцев М. В. (Вилуйская ГРЭ АК АЛРОСА (ПАО))

ПЕРСПЕКТИВЫ Cu-Ni-EPG ОРУДЕНЕНИЯ НОРИЛЬСКОГО ТИПА В ЫГЫАТТИНСКОМ РАЙОНЕ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

Показаны аналогии в геологическом строении Норильского рудного района и центральной части Вилуй-Мархинского междуречья Якутии (Ыгыаттинский алмазоносный район), в пределах которого выявлены комплексные геохимические аномалии Cu, Ni, Co и Zn. Комплексное орудене-

ние представлено сульфидной минерализацией и приурочено к кальцитовым прожилкам в доломитах, ороговикованных породах кембрия и долеритах триаса. Наряду с Хомустанским рудопоявлением Cu-Ni-Co-Zn-Pt в сульфидных жилах и цементе карбонатных брекчий в доломитах кембрия они рассматриваются в качестве прямых признаков выделяемого нового потенциального рудного поля.

Ключевые слова: медно-никелевое с платиноидами оруденение, Норильский рудный район, Ыгыаттинское алмазоносное поле.

Перспективность Ыгыаттинского района в пределах Вилуй-Мархинского междуречья (ВММ) на медно-никелевое оруденение основана на ряде аналогий геологического строения с Норильским рудным районом (НРР) и подтверждается проявлениями Cu, Ni, Co, Zn и благородных металлов, в том числе в аллювии водотоков бассейна р. Вилуй [2]. НРР находится в области мезозойской тектоно-магматической активизации и глубинного траппового магматизма Восточно-Сибирской платформы. В Западной Якутии известны аналогичные с НРР районы, где проявлен мезозойский трапповый магматизм и глубинные кимберлитовые образования. Ыгыаттинский алмазоносный район, включающий новое Сюльдюкарское кимберлитовое поле [7], занимает центральную часть Вилуй-Мархинского междуречья (ВММ) на окраине Вилуйской синеклизы. Положение ВММ аналогично расположению НРР в краевом прогибе платформы и может считаться прогнозным критерием Cu-Ni оруденения [5]. В ВММ известны разноранговые тектонические разрывные и пликативные структуры, проявленные в мезозойской тектоно-магматический этап.

В НРР известны палеозойские мергельно-сульфатно-карбонатные толщи, перекрытые угленосными карбоново-пермскими отложениями, которые, в свою очередь, перекрыты пермо-триасовыми траппами. По мнению Л. Н. Гриненко, А. Дж. Налдрета, В. А. Радько и других, ассимиляция сульфатной серы и органического вещества мезозойской базальтоидной магмой предопределила формирование сульфидных рудных расплавов и месторождений. В ВММ под траппами распространены кембрийские мергельно-сульфатно-карбонатные породы и карбон-пермские угленосные отложения, которые могли быть переработаны расплавами основного состава при формировании триасовых траппов.

Уникальные Норильское, Октябрьское и Талнахское месторождения приурочены к центриклиналам двух крупных брахисинклиналей – Норильской и Хараелахской, которые выполнены каменноугольно-пермскими угленосными отложениями и вулканитами триаса, приурочены к участкам осложнения мульд антиклиналями и располагаются на их крыльях. Норильский, Талнахский и Вологодчанский рудные узлы находятся на склонах Пясинского куполовидного поднятия. В сульфатно-карбонатных толщах девона эти структуры выражены флексурами. Считается, что пликативные структуры сформировались в рифтогенном пермо-триасовом Норильско-Хараелахском прогибе при следующем горизонтальном сжатии [9]. В ВММ сопоставимыми по размерам с НРР брахисинклиналями являются Сунтарская впадина и серия мульд, включающая Хатырыкскую и Верхнехоломолахскую впадины, выделенные в Сюльдюкарском поле по структурным поверхностям кембрийской толщи. В этом районе имеется и Сюльдюкарский купол, аналогичный Пясинскому [1].

Основные рудные залежи месторождений НРР сосредоточены в приосевой части, углублениях дна и фронтальных частях протяженных силлов [5–6, 8–9]. Они внедрялись в угленосные породы карбона–перми и по межформационной границе между угленосными отложениями и подстилающей девонской карбонатной толщей. Источником рудоносных силлов была специализированная, обогащенная сульфидами и летучими компонентами магма, которая поступала из интрузивных центров глубокого заложения.

В ВММ известна Холомолахская интрузия триасового возраста. На удалении от центра вулканоструктуры ее мощность оценивается до 200–280 м. Она, по данным И. Г. Коробкова, В. Л. Масайтиса, Е. В. Тугановой, включает троктолитовые долериты, долериты, обогащенные оливином, габбродолериты пегматоидные долериты и долерит-пегматиты. Как и в НРР эта последовательность отмечается снизу вверх, по разрезу интрузии [1]. В целом имеют место сходные с рудоносной интрузией Норильского района состав и строение. Важно отметить присутствие сульфидов

в Холмолохской интрузии в отличие от большинства других крупных разновозрастных вулканоструктур региона [4]. Отличия Холмолохской интрузии от Норильско-Хараелахской заключаются в отсутствии пикритов и меньшей магнезиальности (MgO около 6 %) пород Холмолохской интрузии. В породах этого массива содержание Ni в два раза ниже кларка основных пород [1], что указывает на масштабное перераспределение его при магматической дифференциации. По данным И. Г. Коробкова, силлы этой интрузии распространяются вдоль палеодолин карбон-пермского возраста [4]. Распространение силлов от центра Холмолохской интрузии происходило в виде вытянутых «языков». Центральная часть этой интрузии намечена по ореолу прямого и обратного намагничивания, расположенному на площади р. Кюельлях, впадающей в р. Холмолох-Юрях [4]. Здесь по магнитометрии имеются две сближенные структуры центрального типа диаметром около 5 км.

Один из вероятных протяженных от центра Холмолохской интрузии силлов мог выполнять меридиональную впадину, пересекающую широтный фрагмент долины р. Сордонгнох, ширина которой 1,7–1,8 км, длина – 11 км. Другой силл мог продвигаться в юго-западном направлении в Хатырыкскую грабен-синклиналь карбон-пермского возраста. Есть основания считать, что в ВММ при внедрении силлов триаса часть известных «трапповых окон» была палеоподнятиями, на что указывают разрезы скважин в Сюльдюкарском поле. В них туфы и базальты имеют нарушенное залегание, а подстилающие угленосные отложения карбона–перми и нижнего палеозоя – горизонтальное. В этой связи краевые части таких окон могли быть участками выклинивания вблизи поднятий силлов Холмолохской интрузии, которые представляются перспективными для обнаружения Cu-Ni оруденения.

Известно, что распространение рудоносной интрузии НРР контролируется Норильско-Хараелахским глубинным разломом. Осевая зона интрузии простирается вдоль центрального тектонического шва этого нарушения. Положение месторождений в углублениях дна интрузии и ее фронтальная зона предопределены наличием поперечных разломов. В ВММ имеются разломы Вилуйско-Мархинской зоны глубокого заложения, которые контролируют положение кимберлитов Сюльдюкарского алмазоносного поля. Изучение тектонических признаков разломов по керну поисковых скважин показало их длительное развитие в качестве сбросов в среднем палеозое во время внедрения силлов и даек девонских траппов и последующих сдвигов во время формирования кимберлитов, а также активизации разломов во время образования траппов триаса [3]. Один из них контролирует ось Хатырыкской грабен-синклинали и соответствующую палеодолину карбон-пермского возраста. В узле пересечения другого с субширотно-северо-западным сдвигом локализованы кимберлиты. Роль рудоконтролирующего Норильско-Хараелахского разлома в ВММ мог играть разлом, ограничивающий с востока Хатырыкскую грабен-синклиналь и с северо-запада Верхнехолмолохскую впадину, который можно обозначить Хатырыкско-Холмолохским. В центральной части кимберлитового поля этот разлом прослежен в север-северо-восточном направлении по сети скважин $0,5 \times 0,5$ км на 8 км, далее на северо-восток по сети 2×4 км на 20 км. В зоне его влияния расположены геохимические аномалии Cu , Ni , Zn , Co в скв. 142,5-97,25, 147-97 и 164-108. Кроме того, в пермо-триасовых эффузивах северо-запада Якутии известны также проявления самородной меди, аналогичные проявлениям Хараелахских гор [10]. «Языки» силлов должны были проникать в осадочную толщу вдоль крупных флексур, маркирующих разломы ВММ, устанавливаемых по данным бурения и стратоизогипсам кембрия.

В поисковых скважинах на севере Сюльдюкарского поля, ближе к Холмолохской интрузии, в кровле нижнепалеозойских разрезов под силлами встречены проявления скарноидов и черно-серые роговики мощностью десятки метров. В Ыгыаттинском районе выявлены комплексные геохимические аномалии Co-Ni-Cu-Zn от десятков до сотен ppm, присутствующие в пробах из прожилков кальцита в породах кембрия и триасовых долеритах. В скв. 164,5-108, вскрывшей в кровле холмолохской свиты кембрия черные роговики, на глубине 115,3 м по данным ИСП АЭС определены содержания (в ppm): Co – 626,9, Ni – 998,1, Cu – 832,7, Zn – 4255,0. На Хомустахском проявлении вкрапленная, прожилковая и цементная минерализация в брекчиях и жилах в карбонатных породах холмолохской свиты кембрия представлена сульфидами: пиритом, халькопиритом, сфалеритом, франклинитом, никелином, арсенопиритом, коринитом, раммельсбергитом, оксидами меди и др. Максимальные концентрации достигают: (в %) Ni – 1,5, Cu – 3,8, Co – 0,43, Zn – 26,5,

As до 2,0, а также Ag – 192 г/т, Au – 0,05 г/т, Pt – 1,5 г/т [1]. Рудопоявление вскрыто бурением, но не оконтурено. Таким образом, сульфидная минерализация в скв. 164-108 и Хомустахское рудопоявление представляются признаками рудного поля (типа Талнахского), центр которого расположен на водоразделе рек Хомустах и Сюльдюкар.

Список литературы:

1. Блажкун Д. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Серия Верхневилуйская (новая серия). Лист Р-50-І. Объяснительная записка. – М. : ВСЕГЕИ МФ, 2013. – 142 с.
2. Емельянов В. С., Толстов А. В., Борис Е. И., Ротман А. Я. К вопросу о коренном источнике платины в бассейне среднего течения р. Вилюй // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы АК «АЛРОСА» : современное состояние, перспективы, решения. – Мирный : ЯНИГП ЦНИГРИ; АК «АЛРОСА», 2003. – С. 331–333.
3. Игнатов П. А., Колесник А. Ю., Толстов А. В., Мальцев М. В. Геологические признаки рудовмещающих структур Сюльдюкарского кимберлитового поля Якутии // Горный журнал. – 2019. – № 10. – С. 67–71.
4. Коробков И. Г. Тектоника, палеогеография и базитовый магматизм алмазоносных районов восточного борта Тунгусской синеклизы – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2015. – 353 с.
5. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / под ред. Д. В. Рундквиста. – Л. [СПб]. : Недра, 1986. – 751 с.
6. Лихачев А. П. Опоискованность Норильского района и перспективы открытия в нем новых Pt-Cu-Ni месторождений // Отечественная геология. – 2020. – № 2. – С. 3–16.
7. Мальцев М. В., Толстов А. В., Фомин В. М., Старкова Т. С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2016. – № 3. – С. 86–94.
8. Радько В. А. Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2016. – 226 с.
9. Спиридонов Э. М. Генетическая модель месторождений Норильского рудного района // Смирновский сборник-2019. – М. : МАКС, 2019. – С. 41–113.
10. Толстов А. В., Томшин М. Д. Самородная медь пермо-триасовых эффузивов Уджинского поднятия // Записки Всероссийского минералогического общества. – 2002. – Т. 131, № 6. – С. 57–60.

Истомин В. А. (ФГБУ «ЦНИГРИ»), Пичугин С. В. (ООО «ОЗГЕО»)

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ АЛМАЗОНОСНОСТИ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ БЕРЕГА СКЕЛЕТОВ НАМИБИИ

В данной статье рассматриваются россыпи алмазов прибрежно-морского генезиса района Берега Скелетов Намибии. Особенное внимание уделено условиям образования и алмазоносных месторождений и участков с повышенным содержанием алмазов в пределах шельфовой зоны, где по результатам дешифрирования космических снимков и анализа геолого-геофизических материалов выделены подводные структуры, благоприятные для их накопления.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, шельф, дешифрирование, космофотоснимки, геоморфология, морфоструктуры.

На Атлантическом побережье Намибии находятся крупнейшие в мире россыпи алмазов прибрежно-морского генезиса, которые встречаются в ассоциации с аллювиальными и остаточными россыпями. Добыча алмазов из надводных россыпей началась в 1908 г., а подводных – в 1962 г. Добываемые алмазы невелики, но отличаются исключительно высоким качеством. Крупнейший из

найденных камней весил около 100 кар. Накопление алмазоносных морских песчаников, гравия и галечников началось в третичном периоде и было связано с ингрессиями миоценовых бассейнов. Третичные алмазоносные отложения образуют местами серию хорошо выраженных террас или поднятых пляжей: наиболее древние из них лежат на высоте 150–160 м выше уровня моря. Однако более часто морские россыпи алмазов приурочены к террасовым уровням плейстоцена, среди которых различают как поднятые, так и затопленные террасы, сложенные морским галечником [1]. На значительную часть акватории по шельфовой зоне Намибии выданы лицензии на поисковые и разведочные работы, а также на добычу алмазов. В южной части шельфа Намибии, между 24° и 30° южной широты, лицензионные площади распространяются на шельф до 350 м глубины и удаленностью от береговой линии до 5000 м.

Террасовые россыпи алмазов выявлены между руслами рек Угаб и Униаб, которые прослеживаются вдоль побережья на протяжении 100 км и вглубь материка до 16 км. Общие запасы оцениваются в миллионы карат алмазов, при этом подавляющую часть составляют ювелирные кристаллы. Известны проявления россыпной алмазоносности и севернее от устья р. Униаб, вплоть до 19° южной широты [3].

Это следующие ранее разрабатываемые месторождения: Toscanini, Terrace Bay, Möwe Bay, Rocky Point и Sarusas. Алмазы этих месторождений более высокого качества с преобладанием кристаллов ромбододекаэдрического габитуса по сравнению с алмазами в районе устья р. Оранжевой, где преобладают октаэдрические кристаллы.

В пределах шельфовой зоны вдоль береговой линии выделяются основные полосы галечных отложений, обогащенных алмазами. Ближняя к берегу полоса, лежащая сразу же за зоной прибоя, имеет в среднем ширину 180–250 м и приурочена к глубинам 4–9 м. Другая полоса прослежена на глубинах 60–90 м и, возможно, продолжается дальше в сторону моря. Алмазы концентрируются в базальных горизонтах подводных россыпей мощностью от первых сантиметров до 10 м, сложенных гравийно-песчаным материалом.

Наиболее высокие содержания алмазов – до сотен штук на 1 м³ – наблюдаются в неровностях рельефа морского дна: котлах, ложбинах, бороздах. Алмазоносный слой представлен окатанными обломками (до 0,7 м) кремнистых пород (яшмы, кварциты, порфиры, кварц и кремний), погруженных в рыхлую, реже сцементированную массу гравия и крупнозернистого песка. Характерной особенностью алмазного слоя является наличие обломков раковин устриц [5]. Из многочисленных форм денудационного и аккумулятивного рельефа к числу тех, с которыми чаще всего связано образование россыпей, относится и продолжение речных долин. По результатам дешифрирования космофотоснимков такие участки выделяются на продолжении устьев рек Хуаб, Коихаб и ряда других более мелких водотоков. Положительные морфоструктуры на подводном склоне и шельфе могут отражать останцы погруженных аккумулятивных террас. Не рассматривая всего многообразия форм рельефа, с которыми связана локализация россыпей, отметим, что в прибрежной зоне нередко наблюдаются латеральные переходы россыпей от одной геоморфологической обстановки к другой [2].

Для правильной оценки направленности процессов россыпеобразования помимо знания современной геоморфологической формации необходима реконструкция палеорельефа, особенно положения древних поверхностей выравнивания, древних русел и палеодолин, террас, аккумулятивных и денудационных форм береговой зоны. Важно установить не только морфоструктуры положительного или отрицательного порядка, но и при более детальном анализе разнообразные микроформы, которые в процессе россыпеобразования могут служить своеобразным геоморфологическим барьером или ловушками на путях транспортировки продуктивного материала в пределах шельфовой зоны. Эта информация особенно необходима при оценке пространственной локализации россыпей алмазов.

Побережье площади Кейп-Кросс в структурно-тектоническом плане расположено на сочленении двух орогенных поясов – Каоко и Дамара, где интенсивно проявлен интрузивный магматизм начиная с позднего протерозоя вплоть до позднего мезозоя. Наиболее распространены гранитоидные интрузии возраста Кару, выделенные в отдельные комплексы: Брандберг, Мессум и Кейп-Кросс.

Все гранитоидные массивы устойчивы к процессам эрозии и, как правило, создают в береговой линии выступы, мысы и подводные рифы. Эти образования в сочетании с многочисленными

дайками и жилами гранитов, долеритов, кварцитов и сиенитов могут образовывать подводные барьеры и создавать благоприятные условия для концентрации алмазов в отложениях континентального шельфа.

Необычно строение комплекса Мессум, который представляет собой кратерообразную систему с многочисленными внутренними интрузиями более мелкого порядка и разнообразного состава. Если шельфовые комплексы Кейп-Кросс, Кейп Сиал и Месум Сиал аналогичны строению комплекса Мессум, то они могут создавать своеобразные природные «лотки», где происходило подводное обогащение минералами тяжелой фракции и алмазами в длительный геологический период начиная с третичного времени.

Основными методами изучения тектонического строения основания шельфовых зон служат геофизические методы, в том числе магнито- и гравиразведка, сейсмоакустика. С помощью этих методов удастся установить положение и пространственное взаимоотношение разнообразных геологических формаций, слагающих основание. В частности, определяются выходы и погребенные под покровом осадочных отложений магматические образования, по характеру магнитных и гравитационных аномалий уточняются их контуры и состав [6]. Геофизические методы позволяют выяснить мощность консолидированных осадочных формаций, выявить зоны разломов и дизъюнктивных нарушений, их протяженность и глубинность.

Анализ и интерпретация космических снимков, геофизических и батиметрических материалов шельфовой зоны района Кейп-Кросс позволили выявить геологическую структуру интрузивных образований, погруженных в воду, создающих гребневидные, кратерообразные и другие сложные структуры в рельефе морского дна.

Список литературы:

1. Гаранин В. К., Шмаков И. И., Гаранин К. В. Алмазы прибрежно-морских россыпей Намибии // Известия секции наук о Земле Российской академии естественных наук. – 2008. – № 18. – С. 33–39.
2. Мухин П. А., Рю Г., Франческини Д. Поиски, разведка и добыча алмазов в прибрежной зоне шельфа центральной части Намибии // Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 85–97.
3. Шмаков И. И., Божко Е. Н. Происхождение морских россыпей алмазов Намибии // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. – 2008. – № 1. – С. 116–126.
4. Каминский В. Д., Супруненко О. И., Смирнов А. Н. Минерально-сырьевые ресурсы арктической континентальной окраины России и перспективы их освоения // Арктика: экология и экономика. – 2014. – № 3 (15). – С. 52–61.
5. Miller R. Mc. G., Schneider G. I. C. Diamonds // Mineral Resources of Namibia / Ministry of Mines and Energy. – Geological Survey. – 1992. – P. 5.1–5.37.
6. Bauer K., Trumbull R. B., Vietor T. Geophysical images and a crustal model of intrusive structures beneath the Messum ring complex, Namibia // Earth and Planetary Science Letters. – 2003. – № 216. – P. 65–80.

Кайгородова Е. Н., Лебедев В. А., Петров В. А. (ФГБУН ИГЕМ РАН)

ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ КЕЛЬ-БАШ (ВЕРХОВЬЯ ХУЛАМО-БЕЗЕНГИЙСКОГО УЩЕЛЬЯ, КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

Рудопроявление приурочено к пересечению продольного разлома, отделяющего Штулу-Харесскую депрессию и Боковой хребет от зоны Главного хребта, и поперечного, приуроченного к долине ледника Уллу-Чиран. Генетический тип рудопроявления – гидротермальный, минеральный тип – галенит-сфалеритовый. Возраст раннеальпийский. Вмещающие породы: кристаллические сланцы нижнего палеозоя, граниты верхнепалеозойские, нижнеюрские глинистые сланцы. Рудные минералы представлены халькопиритом, пиритом, пирротином, галенитом, сфалеритом, кобальтином, висмутином. Рудопроявление пространственно связано с дайкой трахи-

риолитов, K/Ar возраст которых составляет $3,16 \pm 0,10$ млн лет, что позволяет отнести их к образованиям Чегемского комплекса.

Ключевые слова: Большой Кавказ, сульфидная минерализация, молодой магматизм, Чегемский комплекс, изотопный возраст

Рудопроявление Кель-баш расположено в верховьях Хуламо-Безенгийского ущелья, в левом борту долины ледника Уллу-Чиран в 9 км от альплагеря «Безенги». Доступность рудопроявления низкая, дорога пролегает через ледник Уллу-Чиран. Расположено рудопроявление на высоте 2500–3200 м. Изучение данного рудопроявления представляет исключительно научный интерес.

Рудные выходы этого района изучены многими исследователями. С 1962 года (В. М. Андреев, 1962) геологические работы на территории рудопроявления не проводились. В настоящее время рудопроявление расположено в пределах Северо-Кавказского высокогорного заповедника. Здесь на площади порядка 2 км² отмечается около 15 выходов мелких рудных жил, залегающих как в кристаллических сланцах и гнейсах палеозоя, плагиогранитах, так и в юрских песчано-глинистых сланцах. Все они приурочены к зонам тектонических нарушений.

В ходе полевых работ в 2018–2019 гг. были отобраны образцы рудных минералов, вмещающих пород, молодых вулканитов. Впервые был определен возраст эффузивных образований.

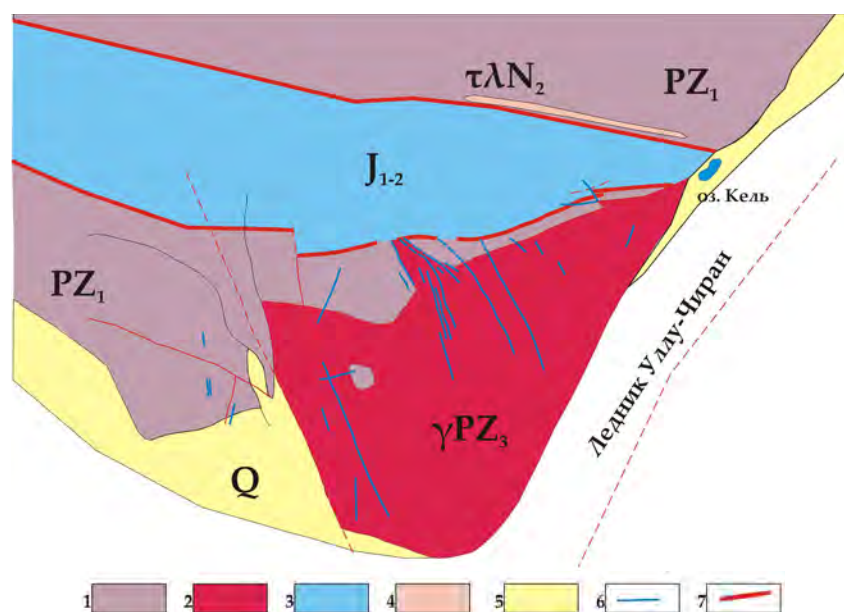
Геологическое строение рудопроявления Кель-Баш.

Рудопроявление приурочено к пересечению региональных разломов: продольного, отделяющего Штулу-Харесскую депрессию и Боковой хребет от зоны Главного хребта, и поперечного, приуроченного к долине ледника Уллу-Чиран.

Кристаллические сланцы и гнейсы палеозоя отнесены В. М. Андреевым (В. М. Андреев и др., 1963) к безенгийской и уллу-чиранской свитам.

Аргиллиты и алевролиты Штулу-Харесской депрессии обогащены пиритом. Вблизи разломов сильно окварцованы.

Темно-зеленые милониты северного обрамления Штулу-Харесской депрессии. Микрозернистые породы темно-зелено-серого цвета. В состав пород входит кварц, полевой шпат, биотит, хлорит и углистое вещество, что говорит о том, что в зону разлома затягивало аргиллиты и кристаллические сланцы палеозоя.



Схематическая геологическая карта района рудопроявления Кель-Баш:

1 – кристаллические сланцы и гнейсы палеозоя; 2 – плагиограниты верхнего палеозоя; 3 – Юрские отложения Штулу-Харесской депрессии; 4 – трахириолиты Чегемского комплекса; 5 – ледниковые отложения; 6 – рудные жилы; 7 – разломы

К востоку от г. Кельбаши и рудных жил наблюдается дайка трахириолитов мощностью 4–5 м. Она приурочена к зоне разлома и залегает согласно среди кварц-полевошпат-сланцев и гнейсов. Азимут простирания дайки З-СЗ 270–280°, падение на север под углом 50°. Макроскопически это светло-серая, почти белая тонкозернистая порода с мелкими вкрапленниками кварца. Состав пород отвечает умеренно щелочным трахириолитам (Na_2O – 5,21 %, MgO – 0,03 %, Al_2O_3 – 13,81 %, SiO_2 – 74,35 %, K_2O – 3,79 %, CaO – 0,37 %, TiO_2 – 0,05 %, Fe_2O_3 – 0,89 %).

К/Аг возраст, согласно определению Лебедева В. А., составляет $3,16 \pm 0,10$ млн лет, что позволяет отнести трахириолиты к образованиям Чегемского комплекса.

Форма и состав рудных тел.

Согласно [2], генетический тип рудопроявления – гидротермальный, а минеральный тип – галенит-сфалеритовый. Возраст раннеальпийский. Вмещающие породы: кристаллические сланцы нижнего палеозоя, граниты верхнепалеозойские, нижнеюрские глинистые сланцы. Морфологическая характеристика: серия кварцевых жил, местами переходящих в зоны брекчирования и окварцевания, приуроченные к разломам северо-западного простирания. Размеры: прослеженная протяженность жил по простиранию от 50–80 до 40 м, мощность 0,4–4,0 м.

Большая часть известных жил сосредоточена в непосредственной близости к вершине г. Кельбаш. Для руд проявления характерны структуры дробления, замещения, а также эмульсионная и колломорфная.

Рудные минералы представлены халькопиритом, пиритом, пирротинном, галенитом, сфалеритом, кобальтином, висмутином. По данным микрозондовых исследований пирротин содержит примеси Ni до 0,94 %, пирит – As до 0,12 %, Ni до 0,79 %, Cu до 0,35 %, Co до 0,17 %. Сфалерит характеризуется практически постоянным содержанием Fe (5,43–5,95 %) и примесями Cd до 0,18 %, In до 0,14 %, Cu до 0,53 %.

Полиметаллическая минерализация наложена и на милониты, что говорит о более позднем, возможно неогеновом, возрасте оруденения.

Работы выполнены при поддержке базовой темы гос. задания ИГЕМ РАН.

Список литературы:

1. Андреев В. М., Гробман В. С., Москалев Е. Л., Назаров А. Г. Геологическая карта Кавказа масштаба 1 : 50 000 листа К-38-27-В и северо-восточной части листа К-38-39-А (отчет Улучиранской геолого-съёмочной партии по работам 1960–61 г.). – Ессентуки. – 1962.
2. Твалчредидзе А. А. Отчет по теме №20-а за 1955 г. «Составление сводки по полиметаллическим месторождениям Кавказа» / Кавказский институт минерального сырья. – Тбилиси, 1956.

Калита В. А., Алексеев Я. В. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕКОТОРЫХ РОССИЙСКИХ И КАНАДСКИХ ПРОЕКТОВ ПО ОСВОЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОРЕННОГО ЗОЛОТА

В качестве объектов для сравнения были выбраны золотосодержащие месторождения Канады, так как они локализованы в сходных с российскими географо-климатических условиях и по ним имеется наиболее полная информация геолого-экономического характера по форме «Национальный документ 43-101» (Стандарты обнародования информации по проектам разработки месторождений) Фондовой биржи Торонто, Канада (www.sedar.com, Technical report NI 43-101), в целом соответствующей российскому ТЭО проектов.

Использованы данные по основным параметрам семи канадских проектов – Элеоноре Голд Проджект (Eleonore Gold Project), Мелиадин Голд Проджект (Meliadine Gold Project) и др. и семи российских – Кекура, Наседкино, Гросс и др.

Источником информации по российским проектам были данные соответствующих российских и зарубежных компаний, действующих на территории России (Бизнес-планы освоения и др.), а также протоколы ГКЗ и ЦКР Роснедр.

Канадские инвестиционные проекты, включенные в данное исследование, за исключением одного комплексного (Au-Ag-Cu-Zn) – Скотт Лейк Проджект (Scott Lake Project), по величине разведанных запасов золота, в соответствии с российской классификацией, относятся к категории крупных (табл. 1). Это согласуется с мировой тенденцией последнего десятилетия, согласно которой наиболее быстро осваиваемыми (в Китае, США, Австралии и др. странах) стали именно крупнотоннажные золоторудные месторождения [2].

В России же большая часть реализуемых в последнее время золоторудных инвестиционных проектов по разведанным запасам золота значительно уступает канадским (в большинстве случаев они не превышают 20 тонн). Однако, некоторые компании в последние годы стремятся существенно нарастить запасы по новым проектам (например, Kinross Gold на месторождении Чульбаткан в Хабаровском крае).

Все рассмотренные месторождения Канады локализованы в пределах архейских зеленокаменных поясов Канадского щита, а руды их имеют преимущественно золото-сульфиднокварцевый состав.

У российских объектов геолого-структурные и временные условия формирования более разнообразны: вулcano-плутонические комплексы (MZ–KZ), складчатый пояс в Забайкалье (PZ), грабен-синклиналь в пределах кристаллического щита (AR–PR). Состав руд золото-сульфидный, золото-сульфидно-кварцевый (карбонат-кварцевый).

Себестоимость производства золота в мире (подземная отработка) составляет в среднем от 550 до 1050 долл./унция (17,7–33,8 тыс. долл./кг) золота в концентрате [1], то есть значения у российских и канадских проектов заметно ниже верхней границы этого интервала (табл. 2).

Выводы:

1. Канадские золоторудные проекты, в соответствии с общемировой тенденцией, включают главным образом крупные по запасам месторождения, тогда как в России велика доля проектов со средними (ближе к мелким) запасами и, как следствие, с более низким ЧДД;

2. Экономические расчеты для канадских месторождений, за редким исключением, базируются на запасах, эквивалентных российским разведанным запасам (только кат. ABC₁);

3. По ряду позиций (среднее и бортовое содержание золота в рудах, способ отработки, основной продукт) в целом отмечается сходство между российскими и канадскими проектами;

1. Горно-геологические характеристики проектов

Показатель (от–до)	Россия	Канада
Запасы золота, т	6,3–74,6 кат. A+B+C ₁	50,5–226,5 proven+probable
Среднее содержание золота, г/т	0,78–9,38	0,54–7,4
Бортовое содержание золота, г/т	0,2–3,0	0,35–3,0
Способ отработки	Открытый, подземный, комбинированный	

2. Основные экономические характеристики проектов

Показатель (от–до)	Россия	Канада
Внутренняя норма доходности после вычета налогов, % (ВНД/IRR)	14,38–31,0	3,15–19,5
Чистый дисконтированный доход, млн долл. США (ЧДД/NPV)	17,4–230	6,5–311
Себестоимость производства золота, включая поддерживающий капитал, долл./кг	14 244–31 061	17 064–22 862
Срок окупаемости дисконтированный (с начала производства)	4,5–6,9 лет	3,8–6,3 года

4. Оцениваемые инвестиционные риски для канадских проектов (ставка дисконтирования) обычно вдвое ниже, чем для проектов, реализуемых в России (5 против 10);
5. По внутренней норме доходности канадские проекты в целом уступают российским;
6. Срок окупаемости у российских проектов обычно выше.

Таким образом, российские золоторудные проекты по геолого-экономическим параметрам вполне конкурентоспособны на мировом рынке и могут представлять интерес для зарубежных инвесторов. Однако, при этом отрицательными факторами являются недостаточно крупные разведанные запасы большинства осваиваемых месторождений (что снижает величину ЧДД), больший срок окупаемости проектов в России и повышенный риск инвестиционных вложений.

Список литературы:

1. КriptoПрогноз. Погода на рынке финансов и криптовалют. Себестоимость добычи золота в мире и РФ : [сайт]. – URL : <https://cryptoprognoz.ru/sebestoimost-dobychi-zolota-v-mire-i-rf/> (дата обращения: 30.03.2021).
2. Российская государственная пробирная палата. Новости. Крупнотоннажные месторождения в мировой и российской золотодобыче : [сайт]. – URL : http://www.probpalata.ru/rgpp/news/?ELEMENT_ID=2193 (дата обращения: 03.06.2016).

Калмыков Б. А., Трусов А. А. (АО «ГНПП «Аэрогеофизика»)

ОСОБЕННОСТИ ОТРАЖЕНИЯ ТРУБОК ВЗРЫВА В МАТЕРИАЛАХ АЭРОЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ (НА ПРИМЕРЕ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА)

На территории Зимнебережного алмазоносного района компанией АО «ГНПП «Аэрогеофизика» проведены опытно-методические работы с применением импульсной аэроэлектроразведочной системы на ряде эталонных объектов трубочного типа. Установлено, что трубки взрыва проявляются на геоэлектрических разрезах субвертикальными областями повышенной электропроводности, сменяющимися с глубиной участками повышенных сопротивлений, что, возможно, является их геоэлектрическим образом. Полученные материалы рекомендуется использовать на современном этапе алмазопроисковых работ.

Ключевые слова: аэроэлектроразведка МПП, опытно-методические работы, трубки взрыва, алмазопроисковые работы.

В течение многолетних алмазопроисковых работ, проводимых на территории Зимнебережного алмазоносного района, основным поисковым методом являлась магниторазведка. В результате заверки магнитных аномалий было выявлено значительное количество трубок взрыва, в том числе алмазоносных. Однако к настоящему времени большинство выявленных в районе магнитных аномалий заверено бурением, что привело к снижению эффективности на современной стадии работ магнитометрического метода поисков и обусловило потребность в разработке и применении новых геофизических методов.

В 2019 г. АО «ГНПП «Аэрогеофизика» в процессе проведения комплексной аэрогеофизической съемки, включающей аэромагниторазведку и аэроэлектроразведку МПП, по договору с АО «АГД Даймондс» провела опытно-методические работы на ряде эталонных объектов Зимнебережного алмазоносного района. В состав эталонных объектов входили трубки взрыва: Верхнетовская (691), Волчья (401), Галина (478), Болотная (685).

Аэрогеофизическая съемка выполнялась вертолетной аэроэлектроразведочной системой HELITEM 35C, реализующей метод переходных процессов. Система позволяет измерять три ортогональные магнитные компоненты (X , Y , Z) вторичного электромагнитного поля с высокой

частотой дискретизации. Отличительной особенностью системы HELITEM 35C является высокий дипольный момент возбуждающего импульса (до $700\,000\text{ А}\cdot\text{м}^2$) и низкая базовая частота системы – 25 Гц.

Обработка данных электроразведки методом переходных процессов выполнялась с помощью специализированных программ и состояла из следующих операций: распаковка бортовых данных, оценка уровня шума и величины дрейфа, ввод поправки за дрейф сигнала, фильтрация данных, приведение данных вылета к базовому уровню. После завершения площадной съемки была выполнена увязка данных отдельных вылетов между собой.

В результате обработки полученных материалов по эталонным объектам были построены геофизические разрезы, на которых выявлены особенности отражения трубок взрыва в электроразведочных полях. Основной проблемой, возникающей при попытках фиксации трубок взрыва в электрических полях геологических образований района, является слабая контрастность в различии электрических свойств пород, слагающих диатремы, и вмещающих отложений венда. Другим неблагоприятным фактором является широкое развитие в породах перекрывающего комплекса высокопроводящих ледниковых и озерно-аллювиальных осадков, поглощающих сигнал генератора, что приводит к снижению глубинности метода. Особенностью района является присутствие в верхней части разреза кимберлитовмещающей толщи водоносного горизонта, приуроченного к нижней части золотицкой подсвиты венда. Воды данного горизонта имеют гидрокарбонатно-магниево-кальциевый состав и имеют подпитку соленоватыми сульфатно-хлоридно-натриевыми водами из нижележащих горизонтов, вследствие чего они образуют площадной слой высокой электропроводности, затушевывающий слабоконтрастные электрические неоднородности, связанные с кимберлитами.

Данные электрического каротажа поисково-разведочных скважин показывают, что взаимоотношения электрических свойств образований трубок и вмещающих пород изменяются с глубиной. Породы кратерных частей трубок характеризуются пониженным удельным сопротивлением с преобладанием значений 20–40 Ом (Ом·метр/ Ом·м). На фоне вмещающих песчано-глинистых пород венда, обладающих удельными сопротивлениями 40–100 Ом, кратерные образования будут проявляться слабоконтрастными аномалиями повышенной электропроводности. Такими же малоамплитудными аномалиями проводимости будут фиксироваться и верхние части диатрем, сложенные выветрелыми породами жерловых фаций. С глубиной отмечается увеличение удельных сопротивлений пород жерловых фаций до 100–500 Ом. В то же время смена литологического состава вендских осадков приводит к понижению удельного сопротивления вмещающих пород до 2–20 Ом.

Таким образом, слабоэродированные диатремы будут отражаться слабоконтрастными аномалиями повышенной электропроводности, в то время как бескратерные эродированные трубки могут проявляться малоамплитудными аномалиями повышенных сопротивлений.

Выявлены следующие особенности отражения исследованных диатрем в электрических полях. Трубки отражаются на геофизических разрезах слабоконтрастными субвертикальными областями повышенной электропроводности. Наиболее выразительно проявляется мелилититовая трубка Волчья в виде субвертикальной наклонной области с увеличением проводимости до 6–12 мСм/м. Наклон области коррелируется с наклоном диатремы. В нижней части трубки отмечается нарушение высокопроводящего водонасыщенного горизонта, приуроченного к границе золотицкой и мельской подсвиты венда. Мелилититовая трубка Болотная (685) проявляется аналогично трубке Волчья, отличаясь меньшей контрастностью аномалии.

Трубка Верхнетовская, сложенная кимберлитами, проявляется на геоэлектрическом разрезе сложной аномалией. К верхней ее части приурочена линзовидная аномалия повышенной электропроводности, соответствующая линзе кратерных образований. Центральная часть трубки проявлена аномалией повышенных сопротивлений, соответствующей плотным породам жерловых фаций. Отмечается нарушение сплошности высокопроводящего водоносного горизонта в нижней части диатремы.

Кимберлитовая трубка Галина (478) отражается на геоэлектрическом разрезе слабовыраженной неоднородностью, возможно обусловленной близостью электрических параметров кимберлитов и вмещающих пород. Трубка проявляется слабовыраженной субвертикальной областью по-

вышенной электропроводности, расширяющейся в верхней части, что соответствует образованиям кратерных фаций. К нижней части трубки приурочена субвертикальная область повышенных сопротивлений, нарушающая проводящий водонасыщенный горизонт.

Данная комбинация смены по вертикали проводящей области на более высокоомную, проявленная в геоэлектрических разрезах трубок Галина и Верхнетовская, возможно, является диагностической чертой геоэлектрического образа трубки взрыва.

Все рассмотренные трубки фиксируются магнитными аномалиями различной интенсивности. Более контрастные магнитные аномалии характерны для мелилититовых трубок. Кимберлитовые трубки, как правило, имеют более низкие магнитные параметры и отражаются малоамплитудными магнитными аномалиями, морфология которых осложняется в случае развития мощных кратерных образований (трубка им. Гриба). В то же время число малоамплитудных магнитных аномалий значительно превышает число контрастных. Для разбраковки их по степени перспективности необходимо проводить комплексный анализ пространственного совпадения магнитных и электроразведочных неоднородностей.

Применение рассмотренной аэроэлектроразведочной системы позволило также выявить ряд выраженных аномалий повышенной электропроводности трубочного типа, не сопровождающихся магнитными аномалиями. Данные аномалии отличаются различными морфологическими особенностями и контрастностью и требуют доизучения наземными методами. Заверка электроразведочных аномалий, возможно, приведет к открытию нового типа диатрем, что послужит расширению перспектив Зимнебережного алмазonoсного района.

Приведенные особенности отражения трубок взрыва в материалах аэроэлектроразведки МПП свидетельствуют о перспективах применения данных методов для поисков кимберлитовых тел и целесообразности развития и адаптации аэроэлектроразведочных технологий данного типа на современном этапе проведения алмазопoисковых работ в районе.

В конце 2020 г. над теми же эталонными объектами были выполнены полеты с новой аэроэлектроразведочной системой HoriZOND. Аппаратура отвечает современным требованиям, предъявляемым к аэроэлектроразведке. Было получено хорошее соответствие результатов ее обработки с материалами HELITEM.

Каримова Ф. Б., Джуманиязов Д. И.
(Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева, Узбекистан)

РОЛЬ МАГМАТИЗМА В ФОРМИРОВАНИИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ АЛМАЛЫК-АНГРЕНСКОГО РАЙОНА (ЧАТКАЛО-КУРАМИНСКИЙ РЕГИОН)

Рассматриваются петрографические и петрохимические особенности пород Алмалык-Ангренского района. Приведены краткие материалы изучения геохимической специализации лампрофирового магматизма. Большинство установленных сквозных элементов в дайках, имеющих превышающие кларки содержания во всех типах пород, являются рудообразующими и индикаторными для золото-мышьяковой, золото-теллуровой и золото-серебряной формаций Чаткало-Кураминского региона.

Ключевые слова: горнблендиты, пироксениты, кремнещелочные флюиды, мантия, лантаноиды, рудоносность, базальтоидный магматизм, редкоземельные элементы

Наблюдающиеся в Алмалык-Ангренском горнорудном районе интрузивные тела горнблендитов и пироксенитов представляются как продукты исходно верхнемантийных магм. На это указывают их петрографические и петрохимические особенности [1]. Полученные нами новые геохимические материалы показывают наличие в них признаков потенциальной рудоносности на благородные и редкие металлы. В горнблендитах на гамма-спектрометре ICP-4900 фирмы Nokia (Фин-

ляндия) определены превышающие кларки в основных породах (в г/т): Au (0,01; 0,02); As (4,0; 20,4); Cs (1,7; 2,7); W (4,0; 7,1); Ta (1,42; 1,81); U (0,7; 1,0); Sc (37,8; 51,7); Hf (1,8; 3,0); Se (0,1; 3,7); Ce (28; 38); Sm (7,1; 8,6). Среди редкоземельных элементов наблюдается преобладание легких лантаноидов над тяжелыми ($La/Yb = 5,9; 7,1$). Отчетливо выражен в характере распределения РЗЭ Eu-минимум [2].

Нам представляется, что на начальных этапах базальтоидного магматизма при образовании расплавов в результате воздействия мантийных кремнещелочных флюидов магмы были обогащены железом, титаном, натрием, калием и рудогенными элементами для золото-серебряных месторождений Алмалык-Ангренского района (в основном Au, W, Se, Sb, As), легкими РЗЭ, скандием и др. Воздействие последующих рудно-магматических систем, связанных с функционированием мантийного диапира, привело к перераспределению компонентов, дополнительному обогащению руд и наложению новых минеральных и геохимических ассоциаций, обогащенных серебром, теллуrom, тяжелыми РЗЭ, платиноидами и др. элементами. Вероятно, субдуцирующая океаническая кора привела к активизации мантии, внедрению потока кремнещелочных флюидов, действовавших на магматические очаги, размещенные в верхней мантии и нижней коре.

Обогащенность пород комплексом рудных элементов, характерных как для медно-молибденовых, так и для золото-серебро-сульфидных месторождений Алмалык-Ангренского горнорудного района (Актепе, Кочбулак, Кызылалмасай), позволяет использовать полученные петролого-геохимические материалы в качестве факторов решения вопросов рудообразования и поисков благородных и редких металлов в горнорудных районах Чаткало-Кураминского региона. В качестве металлогенически значимых элементов поздних этапов магматизма и рудообразования выделены W, Mo, Cu, Au, Ag, As, Bi, Se, Te, Re, Yb.

Возможная роль раннепалеозойского базальтоидного магматизма в формировании золото-серебряного оруденения Алмалык-Ангренского района предполагается нами на основании следующих данных: 1) повышенные содержания железа и титана в горнблендитах и роговообманковых габбро; 2) наличие в вулканитах золота и серебра (0,0055 и 1,45 г/т) и концентрация рудных элементов в магнетитах пород (в г/т): Au – 0,0142; Cu – 30; Pb – 30; Zn – 500; 3) превышающие кларки содержания Au, W, Se, Sb, As как в базальтах, так и в горнблендитах и габбро силура–девона. Эта выделяющаяся наиболее высокими концентрациями ассоциация элементов является рудогенной для эпитеpmальных золото-серебряных месторождений рудных полей Чаткало-Кураминских гор [3]. Кроме того, отчетливо выразились геохимическая специализация базальтовой магмы на легкие редкоземельные металлы (La, Ce, Sm, Eu) и зараженность ее Cr, V, Co, Cu, Pb, Zn и другими элементами, свойственными подкоровым уровням литосферы.

Изучение геохимической специализации лампрофирового магматизма на Кызылалмасайском, Кочбулакском и Наугарзансайском рудных полях с известными золото-серебряными месторождениями показало, что формирование даек лампрофиров, представленных керсантами и камптонитами, происходило в позднепермское время. При этом определенную роль играли самые поздние, вероятно, наиболее глубинные, рудно-магматические системы [1]. Установлено, что в дайках выражено наличие сквозных элементов, имеющих превышающие кларки содержания во всех типах пород. Это Ba, V, W, Mo, Re, Zr, Yb, Ag, Au, Cd, As, Se, Te, Sb, Bi, Pd и U. Большинство из них являются рудообразующими и индикаторными для золото-мышьяковой, золото-теллуровой и золото-серебряной формаций Чаткало-Кураминского региона [3], а также золото-пиритового, золото-полисульфидного и золото-теллугового минеральных типов Кызылалмасайского рудного поля [3, 4].

Результаты геолого-петрографического, минералого-геохимического изучения роли магматизма в формировании золото-серебряного оруденения Юго-Западных отрогов Чаткальского хребта позволяют говорить об определяющей роли мантийного магматизма («горячей точки») в образовании комплексных руд золота, серебра и редких металлов.

Список литературы:

1. Ахунджанов Р., Мамарозилов У. Д., Усманов А. И., Сайдиганиев С. С., Зенкова С. О., Каримова Ф. Б. Петрогенезис потенциально рудоносных интрузивов Узбекистана (на примере Чаткало-Кураминского и Нуратинского регионов). – Ташкент : ФАН. 2014. – 350 с.

2. Ахунджанов Р., Сайдиганиев С. С., Зенкова С. О., Каримова Ф. Б. Петрологическая типизация габброидных интрузивов юго-западных отрогов Чаткальского хребта (Срединный Тянь-Шань) // Основные проблемы магматической геологии Западного Тянь-Шаня. – Ташкент: НУУз, 2012. – С. 11–15.
3. Конеев Р. И. Наноминералогия золота эпитермальных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан). – СПб. : DELTA, 2006. – 218 с.
4. Пирназаров М. М., Колоскова С. М. Генетическая модель золотого оруденения Кызылалмасайского типа Шаваз-Дукентского грабена (Ангренский золоторудный район) // Геология и минеральные ресурсы. 2004. – № 2. – С. 16–24.

Кирсанов А. А., Павлова В. О., Золотухина А. В. (ФГБУ ВСЕГЕИ)

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВЕРОЯТНЫХ ЗОН ОКОЛОРУДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ГДП-200 (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В настоящей работе рассматривается возможность выявления зон околорудных гидротермально-метасоматических и гипергенных изменений для прогнозирования и поисков полезных ископаемых при геологическом доизучении площадей в масштабе 1:200 000 (ГДП-200) с помощью спектрального анализа данных дистанционного зондирования Земли. Приводятся особенности геологического строения территории работ, технологическая цепочка локализации зон гидротермально-метасоматических изменений по космическим гиперспектральным данным, проанализированы результаты спектрального анализа гиперспектральной дистанционной основы с геологическими и минерагеническими данными, выделены новые перспективные площади в пределах Дуксундинской площади.

Ключевые слова: поиск месторождений полезных ископаемых, дистанционное зондирование Земли, спектральный анализ, гиперспектральные данные ASTER, околорудные изменения, металлогения.

В последние годы за рубежом возросла возможность использования спутниковых гиперспектральных данных при прогнозировании и поисках полезных ископаемых [6]. Применение новых методов дистанционного зондирования Земли позволит повысить прогнозную эффективность работ ГДП-200, локализовав перспективные площади на обнаружение месторождений полезных ископаемых на предварительном этапе, уменьшить стоимость геологоразведочных работ, провести комплексное исследование обширных территорий.

Исследования проводились на Дуксундинской площади (Магаданская область), расположенной в пределах Индигиро-Колымской и Верхояно-Колымской минерагенических провинций.

В геологическом строении территории участвуют осадочно-метаморфические породы протерозоя, карбонатно-терригенные и вулканические отложения палеозоя и мезозоя (от девона до верхней юры), а также четвертичные образования. Стратифицированные образования прорваны многочисленными гранитоидными массивами, субвулканическими телами и дайками от основного до кислого состава и гидротермальными жилами позднемезозойской активации [1, 2, 3].

На территории листа выявлены месторождения, рудопроявления, пункты минерализации цветных, благородных, редкоземельных и черных металлов.

Основными факторами, контролирующими оруденение зон, являются: развитие рифейских металлоносных отложений, развитие зон позднемезозойской активации.

Оловянное, полиметаллическое, благороднометалльное, редкометалльное, медное оруденения зачастую локализуются в кварц-сульфидных, кварц-турмалиновых, кварц-турмалин-сульфидных, кварц-мусковитовых, кварц-хлоритовых, кварц-карбонатных, кварц-галенитовых, брекчированных кварц-лимонитовых жилах, в телах кварц-серицитового состава, грейзенах, грейзени-

**Участки, перспективные на выявление новых рудных объектов
(в пределах Дуксундинской площади)**

№ п/п	Местонахождение	Геологическое строение	Спектрометрические ореолы	Пояснение
1	Лист Р-56-III. Правобережье верхнего течения р. Лев. Дуксунда, левобережье р. Дуксунда. Индигиро-Колымская минерагеническая провинция (ИКМП), без детального ранжирования.	Обнажаются девонские песчаники, известняки, сланцы, юрские песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы липариты, липарито-дациты, их туфы, прорванные субвулканическими, интрузивными и гидротермальными образованиями липаритов, диоритовыми порфиритами, долеритами, габбро, кварцевыми, кварц-карбонатными жилами.	Аргиллизация, грейзенизация, ороговикование, скарнирование, зоны окисления. Минералы: кварц, хлорит, турмалин, мусковит, топаз, альбит, кальцит, диопсид, иллит, каолинит, оксиды и гидроксиды железа, пирит касситерит, шеелит, магнетит.	Возможны новые рудные объекты гидротермального типа (Sn, Au, Ag, Zn, Pb, W, Hg и др.), в основном жильного типа.
2	Лист Р-56-III. Верховья р. Дуксундинка. Ороевская золото-меднорудная минерагеническая зона ИКМП	Обнажаются рифейские сланцы, кварцитопесчаники, филлиты, девонские карбонатно-терригенные отложения, юрские карбонатно-терригенные и вулканические породы, прорванные многочисленными субвулканическими, интрузивными телами и гидротермальными жилами.	Аргиллизация, грейзенизация, ороговикование, зоны окисления. Минералы: кварц, мусковит, альбит, кальцит, иллит, каолинит, диопсид, хлорит, турмалинооксиды и гидроксиды железа, пирит касситерит, шеелит, магнетит.	Возможны новые рудные объекты гидротермального типа (Sn, Au, Ag, Zn, Pb, Cu, W, Hg и др.), в основном жильного типа и стратиформные залежи Cu.
3	Р-56-IV. Окрестности г. Толкун-Хая. Правый берег р. Колымы. Толкунтахский потенциальный оловорудный узел Верхояно-Колымской минерагенической провинции.	Толкунтахский массив. В составе преобладают граниты, лейкограниты, прорывающие и изменяющие песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы, известняки триаса и вулканогенно-терригенные породы юры.	Аргиллизация, грейзенизация, ороговикование, скарнирование, зоны окисления, оловоносные метасоматиты. Минералы: кварц, альбит, кальцит, мусковит, хлорит, турмалин, топаз, сидерит, диопсид, иллит, каолинит, лимонит, гематит, гетит, касситерит, магнетит, пирит, шеелит.	По мнению авторов, ресурсный потенциал узла может быть увеличен за счет новых тел. На это указывают широкие спектрометрические ореолы. Возможны новые рудные объекты гидротермального типа (Sn, Au, Ag, Zn, Pb, Cu, W, Hg и др.). Наиболее вероятны объекты кварцево-грейзеновой, силикатно-сульфидной с редкими землями, Ag, Sb и золото-серебряной формаций.

зированных гранитах, среди окварцованных сульфидизированных гранитоидов, среди скарнированных, ороговикованных, сульфидизированных, эпидотизированных, гематитизированных пород. Медное и железное оруденения также локализуются в металлоносных песчаниках, сланцах, кварцитах, роговиках рифейского возраста. Устанавливаются зоны окисления.

По результатам анализа геологических материалов определено, что типичными околорудными изменениями являются аргиллизация, грейзенизация, ороговикование, скарнирование, оловоносные метасоматиты, зоны окисления. Минералами, характерными для околорудных изменений на данной территории, в большей или меньшей степени являются следующие: кварц, альбит, кальцит, мусковит, хлорит, турмалин, топаз, сидерит, диопсид, иллит, каолинит, лимонит, гематит, гетит, касситерит, магнетит, пирит, шеелит. Среди сульфидов достаточным является установле-

ние только пирита, присутствующего практически в каждой зоне сульфидной минерализации.

В Центре дистанционных методов природоресурсных исследований ФГБУ «ВСЕГЕИ» по заданию Роснедр разработан алгоритм анализа гиперспектральных спутниковых данных, включающий их обработку, дальнейший спектральный анализ и прогнозную интерпретацию [4].

Технология локализации зон околорудных гидротермально-метасоматических и гипергенных изменений включает в себя следующие ключевые этапы: 1. Формирование реестра типичных пород околорудных изменений, с выявлением их основных (индикаторных) минералов на основе анализа геологических материалов (5); 2. Создание спектров библиотеки индикаторных минералов и пород; 3. Создание гиперспектральной дистанционной основы (ГДО) по данным космических снимков «ASTER»; 4. Специализированная компьютерная обработка ГДО; 5. Построение маски территории, пригодной для спектрального анализа, которая складывается из масок облачности, растительности (TSAVI), снега (NDSI) и воды (MNDWI); 6. Спектральный анализ ГДО; 7. Выявление минералов-индикаторов; 8. Создание спектрометрических ореолов гауссовским распределением; 9. Создание ГИС-проекта, включающего ГДО, результирующие схемы минералов-индикаторов и спектрометрических ореолов, геологические и геохимические материалы; 9. Заключительным этапом является комплексный анализ полученных результатов с определением перспективных участков на выявление полезных ископаемых.

Результатом исследования стала локализация новых участков, перспективных на выявление полезных ископаемых, коррелирующихся с данными известных рудных объектов [2]. Материалы представлены в таблице 1.

Указанные участки заслуживают дальнейшего изучения и представляются перспективными на открытие новых рудных объектов.

Проведенные исследования показали, что технология спектрального анализа космических снимков дает возможность диагностировать околорудные изменения по их индивидуальным спектральным параметрам и локализовать благоприятные для оруденения участки еще на предварительном этапе геолого-съёмочных работ. К наиболее эффективным районам использования гиперспектральных данных относятся горно-складчатые территории, лишенные растительного покрова, в том числе арктические районы России.

Список литературы:

1. Бойшенко А. Ф. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Среднеколымская. Лист Р-56-III. Объяснительная записка. – М., 1983. – 77 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-56 – Сеймчан. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. – 427 с.
3. Гусаров Б. М. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Среднеколымская. Лист Р-56-IV. Объяснительная записка. – М., 1983. 77 с.
4. Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Смирнов М. Ю., Кирсанов Г. А., Смирнова И. О., Павлова В. О. Выявление площадей, перспективных на золотое оруденение, на основе результатов обработки аэро- и космических гиперспектральных данных // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 78. – С. 85–90.
5. Плющев Е. В., Шатов В.В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. – Том 354. – 560 с.
6. Смирнова И. О., Кирсанов А. А., Камышникова Н. В. Обзор зарубежных достижений за последние пять лет в области использования мульти- и гиперспектральных спутниковых данных и современных методов их обработки в геологических исследованиях // Тезисы докладов Тринадцатой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования из Космоса (физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». – М. : ИКИ, 2020. – Т. 17. – № 1. – С. 9–27.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО И СОПРЯЖЕННОГО С НИМ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ САЛАИРСКОЙ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Опережающая поисковая геофизическая основа является обязательной составляющей комплекта геологической документации при проведении поисковых работ. Содержащаяся в ней информация позволяет оценить перспективы территории, спрогнозировать и уменьшить затраты за счет рационального распределения горно-буровых работ.

С использованием ретро-материалов и современной комплексной аэрогеофизической съемки показан анализ характера распределения геофизических полей на полиметаллических месторождениях Салаира, определены поисковые геофизические критерии наличия полиметаллического оруденения.

Ключевые слова: Салаир, геофизический комплекс, полиметаллическое оруденение, геолого-геофизическая модель, геофизические признаки, гравиразведка, электроразведка, магниторазведка.

В течение многих десятилетий авторами геофизических отчетов при описании характера поведения физических полей на различных поисковых участках территории Салаира основными поисковыми признаками наличия полиметаллического оруденения считались выявленные аномальные зоны естественного электрического поля (ЕП) и поля вызванной поляризации (ВП). Начиная с 60-х годов прошлого столетия алгоритм выявления поисковых геофизических критериев наличия оруденения был довольно прост. На стадии подготовки к проведению крупномасштабных геолого-съемочных и поисковых работ площадь покрывалась съемкой ЕП масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000. На стадии детализационных работ на площадях выявленных аномалий естественного поля проводились работы по выявлению аномалий вызванной поляризации в основном электроразведкой в модификации срединного градиента (СГ-ВП). Обе съемки сопровождалась магниторазведкой, которая проводилась преимущественно в помощь геологическому картированию. Съемки разных лет проводились в основном в пределах северо-восточного Салаира на участках с ранее выявленными колчеданно-полиметаллическими месторождениями. Локальные аномалии ЕП многими авторами увязывались с процессами окисления рудных тел. Выявленные в этих зонах аномально высокие значения ВП признавались отражением присутствия колчеданно-полиметаллических руд и рекомендовались к заверочному бурению. Как и на Рудном Алтае, в подавляющем большинстве случаев такой подход не приносил положительных результатов. Первые подвижки в направлении расширения геофизического комплекса при создании поисковой геофизической основы произошли в 70-х годах XX века, когда было обосновано его дополнение гравиразведкой [3]. А в конце 80-х годов XX века Родин В. Г. впервые рассмотрел возможность использования закономерностей распределения электрического сопротивления как информативного признака и выполнил обновление интерпретационных схем Северо-Каменушинской площади.

Проведенные в 2015–2017 гг. АО «СНИИГГиМС» работы по обобщению материалов предшественников и вновь выполненных комплексных аэрогеофизических съемок (магниторазведка, гамма-спектрометрия, электроразведка методом переходных процессов) на 5 перспективных участках в рамках объекта «Поисковые работы с оценкой перспектив колчеданно-полиметаллического с золотом оруденения основных рудных районов и узлов Салаирской металлогенической зоны» позволили углубленно рассмотреть характер поведения геофизических полей и составить геофизические основы прогнозирования масштаба 1 : 50 000 для Огнево-Романовского, Еловско-Которовского, Салаирского и Пуштулимского рудных районов Салаирской металлогенической зоны. Опираясь на геолого-геофизическую модель Каменушинского месторождения, с применением методов математической статистики [1] были обоснованы геофизические критерии наличия объектов ранга рудных полей. К перспективным участкам, соответствующим по геофизичес-

ким данным рудным полям, были отнесены площади, удовлетворяющие следующим критериям.

1. Участки, на площади которых отмечаются зоны локальных положительных аномалий поля силы тяжести третьего и выше порядка, рассчитанных на основе съемок масштаба 1 : 10000 (сечение изолиний не более 0,25 мГл), обусловленные концентрацией высокоплотных минералов, образовавшихся в процессе серицитизации, хлоритизации и пиритизации рудовмещающих пород.

2. Области с наличием высокоомных линейно вытянутых в направлении основных геологических структур аномалий кажущегося электрического сопротивления, приуроченных к зонам окварцевания и доломитизации начальной стадии рудообразования.

3. Области проявления локальных линейно вытянутых в направлении основных геологических структур отрицательных аномалий комплексных мультипликативных аномалий KTh/U, выступающих индикатором проявления метасоматических процессов [2].

4. Аномальные зоны повышенных значений поля вызванной поляризации ($> 2\%$), отражающие ореолы густой вкрапленности сульфидов (преимущественно пирита).

5. Аномальные зоны положительных локальных линейно вытянутых в направлении основных геологических структур магнитных аномалий, на фоне слабоотрицательного поля, отражающие скопление железосодержащих минералов в продуктах остаточных кор выветривания, развитых по сульфидизированным зонам.

Исходя из информативности геофизических признаков, с целью создания поисковой геофизической основы масштаба 1 : 10000 на первоочередных перспективных площадях рекомендовано проведение комплекса геофизических работ, включающего электроразведку МПП с выделением эффекта ВП, грави- и магниторазведку. С учетом данных геоморфологии, мощности рыхлых отложений и возможных затрат на производство работ подбор модификаций методов необходимо производить индивидуально, применительно к каждому участку.

Опережающие поисковые геофизические основы масштаба 1 : 10000 должны быть подготовлены в результате комплексной переинтерпретации материалов предшественников и вновь проведенных геофизических съемок соответствующего масштаба и отражать все основные геофизические признаки наличия рудных зон. Они позволят провести предварительную оценку территории, локализовать перспективные участки и рационально спланировать постановку заверочных горно-буровых работ.

Список литературы:

1. Китаев А. В., Тригубович Г. М., Мурзин О. В. Закономерности размещения и критерии прогноза колчеданно-полиметаллического оруденения Салаира по данным аэрогеофизической съемки // Интерэкспо Гео-Сибирь-2017 : сборник материалов XIII Международного научного конгресса. – Новосибирск, 2017. – С. 146–150.
2. Рихванов Л. П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований Алтае-Саянской складчатой области : специальность 04.00.11 «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений, металлогения» : дис. на соискание учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Рихванов Леонид Петрович. – Томск : ТПУ, 1999. – 473 с.
3. Розенфарб И. А. Геологическая интерпретация геофизических полей Салаира и закономерности размещения полиметаллического оруденения : дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук. – Томск : ТПИ, 1971.

Колмаков Ю. В. (ФГАОУВО «Томский политехнический университет»),
Сазонов А. М. (ФГАОУВО «Сибирский федеральный университет»)

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА И ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАРТИЗАНСКОГО УЗЛА

К локальным критериям золотого оруденения в Енисейском кряже относятся метасоматиты кварц-мусковит-хлоритового состава с углеродной минерализацией (дорудный этап) и образования кварц-слюдисто-карбонатного метасоматизма (рудный этап), проявленные в эпоху неопротерозойского рифтогенеза. Те и другие обладают характерными физическими свойствами. В Партизанском рудном узле отчетливо выражена региональная петрофизическая зональность; геофизической особенностью месторождений узла является закономерное изменение локальных признаков оруденения в зависимости от того, в какой региональной петрофизической зоне оно проявлено.

Ключевые слова: золотое оруденение, петрофизическая зональность, Енисейский кряж.

Этапы литосферного и металлогенического развития заангарской части Енисейского кряжа рассматриваются в рамках концепции суперконтинентальных циклов в связи с процессами формирования и распада суперконтинента Родиния [2, 1]. В позднем палеопротерозое происходило образование кор выветривания с последующим их переотложением в составе кремнисто-карбонатных и высокоглиноземистых осадков тейской серии. Рифтогенез мезопротерозоя привел к накоплению рудовмещающей сухопитской серии (кординской, горбилокской и удерейской свит) в погружающейся зоне вдоль Татарского и Ишимбинского глубинных разломов. Характерна повышенная фоновая золотоносность углеродистых сланцев. В раннем неопротерозое регион был охвачен процессами орогении (гренильской в связи с формированием суперконтинента Родиния). Маркеры событий: продукты регионального метаморфизма и гранитогнейсовые купола, 1000–950 млн лет; S-граниты каламинского типа, 880–860 млн лет; надвиги и зоны динамометаморфизма, 863–849 млн лет. Более поздние надвиги, 800–790 млн лет выделяют в связи с постгренильской коллизией. В позднем неопротерозое обстановка сжатия сменяется обстановкой растяжения (инверсия режимов связывается с распадом суперконтинента Родиния). Вдоль Татарского и Ишимбинского разломов образуются пояса даек бимодального состава (~ 750; 700 млн лет). В приразломных зонах закладываются рифтогенные прогибы с вулканическими ассоциациями: риолит-базальтовой, 753–717 млн лет; трахибазальт-трахитовой, 703 млн лет. Вулканизм прогибов синхронизируется с интрузивным магматизмом консолидированных бортов. Внедряются граниты А-типа (ранние 760–750, 752–718 и поздние 700–690, 630–620 млн лет), щелочные породы (675–620, 670–650 млн лет) и карбонатитовые жилы (650 млн лет). Характерна приуроченность золотого оруденения к локальным зонам динамометаморфизма и складчатости неопротерозойских надвигов. Месторождения делятся на те, у которых самое раннее рудное вещество синхронно коллизионным S-гранитам и надвигам, и те, у которых с надвигами связано только заложение структурного плана. Следующий, *дорудный этап* происходил одновременно с внедрением ранних А-гранитов и риолитбазальтовым вулканизмом. *Рудный этап* концентрирования золота совпадает со временем проявления щелочных пород и поздних А-гранитов.

Продукты ключевых этапов в развитии месторождений: типизация и физические свойства. Структуры, контролирующие оруденение, – *зоны складчатости и динамометаморфизма* коллизионных надвигов – сопровождаются линейными аномалиями электрического сопротивления. Минеральные взаимодействия, инициируемые прогрессивным давлением, привели к выделению избыточного кремнезема и образованию высокоомных участков окварцевания. На *дорудном этапе* формировались кварц-мусковитовые и мусковит-хлоритовые метасоматиты с сопутствующей углеродной минерализацией и характерными физическими свойствами: аномальной электрохимической поляризуемостью, низкой магнитной восприимчивостью и электрическим сопротивлением, высокой концентрацией и корреляционной связью РАЭ, пониженной плотностью кварц-мусковитовых и повышенной – мусковит-хлоритовых разновидностей. На *рудном этапе*

очень локально были проявлены метасоматиты кварц-слюдисто-карбонатного состава, но в рассеянном виде та же минерализация (мусковит, анкерит) охватила огромные объемы горных пород, что привело к образованию чрезвычайно контрастной петрофизической зональности рудовмещающего блока минералообразующей системы. Снизу вверх по разрезу поляризующиеся (низкоомные) немагнитные породы сменяются высокомагнитными породами, частично или полностью утратившими способность к естественной электрической поляризации. Те и другие обеднены U. Венчают эту зональность неполяризующиеся (высокоомные) породы с уменьшающейся до фоновых величин магнитной восприимчивостью и максимальным накоплением U.

Партизанский золоторудный узел размещается в пределах Татарского антиклинория на юге Заангарья. На западе Татарский антиклинорий по зоне одноименного глубинного разлома сопряжен с неопротерозойским рифтогенным Каитьбинским прогибом, на востоке ограничен Ишимбинским глубинным разломом. Ядро антиклинория занимают гранитоиды Татарского массива, присводовый фрагмент выполнен отложениями пенченгинской свиты тейской серии и ортоамфиболитами индыглинского комплекса, периферия – отложениями кординской, горбилокской и удерейской свит сухопитской серии. Неопротерозойский магматизм проявился с западной стороны антиклинория в зоне Татарского глубинного разлома. Золоторудная минерализация, напротив, развилась на его восточном склоне со стороны Ишимбинского разлома. Геологической особенностью узла является большое разнообразие полиметаморфических комплексов. Региональные преобразования пород меняются от амфиболитовой фации в основании пенченгинской свиты до начальных ступеней метатенеза на удерейском уровне. Рудные поля контролируются локальными зонами динамометаморфизма. В направлении понижения ступеней метаморфизма развита серия сопряженных региональных петрофизических зон: магнетитовой – пирротитовой – пиритовой минерализации; графитовой минерализации – неструктурированного углеродистого вещества УВ; выноса – накопления РАЭ. Характерным продуктом метаморфизма ортоамфиболитов индыглинского комплекса был магнетит. Пенченгинские и кординские сланцы проявлены в стратиформных положительных и отрицательных аномалиях, обусловленных пирротитовой и пиритовой минерализацией. Зона метаморфической графитизации прослеживается в электрических полях рЭФ и ЕП примерно до уровня горбилокской свиты. Выше этого уровня УВ не проводит электрический ток и не поляризуется. В условиях повышенных ступеней регионального метаморфизма выносились РАЭ и накапливались в слабометаморфизованных отложениях сухопитской серии. Преобразования вещественного состава и физических параметров пород узла на его раннем, метаморфическом этапе развития отразились на геофизических особенностях месторождений. Все месторождения развиты на флангах высокорadioактивных зон дорудного метасоматизма. При этом месторождения в зонах «пирротина» и «графита» имеют полный набор локальных признаков. В зоне «пирита» исчезают локальные магнитные аномалии. В зоне неструктурированного УВ отсутствуют и магнитные и ЕП аномалии, но становятся более выраженными аномалии рЭФ от кварцево-жильных зон.

Список литературы:

1. Лиханов И. И., Ревердатто В. В. Р-Т-t эволюция метаморфизма в Заангарье Енисейского кряжа: петрологические и геодинамические следствия // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55 (3). – С. 385–4016.
2. Ножкин А. Д., Борисенко А. С., Неволько П. А. Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52 (1). – С. 158–181.

ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫЕ ОБСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ СТРАТОИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТО-УГЛЕРОДИСТОГО СЕМЕЙСТВА В РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЯХ КАК ОСНОВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Приведены сведения о сходстве и различиях геолого-структурных обстановок нахождения стратоидных полистадийно-полигенно-полихронных месторождений золото-углеродистого семейства в провинциях складчатого обрамления Сибирской платформы с разновозрастными (от протерозоя до юры включительно) черносланцевыми формациями. Сделан вывод о необходимости актуализации прогнозно-поискового комплекса по поискам и оценке перспектив золотоносности черносланцевых формаций и его адаптации по отношению к конкретным провинциям.

Ключевые слова: стратоидность, месторождения золото-углеродистого семейства, черносланцевые формации, фации, провинции, обрамление Сибирской платформы.

Геолого-поисковые обстановки нахождения стратоидных месторождений золото-углеродистого семейства в провинциях складчатого обрамления Сибирской платформы с разновозрастными черносланцевыми формациями (от протерозоя до юры включительно) определяются сочетанием разномасштабных групп геологических факторов различной природы, полистадийно проявлявшихся на различных этапах формирования месторождений.

I. Группа факторов, характеризующих геотектонические и геологические обстановки накопления золотоносных черносланцевых формаций, включает сочетание:

- *Палеотектонических и геодинамических*, обуславливающих накопление рудовмещающих толщ черносланцевой группы формаций в латерально-вертикальных рядах геологических формаций в рифтогенных и надрифтовых прогибах на шельфе и склоне континентальной окраины с рассеянным спредингом и задуговых бассейнах с островодужным (эвгеосинклинальным) режимом осадконакопления терригенно-вулканогенных формаций.

Такие ряды синхронного терригенного и вулканогенного осадконакопления установлены для *нижнепротерозой-среднерифейских* прогибов Енисейской провинции, для Ленской – в *нижнепротерозой-рифей-вендских*. Для Верхоянской, Яно-Колымской и Чукотской (ВЯКЧ) провинций наличие таких рядов *предполагается* для *палеозойских прогибов с девон-пермским и мезозойскими островодужными комплексами*. Предполагается, что с вулканогенной гидротермальной активностью связано формирование *рассеянной сульфидной минерализации (в том числе слабо-золотоносной)* на различных стратоуровнях накопления черносланцевых формаций этих провинций [4–6].

- *Литолого-фациальных*, выраженных в накоплении флишеидных или относительно монотонных толщ терригенного, карбонатно-терригенного и туфогенно-карбонатно-терригенного составов, с фациями, несущими рассеянную вкрапленность сульфидов (в том числе золотоносных) на различных стратоуровнях. Для Енисейской и Ленской провинций характерно наличие в разрезах карбонатных горизонтов и карбонатной составляющей в рудовмещающих метаалевролитопесчаных толщах, которые в меньшей степени проявлены в палеозой-мезозойских толщах ВЯКЧ провинциях.

- *Структурно-тектонических* – разнопорядковых зон складчатых деформаций различной морфологии в сочетании с дизъюнктивными нарушениями различной кинематики, обуславливающих складчатое (мегаантиклинорное и мегасинклинорное) и линзовидно-блоковое строение структурно-формационных комплексов с рудовмещающими черносланцевыми формациями.

- *Магматических* – различных видов проявления в ареалах развития черносланцевых формаций интрузивно-купольных структур, скрытых или слабо эродированных разновозрастных интрузий гранитоидов, в том числе малых интрузий *с ареалом даек пестрого состава*. Последняя обстановка, в отличие от Енисейской и Ленской провинций, наиболее характерна для золо-

торудных объектов в отдельных золотоносных структурно-формационных зонах Яно-Колымской и Чукотской провинций.

II. Группа факторов, отражающих постдиагенетические процессы преобразования рудовмещающих толщ и обуславливающих локализацию в них золоторудных месторождений. Среди них – наличие вышеупомянутых зон складчато-разрывных дислокаций (ЗСРД) с фрагментами повышенного тектонического расщепления, разногенетических метаморфогенно- и гидротермально-метасоматических образований, сопровождающими и завершающими становление гранитоидного магматизма. С последними связано поступление дополнительных порций *полиэлементных* ($As \pm Ag \pm W \pm Sb \pm Mo \pm Ni$ и других) *золотоносных флюидов* в области накопления первичной рассеянной золотоносной минерализации.

Совмещение в пространстве золотоносных черносланцевых формаций, ЗСРД, метасоматитов железо-магнезиально-карбонатного состава (буропатитизации), сульфидизации, син- и постгранитных метасоматитов березит-лиственитового состава, разнообразной по составу прожилково-вкрапленной и жильно-прожилковой минерализации определяют формирование и размещение стратоидных золоторудных месторождений с промышленно значимыми концентрациями золота в минерализованных зонах с золоторудными телами различной минералого-геохимической специализации [1, 3–6].

Оставляя анализ генетических концепций формирования стратоидных месторождений золото-углеродистого семейства за рамками обсуждения, авторы склонны придерживаться схемы Н. К. Курбанова и Н. А. Фогельман (1996), согласно которой рассматриваемые месторождения образуют *конвергентный ряд полистадийно-полигенно-полихронных* объектов, формирование которых определялось длительно развивавшимися совмещенными в пространстве процессами седиментации, диагенеза, метаморфизма, орогенеза, магматизма и метасоматоза.

Полученные результаты, свидетельствующие о сходстве и различиях обстановок нахождения стратоидных месторождений золото-углеродистого семейства в черносланцевых формациях, с учетом индивидуальных особенностей строения золоторудных провинций с золотоносными черносланцевыми формациями, определяют необходимость уточнения и адаптации к конкретным провинциям ранее созданного в ЦНИГРИ (1984 г.) прогнозно-поискового комплекса.

Список литературы:

1. Аристов В. В. Структура распределения золоторудных объектов Яно-Колымской провинции. Выделение, интерпретация и прогнозное значение трендов и рудных линеаментов // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 8. – С. 1108–1125.
2. Буряк В. А. Источники золота и сопутствующих компонентов золоторудных месторождений в углеродсодержащих толщах // Геология рудных месторождений. – 1986. – Т. 28, № 6. – С. 31–43.
3. Забияка А. И., Гусаров Ю. В. Районирование Енисейской металлогенической провинции // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. – Красноярск : КНИИГиМС, 2002. – Вып. 3. – С. 80–89.
4. Иванов А. И. Рифейско-палеозойское рудообразование в Байкало-Патомской золоторудной провинции // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 12. – С. 3–10.
5. Конкин В. Д., Галямов А. Л., Донец А. И., Окулов А. В. Стратиграфические уровни локализации золоторудных и свинцово-цинковых месторождений Енисейской и Ленской провинций // Руды и металлы. – 2019. – № 4. – С. 17–33.
6. Сидоров А. А., Томсон И. Н. Условия образования сульфидизированных черносланцевых толщ и их металлогения // Тихоокеанская геология. – 2000. – Т. 19, № 1. – С. 37–49.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ РАБОТ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОДУКТИВНОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ И ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ УЗЛОВ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

Выполнен количественный анализ обобщенных показателей рудной и россыпной золотоносности (площадной продуктивности), и на его основе выделены участки в пределах россыпных районов и узлов с отчетливо выраженным дисбалансом между рудной и россыпной золотоносностью, слабо проявленной и недостаточно изученной рудной золотоносностью.

Ключевые слова: россыпи золота, золоторудные месторождения, рудно-россыпные районы, рудно-россыпные узлы, рудно-формационные типы месторождений золота, накопленная добыча, условные запасы, прогнозно-минерагенические работы, рудно-магматическая система, Забайкальский край.

Для количественного анализа обобщенных показателей рудной и россыпной золотоносности Забайкальского края была подсчитана площадная продуктивность рудных и россыпных узлов. Площадная продуктивность определялась по формуле: $S_{пр} = (Д + З + УЗ) / S$, где:

$S_{пр}$ – площадная продуктивность рудных и россыпных узлов;

S – площадь рудных и россыпных узлов;

$Д$ – накопленная добыча;

$З$ – запасы категорий А, В, C_1 , C_2 , забалансовые запасы;

$УЗ$ – прогнозные ресурсы, пересчитанные в условные запасы по формуле А. И. Кривцова:

$УЗ = 0,125 (P_3 + 2P_2 + 4P_1)$ (Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф. и др., 2010).

Всего учтены данные по 74 золоторудным узлам (ЗРУ) в пределах 23 золоторудных районов (ЗРР). При оценке золоторудной продуктивности учитывались показатели как золоторудных, так и комплексных золотосодержащих объектов. Площадная продуктивность ЗРУ, условно объединенных в четыре основные группы:

- ЗРУ с низкой площадной продуктивностью (0–40 кг/км²), 44 узла (60 %);
- ЗРУ со средней площадной продуктивностью (40–100 кг/км²), 15 узлов (20 %);
- ЗРУ с высокой площадной продуктивностью (100–300 кг/км²), 9 узлов (12 %);
- ЗРУ с очень высокой площадной продуктивностью (более 300 кг/км²), 6 узлов (8 %).

Все золотороссыпные узлы разбиты на 3 основных класса по продуктивности:

- золотороссыпные узлы с низкой площадной продуктивностью (0–2 и 2–5 кг/км²), 26 узлов (67 %);
- золотороссыпные узлы со средней площадной продуктивностью (5–10 кг/км²), 7 узлов (18 %);
- золотороссыпные узлы с высокой площадной продуктивностью (более 10 кг/км²), 6 узлов (15 %).

Анализ пространственного взаимоотношения рудных и россыпных узлов, а также их количественных показателей позволяет сделать следующие основные выводы:

1) Положение россыпных и рудных узлов характеризуется тесной пространственной близостью, причем площадь россыпных узлов закономерно больше рудных;

2) Отмечается достаточно тесная связь между показателями площадной продуктивности рудных и россыпных узлов – в пределах групп рудных узлов с высокой продуктивностью расположены россыпные узлы также с повышенными показателями площадной продуктивности;

3) Можно выделить ряд россыпных узлов, размеры и положение которых, исходя из имеющихся данных, слабо коррелируют с положением известных или прогнозируемых коренных источников. Общим для такого рода россыпных узлов является их невысокая площадная продуктивность;

4) Отдельной группой стоят весьма значительные по площади россыпные районы, расположенные в северной части Забайкальского края (Чарский, Муйский, Каларский, Калаканский), также практически не имеющие установленных коренных источников, что, в первую очередь, связано со слабой изученностью этого труднодоступного региона.

На основе пространственного анализа соотношения рудной и россыпной золотоносности было выделено 67 площадей, в пределах которых коренные источники россыпей либо не известны, либо известны разобщенные и незначительные по своему масштабу проявления. Все перспективные на постановку прогнозно-минерагенических исследований площади распределены по трем группам:

1 группа – площади, расположенные в пределах рудно-россыпных узлов с установленными рудными объектами, характеризующиеся запасами, накопленной добычей, прогнозными ресурсами различных категорий;

2 группа – площади, расположенные в пределах рудно-россыпных узлов, характеризующиеся прогнозными ресурсами категории P_3 , т. е. промышленно значимое оруденение только прогнозируется;

3 группа – площади, расположенные в пределах россыпных узлов, где нет промышленно значимых рудных объектов и к настоящему моменту нет апробированных прогнозных ресурсов.

Выделение перспективных участков для площадей 1 группы обосновано наличием россыпной золотоносности на флангах известных рудных полей, расположенных ниже по течению и, следовательно, не участвующих в подпитке золотом россыпей.

Площади 2 и 3 групп характеризуются невысокими показателями продуктивности россыпной золотоносности и, как правило, невысокой степенью изученности. Коренные источники в их пределах либо не известны (3 группа), либо имеются данные об их расположении, но промышленная значимость их не ясна (2 группа).

Крылов И. О. (МГУ им. М. В. Ломоносова)

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАГИОКЛАЗОВ В ПОРОДАХ ИНТРУЗИЙ НОРИЛЬСКОГО ТИПА

Приведены обобщенные данные о химическом составе и типоморфных особенностях плагиоклазов из различных горных пород в составе разных интрузий Талнахского и Норильского рудных узлов. Показано, что химический состав плагиоклазов в составе различных горных пород интрузий Норильского типа представлен всем изоморфным рядом от альбита до анортита. Среди элементов-примесей в структуре минерала наиболее важное значение играет примесь Fe^{3+} , которое может являться определенным геохимическим индикатором условий образования рудоносных интрузивов и рудообразования.

Ключевые слова: плагиоклазы, Норильская металлогеническая провинция, Талнахский рудный узел, Норильский рудный узел, химический состав, примеси.

Плагиоклаз является одним из главных породообразующих минералов в дифференцированных породах Норильских интрузий. В породе он находится в составе различных ассоциаций в различных соотношениях с другими минералами.

В различных горных породах трапповой формации его содержание составляет от 40 до 70 %. Наиболее высокие концентрации отмечаются в основных пегматоидах, такситовых габбро-долеритах, лейкогаббро и габбро-пегматитах. Более низкие концентрации отмечены в меланократовых разновидностях пород (с возрастанием доли оливина и пироксена) [2]. По многочисленным исследованиям отмечена связь наиболее богатых сульфидных руд с обогащенными плагиоклазом породами [1].

Химический состав плагиоклазов в составе различных горных пород интрузий норильского типа включает в себя весь изоморфный ряд от альбита до анортита [3]. Наибольшим разнообразием состава отличаются плагиоклазы из различных пород Талнахской интрузии, вариации состава которых охватывают весь ряд от альбита до анортита. Менее широкими вариациями состава характеризуются плагиоклазы интрузии Норильск I, где их состав изменяется от An40 до An80

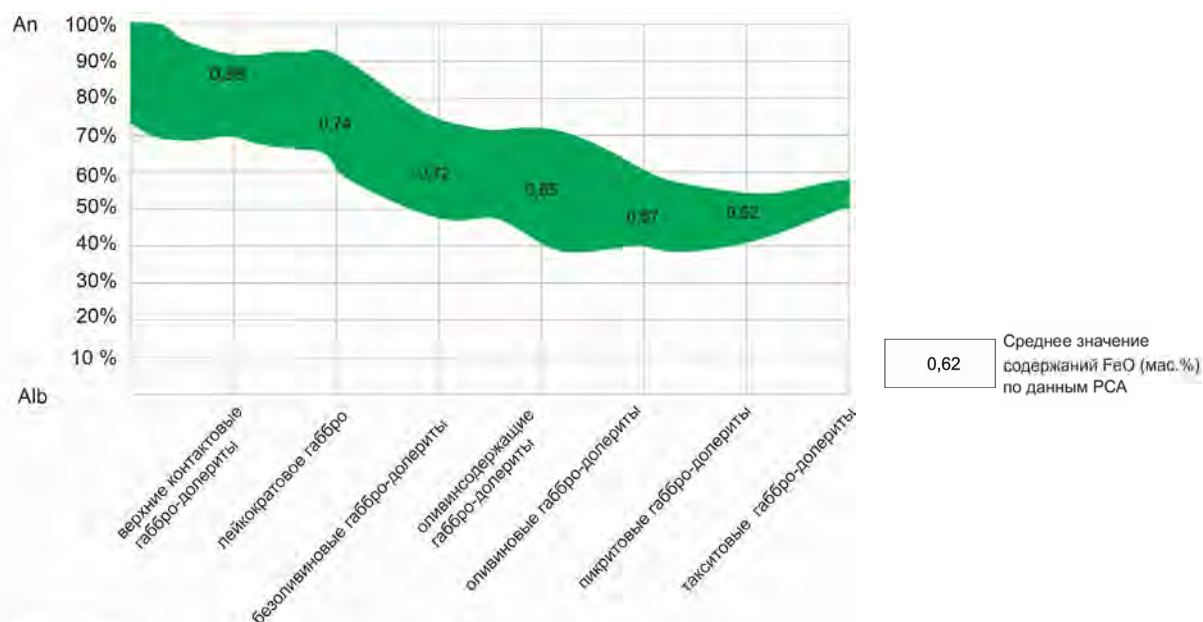


Диаграмма вариаций химического состава плагиоклазов в различных породах интрузий Норильского типа

[3], сходные составы имеют Нижнеталнахская, Нижненорильская и интрузия г. Черной (рисунок).

Выделяются две наиболее значимые генерации плагиоклаза: ранняя – более основная и поздняя – более кислая. Плагиоклазы из краевых частей зерен являются более кислыми по составу, чем из центральных, что указывает на снижение кислотности в процессе кристаллизации [2].

Важное значение в плагиоклазах имеют химические элементы-примеси, наиболее характерными из которых являются K, Fe, Ba, Sr и Al. Некоторые из них (K, Al) могут находиться в плагиоклазе как в виде равномерно распределенной изоморфной примеси, так и в составе самостоятельной фазы калишпата. Fe^{3+} является самым распространенным элементом-примесью в структуре плагиоклазов. Данные микрозондовых исследований, проведенных на примере плагиоклазов трапповых малоглубинных интрузивов [4] показали, что количество примеси Fe в плагиоклазах имеет тенденцию к возрастанию по мере уменьшения глубины кристаллизации пород. В 2020 году автором исследованы плагиоклазы из скважин западных флангов Октябрьского месторождения. Концентрации Fe в плагиоклазах габбро-долеритов составляют в среднем 0,67 мас. %. Максимальные значения концентраций Fe в плагиоклазе обнаружались в образцах плагиоклазов лейкократовых габбро и контактовых габбро-долеритов – до 1,5 мас. %. В образцах пород с более нижних горизонтов содержание примеси Fe уменьшается (0,52 мас. % и ниже). Полученные результаты подтверждают данные о том, что нижние дифференциаты (такситовые и пикритовые габбро-долериты) характеризуются плагиоклазами с пониженными значениями железа в плагиоклазах, а верхние контактовые разновидности и лейкократовые габбро – повышенными.

Список литературы:

1. Геология Норильской металлогенической провинции / под ред. И. И. Никулина ; ПАО «ГМК «Норильский никель». – М. : МАКС Пресс, 2020. – 524 с.
2. Золотарёв А. А., Аплонov В. С. Особенности химического состава плагиоклазов в горных породах Талнахского рудного узла (северо-запад Сибирской платформы) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2014. – Вып. 3. – С. 25–31.
3. Золотухин В. В., Рябов В. В., Васильев Ю. Р., Шатков В. А. Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной трапповой интрузии. – Новосибирск : Наука, 1975. – 436 с.
4. Леснов Ф. П. Плагиоклазы полигенных базит-гипербазитовых плутонов. – Новосибирск : Наука, СО, 1991. – 110 с.

5. Криволуцкая Н. А. Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. на соискание учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Криволуцкая Надежда Александровна. – М., 2012. – 44 с.

Кудрявцева Н. Г. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

К ВОПРОСУ ОБ ОТНЕСЕНИИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО АЛТАЯ К ТИПУ «КУРОКО»

Обосновывается самостоятельность формационных подгрупп месторождений Рудноалтайского типа «Куроко». В качестве палеозойского аналога последних в регионе предлагаются колчеданно-полиметаллические объекты Майкаинского рудного района.

Ключевые слова: Рудный Алтай, Куроко, колчеданно-полиметаллические месторождения

Рудноалтайский пояс расположен в западной части Алтае-Саянской провинции, а одноименная структурно-формационная зона вместе Южно-Алтайской структурой составляет краевую систему Юго-Западного Алтая. Последняя развилась на окраине Алтае-Саянского палеоконтинента, структурно-формационные комплексы которого представлены кремнисто-терригенными и карбонатно-терригенными шельфовыми формациями ордовикского–силурийского возраста. Выделяются два этапа формирования структуры, ограниченной Иртышским и Локтевско-Караиртышским глубинными разломами северо-западного простирания, отвечающие различным геодинамическим режимам ее развития [2, 5]. Первый этап охватывает промежуток времени от раннего девона до франского века и обусловлен процессами континентального рифтогенеза, второй – от фаменского века до серпуховского яруса раннего карбона, соответствует обстановкам формирования активной окраины островодужного типа. При этом латеральный ряд структур первого этапа развивается с востока на запад, а второго – с запада на восток. Колчеданно-полиметаллическое оруденение генерируется в течение двух стадий рифтогенного этапа: в эмсе–раннем живете в связи с последовательной базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной, в позднем живете–фране с контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формациями. Латеральный ряд рифтогенных формаций последовательно омолаживается от восточного прогиба (эмс) к западному (фран). В этом же направлении субщелочные вулканы калиевого профиля сменяются нормальными калиево-натриевыми и натриевыми повышенной щелочности. Ему соответствует ряд рудных формаций, который начинают железо-марганцевые и стратиформные барит-свинцово-цинковые, продолжают свинцово-цинковые колчеданные, медно-свинцово-цинковые колчеданные и заканчивают медно-цинковые колчеданные месторождения.

Рудноалтайские колчеданно-полиметаллические месторождения (Корбалихинское, Николаевское, Зыряновское и многие другие) являются крупными по запасам цветных металлов, характеризуются высокими содержаниями меди, свинца, цинка и повышенными концентрациями золота и серебра.

С перекрывающей фаменской островодужной андезит-дацитовой формацией ассоциируют мелкие золото-серебро-полиметаллические месторождения.

Колчеданно-полиметаллические месторождения типа «Куроко» распространены во внутренней, северо-восточной части Японской островной дуги, именуемой областью «зеленых туфов» [1, 4]. Они локализованы в миоценовой мелководной осадочно-вулканогенной толще субмеридионального прогиба на склоне этой дуги. В нижней части толщи преобладают вулканы андезитовидного состава. Оруденение тесно ассоциирует с верхними телами и покровами кислого состава, расслоенными существенно глинистыми отложениями. Древнее основание островной дуги рассматривается как часть кристаллического фундамента азиатского материка. Основанием третичного прогиба служат дислоцированные палеозойские преимущественно терригенные комплексы.

Рудные залежи Кууроко обычно имеют пластообразную форму и подстраиваются со стороны лежащего бока зонами барит-кварцевых и кварц-карбонатных жил и штокверковыми телами различной формы с золотосеребряной, сфалерит-галенитовой и халькопирит-пиритовой минерализацией. Рудная зональность залежей отвечает в целом типовой. Отмечается обогащение руд собственно Кууроко и барит-сульфидных серебром. Колчеданные руды в последние годы интенсивно разрабатываются. Но при весьма значительном количестве рудных объектов запасы металлов в каждом из них невелики, что особенно ярко отличает их от крупных рудноалтайских месторождений. В том же ареале молодых вулканитов и по их обрамлению разрабатываются многочисленные преимущественно жильные золотые и золотосеребряные месторождения мелкого–среднего масштаба.

Особую группу колчеданно-полиметаллических месторождений составляют объекты Бозшакольской и Баянаульской зон поздних калдонид Северо-Восточного Казахстана, известные в западной раме Иртышско-Зайсайской складчатой системы. Как правило, они рассматривались в составе мегакомплексов структур типа первичных островных дуг.

Рудоносный последовательный ордовикский (базальт)-андезит-дацит-риолитовый комплекс зрелой стадии развития образует пояс, протягивающийся к Степнякской островодужной структуре. Бозшаколь-Баянаульские вулканические массивы ассоциируют с практически одновозрастными граувакковыми флишоидными формациями ранне-позднеордовикского возраста. В ранний период изучения наиболее значительных Майкаинского и Торткудукского месторождений этого пояса возраст вулканитов оценивался как раннекембрийский. По данным Хромых Б. Ф. (1988), он – ранне-среднеордовикский.

Ордовикская андезитоидная островная дуга развилась на преимущественно терригенно-базальтоидных образованиях ранних венд-кембрийских рифтогенных прогибов, которые залегают на древнем комплексе основания переходного типа. Полный ряд ранне-среднеордовикских колчеданосных вулканитов проявлен в пределах наиболее значительного Майкаинского рудного поля. Многочисленные месторождения и проявления здесь вписываются в складчатые структуры рудовмещающей толщи. Сходный комплекс субвулканических образований Торткудукского района завершает формирование вмещающей тефроидно-осадочной толщи верхнего тремадока с горизонтами лав андезитового, андезидацитового составов и прослоями кремнистых алевролитов и известняков значительной мощности. Вулканиты относятся к толеитовому и островодужному известняково-щелочному типам с Na и K-Na щелочностью [3]. Околорудные метасоматиты представлены кварц-серицитовыми разностями и монокварцитами. Майкаинские объекты отличает многообразие руд. При этом основную ценность имеют золото- и серебросодержащие руды пирит-полиметаллического, барит-полиметаллического, баритового и серноколчеданного составов.

Оценка региональной позиции колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая в существующих систематиках их формационных типов рассматривается как необходимое звено исследований, обеспечивающее подготовку надежных прогнозных моделей и стратегический успех поисковых работ. В дальнейшем гарантом успеха служат прогнозно-поисковые модели рудных полей или месторождений-аналогов.

Список литературы:

1. Антонов А. Е. Зарубежные месторождения серебра. – М. : Недра, 1992. – 255 с.
2. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Т. 1. – Алматы, 2002. – 220 с.
3. Жуковский В. И., Маргетова Л. И. Эволюция магматизма и минерализации Майкаинского сегмента Бозшаколь-Чингизской палеодуги // Материалы Республиканского стратегического совещания : сборник. – Караганда, 2006. – С. 121–128.
4. Колчеданные месторождения Мира. – М. : Недра, 1979. – 284 с.
5. Кудрявцева Н. Г. Ряды рудных формаций месторождений цветных и благородных металлов в различных геодинамических обстановках Юго-Западного Алтая // Руды и металлы. – 2001. – № 6. – С. 44–53.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОИСКАМ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Колчеданные месторождения в вулканогенных ассоциациях – стратиформные концентрации сульфидных минералов, отложившихся (осажденных) из гидротермальных флюидов в условиях глубоководной среды. Условия и обстановки ведения поисков месторождений вытекают из их моделей. Выделение различных условий зависит от уровня эрозионного среза рудоносной субформации для рудного поля, а рудовмещающего горизонта (рудоносная ассоциация литофаций) для поискового участка и рудных залежей.

Ключевые слова: месторождения свинца и цинка, условия и обстановки ведения поисков, металлогенические таксоны, прогнозные критерии и признаки, послойный анализ

Поисковые и поисково-оценочные работы, нацеленные на конечный результат, – выделение в геологическом пространстве потенциальных месторождений в вулканогенной ассоциации (VMS) – основаны на принципе последовательного приближения, при котором поэтапно устанавливаются перспективные металлогенические единицы – таксоны разного ранга, являющиеся объектами прогнозирования и поисков: рудные поля, потенциальные месторождения. Металлогенические таксоны характеризуются следующими элементами-признаками: структурно-формационными, фаціальными, литолого-петрографическими, минералого-геохимическими, гидротермально-метасоматическими и геофизическими. Эти элементы вытекают из системы моделей месторождений и являются идентификационными признаками и критериями, позволяющими вычленять из геологического пространства разноранговые перспективные площади (рудные узлы, поля, месторождения). Прогнозно-металлогенические исследования предусматривают комплексное изучение рудовмещающих вулканогенно-осадочных толщ современными геологическими методами, включающими опережающие геохимические и геофизические работы, обработку материалов дистанционного зондирования, аэро- и наземных геофизических исследований, специализированные геохимические работы по изучению околорудных метасоматитов для выявления обстановок локализации месторождений и на этой основе выделение перспективных площадей с колчеданно-полиметаллическим оруденением, находящимся в скрытом, скрыто-перекрытом и перекрытом залеганиях. Месторождения VMS, также известные как массивные сульфидные руды в ассоциации с вулканогенными породами, являются важными источниками меди, цинка, свинца, золота, и серебра. Месторождения данного типа образованы в широком временном диапазоне и охватывают пространственные ассоциации сульфидной минерализации, связанные с подводными вулканическими процессами. Колчеданные месторождения в вулканогенных ассоциациях – стратиформные концентрации сульфидных минералов, отложившихся (осажденных) из гидротермальных флюидов в условиях глубоководной среды. Термин «вулканогенный» подразумевает генетическую связь между минерализацией и вулканической активностью, но в некоторых случаях в стратиграфических комплексах (формациях) доминируют (преобладают) кремнисто-обломочные породы. Состав вулканических пород вмещающих залежи сульфидов разнообразен в диапазоне от кислых до мафических, но бимодальные (контрастные) сочетания весьма распространены.

Недавние попытки классифицировать типы колчеданных месторождений в вулканогенных ассоциациях подчеркнули различия в связанных с оруденением вулканических и осадочных вмещающих породах [1, 2 и др.]. Преимущество этих систем классификации – более близкая связь между тектонической обстановкой и литолого-стратиграфическими разностями пород и увеличением прогнозной способности во время полевых исследований. Анализ имеющегося обширного фактического материала по закономерностям размещения месторождений свинца и цинка РФ позволяет выделить три рудно-формационных типа месторождений свинца и цинка: рудноалтайский, к которому относятся собственно месторождения Рудного Алтая, а также месторождения Салаирской, Еравнинской и Улугуйской МЗ; Малокавказский (или тип Куроко), не имеющий распро-

странения на территории РФ; Нойон-Тологойский, куда входят жильные и штокверковые месторождения Дальнегорского рудного района и Приаргунской минерагенической зоны. Последний тип сопоставим с выделявшимся ранее многими исследователями Садонским. Условия и обстановки ведения поисков месторождений вытекают из их моделей. Выделение различных условий зависит от уровня эрозионного среза рудоносной субформации для рудного поля, а рудовмещающего горизонта (рудоносная ассоциация литофаций) для поискового участка и рудных залежей. Главными являются следующие варианты:

1. Рудовмещающие отложения вскрыты эрозией и выходят на поверхность, а также перекрыты маломощным чехлом рыхлых отложений менее 10 м (выходящий на поверхность);
2. Рудовмещающие отложения вскрыты эрозией, но с мощным чехлом более молодых отложений более 10 м (перекрытый вариант);
3. Рудовмещающие отложения находятся в скрытом залегании и перекрыты маломощным чехлом рыхлых отложений (скрытый вариант);
4. Рудовмещающие отложения в скрытом залегании и перекрыты мощным чехлом более молодых отложений (скрыто-перекрытый вариант).

Наиболее простой для ведения поисковых работ является первая обстановка, когда на поверхности (или под незначительным чехлом) обнажаются рудовмещающие отложения или даже рудные тела. Вторая, третья и четвертая обстановки предполагают проявление рудных залежей на глубине с обнажением на современном эрозионном срезе периферических или фланговых частей рудовмещающих отложений. В таких условиях представление о строении потенциально перспективных участков, перекрытых мощным чехлом рыхлых и молодых отложений, может быть получено только на основе сочетания геофизических, геохимических методов со структурно-картировочным бурением. Прогноз и поиски месторождений в вулканогенной ассоциации, выделение разноранговых площадей для постановки прогнозно-минерагенических и поисковых работ основано на послойном анализе разномасштабных карт, которые могут совмещаться друг с другом в различных сочетаниях и в любой последовательности. Целям прогнозно-металлогенических построений отвечает ограниченное число такого рода сочетаний. Они выбираются по принципу наблюдаемых геологических и металлогенических характеристик, включающих оценку их возможного отражения в различных «слоях», представленных на принципиальной схеме сочетаний и последовательности совмещения информационных слоев. Путем математического анализа выявляются закономерные пространственные соотношения элементов объектной модели, выделяются области их благоприятного сочетания и на этой основе – новые площади, перспективные для обнаружения месторождений того или иного рудно-формационного типа.

Список литературы:

1. Barrie C. T., Hannington M. D. Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-rock composition // Volcanic-associated massive sulfide deposits – Processes and examples in modern and ancient settings: Reviews in Economic Geology /eds. Barrie C. T. Hannington M. D. – 1999. – V. 8. – P. 1–11.
2. Galley A. G., Hannington M., Jonasson I. Volcanogenic massive sulphide deposits // Mineral deposits of Canada – A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods / ed. Goodfellow W. D.; Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. – 2007. – Spec. Publ. 5. – P. 141–161.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СУЛЬФИДНОГО ХОЛМА И БИОМОРФНЫЕ
ОБРАЗОВАНИЯ В РУДАХ ЗАПАДНО-ЗАХАРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(РУДНЫЙ АЛТАЙ)

В пределах Западно-Захаровского месторождения установлен сульфидный холм протяжённостью 140 м и мощностью 36 м. Для холма характерна хорошо выраженная форма с выпуклой кровлей, крутыми склонами и плоским основанием. Зона подводящего канала маркируется развитием прожилково-вкрапленной и гнездово-вкрапленной минерализаций и кварц-карбонатными, карбонат-кварцевыми метасоматитами. В кровле сульфидного холма присутствует колломорфный пирит, в ассоциации с которым установлены многочисленные пиритизированные биоморфные скопления, главным образом бактериальные. В целом строение и морфология сульфидного холма, а также наличие большого количества биоморфных образований хорошей сохранности свидетельствуют о том, что мы имеем дело со слабо разрушенной гидротермальной постройкой.

Ключевые слова: Сульфидный холм, колломорфный пирит, биоморфные.

Западно-Захаровское колчеданно-полиметаллическое месторождение находится в Рубцовском рудном районе российской части Рудного Алтая. Оруденение приурочено к вулканогенно-осадочным породам, представленным кремнистыми и углистыми алевролитами, туфоалевролитами, туффитами, тефроидами, песчаниками, в ряде случаев градиционно-слоистыми. Рудные тела месторождения главным образом пластообразной и линзовидной формы, кроме того, наблюдается рудное тело неправильной формы, представляющее собой сульфидный холм небольшого размера. Сульфидный холм имеет серповидную форму, протяжённостью около 140 м, мощностью 36 м и постепенно переходит в пластообразное рудное тело с раздувами, приуроченными к небольшим локальным впадинам. Для холма характерна хорошо выраженная форма с выпуклой кровлей, крутыми склонами и плоским основанием. Как показывает анализ материалов, данный холм соответствует разрушенным гидротермальным постройкам типа «курильщиков» со слабой степенью разрушения, коэффициент разрушения (по Масленникову) 3,9 [3].

Зона подводящего канала маркируется подрудными гидротермально-метасоматическими изменениями пород, представленных кварц-карбонатными, карбонат-кварцевыми (до кварцитов) метасоматитами и развитием прожилково-вкрапленной и гнездово-вкрапленной минерализации. В вышележащих толщах по отношению к сульфидному холму в целом наблюдаются многочисленные рудокласты, а над периферической частью сульфидного холма с юго-востока в перекрывающих слоистых толщах – также и градиционная слоистость.

Подошва холма. В подошве холма установлены колчеданно-полиметаллические руды с высоким содержанием пирита (более 70 %, реже с содержанием 50–70 %). Особенностью этих руд является обилие тонкообломочного и новообразованного сульфидного материала в цементе крупнообломочных и мелкообломочных брекчий, с обломками 1–2÷4–6 см, где обломки чаще всего представлены туфоалевролитами, алевролитами, при этом сульфидный цемент может составлять до 60 % объема пород.

В центральных областях сульфидного холма в его осевой части вскрыты массивные сульфидные и брекчиевые грубообломочные руды. Ближе к периферии преобладают средне- и мелкообломочные брекчиевые и конгломерато-брекчиевые, иногда полосчатые руды. Брекчии периферической части резко отличаются по возросшему количеству цемента.

Средняя часть холма. В средней части холма развиты брекчиевые и массивные барит-полиметаллические колчедансодержащие руды, содержание пирита ≤ 50 %. Среди брекчий широко распространены грубообломочные разности с размером обломков 10–14 см. Брекчия представляет собой обломочную породу, сложенную обломками барита, сульфидов и аргиллитов с аргиллитовым матриксом. Кроме собственно сульфидных обломков, включения сульфидов содержатся в цементе и в обломках барита.

Ближе к периферии холма преобладают средне- и мелкообломочные брекчиевые и конгломерато-брекчиевые, иногда полосчатые руды. Брекчии периферической части резко отличаются по возросшему количеству цемента.

Кровля холма. В кровле холма вскрыты руды с выраженными субвертикальными полосчатыми и трубчатыми текстурами и концентрически-зональными формами, сложенные кварц-сульфидными, цинково-колчеданными, барит-содержащими рудами с содержанием пирита+марказита > 50 % и кварц-сульфидными, колчеданно-полиметаллическими рудами с содержанием пирита > 70 %. Эти руды массивные и образуют выступ на фоне линии кровли. Кроме того, в кровле сульфидного холма достаточно хорошо развиты колломорфные колчеданно-полиметаллические руды с содержанием пирита ≥ 70 %.

В пределах зоны развития колломорфного пирита в областях развития трубчатых текстур и концентрически-зональных форм установлены многочисленные пиритизированные биоморфные скопления, главным образом бактериальные. Данные биоморфные образования были исследованы на электронном микроскопе TESKAN в ПИН РАН.

При микроскопическом изучении сульфидов установлено, что пирит в цементе брекчий подошвы холма представлен скоплениями обломков аллотриоморфных и гипидиоморфных зерен, новообразованными разностями, сульфидизированными биоморфными образованиями, а также тонкодисперсными прорастаниями вместе с халькопиритом. Более крупные обломки имеют более сложный состав, преобладают галенит-халькопирит-пиритовые и галенит-халькопирит-сфалеритовые. Обломки сульфидов корродированы нерудными минералами. В качестве новообразованных минералов в цементе присутствуют тонкодисперсные халькопирит-пиритовые скопления, а также выделения сфалерита, халькопирита и галенита, развивающиеся вместе с карбонатом. Пиритизированные биоморфные образования встречаются как в виде обломков фауны и сульфидизированных бактериальных скоплений, так и в виде ненарушенных кластеров фрамбоидов, развивающихся в цементе между крупными обломками. Большое количество биоморфных образований, а также скопления тонкодисперсных сульфидов свидетельствуют о придонном образовании сульфидов в подошве холма.

В средней части рудного холма установлено развитие сульфидов блеклорудно-галенит-пирит-халькопирит-сфалеритовой ассоциации.

В рудах были установлены элементы концентрических форм. В центральных зонах описываемой зональности обычно отмечается наличие полиметаллов с преобладанием сфалерита и галенита, в подчиненном количестве присутствуют блеклая руда и халькопирит. Блеклая руда и галенит развиваются в интерстициях зерен халькопирита. Выделения халькопирита в этой зоне до 1 мм, галенита 0,3 мм, блеклой руды 0,1 мм. В ряде случаев халькопирит концентрируется в виде тонкой каймы вокруг сфалерита. В некоторых сульфиды находятся в тесном прорастании с баритом или карбонатом (ближе к центру выделений). Во внешних зонах содержание халькопирита значительно возрастает.

Колломорфное строение руд кровли холма было выявлено при структурном травлении. В некоторых случаях встречаются обломки сульфидных сростаний галенит-сфалерит-халькопиритового состава, которые обрастают колломорфными пиритовыми массами. В осевой части холма руды кровли имеют сложное зональное строение, которое было описано ранее [2]. К северо-западной периферии сульфидного холма примыкает линзовидное рудное тело брекчиевой текстуры. В пределах брекчий присутствуют обломки массивных руд, характерных для средней части холма.

Ранее в пределах холма найден обломок трубки курильщика, строение которой подробно описано в предыдущей работе [1]. В настоящее время при изучении оболочки трубки на сканирующем электронном микроскопе на контакте с ней выявлено биоморфное образование, подобное многощетинковым червям.

Таким образом, установлено, что в подошве и кровле холма развиты руды гидротермально-осадочного и гидротермально-биогенного происхождения с высоким содержанием пирита. При этом руды подошвы характеризуются присутствием фрамбоидального пирита и обломков сульфидизированной фауны, а руды кровли характеризуются развитием колломорфного пирита в виде так называемых придонных сульфидных корок. Основная, наиболее массивная часть холма представлена массивными и брекчиевыми рудами. Строение и морфология сульфидного холма,

наличие рудокластов в вышележащих толщах, а также наличие в пределах большого количества сульфидизированных биоморфных образований хорошей сохранности свидетельствуют о том, что мы имеем дело со слаборазрушенной гидротермальной постройкой типа «курильщиков».

Список литературы:

1. Кузнецова С. В. Минералогическая характеристика находок гидротермальных труб палеозойских «курильщиков» в российской части Рудного Алтая. – Руды и металлы. – 2019. – С. 45–51.
2. Кузнецова С. В., Серавина Т. В. Условия локализации, особенности вещественного состава руд и строение сульфидного холма Западно-Захаровского месторождения. – Геология и охрана недр. – 2020. – № 1. – С. 11–19.
3. Масленников В. В. Литогенез и колчеданообразование. – Миасс : ИМин УрО РАН, 2006. – 384 с.

Кузнецова Т. П., Зайцева М. Н. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ТИПОМОРФНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МИНЕРАЛЬНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Рассмотрены типоморфные комплексы минеральных парагенезисов, слагающих руды свинцово-цинковых месторождений Енисейского кряжа, сформированных в различных палеофациальных условиях: свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных породах биогенной терригенно-карбонатной формации, колчедансодержащий цинково-свинцовый в кремнисто-карбонатных комплексах, колчеданно-полиметаллический в терригенных комплексах. Они характеризуются различными содержаниями главных и второстепенных рудных минералов, степенью колчеданности и кремнистости, составом жильных минералов, изотопным составом серы сульфидов и другими особенностями.

Ключевые слова: промышленно-генетические типы месторождений, палеофациальные условия, минеральные типы руд, типоморфные минеральные парагенезисы, изотопный состав серы, коэффициент колчеданности.

В пределах Енисейского кряжа известны свинцово-цинковые месторождения трех промышленно-генетических типов, формирование которых происходило в различных палеофациальных условиях. Все они локализованы в осадочных толщах рифейского возраста и расположены, главным образом, в ангарском рудном районе (Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Корчагина Д. А., 2017).

1. Свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных породах биогенной терригенно-карбонатной формации, которые относятся к мелководным шельфовым фациям или связаны с рифогенными или биостромными постройками в пределах палеовпадин (Морянихинское, Меркурихинское и др.). Руды относятся к галенит-сфалеритовому минеральному типу и характеризуются кристаллическизернистыми структурами и вкрапленными, прожилково-вкрапленными, брекчиевыми, полосчатыми, послойно-вкрапленными текстурами. Для слагающих руд минеральных парагенезисов характерны: низкая степень колчеданности и высокая кремнистость; преобладание пирита среди сульфидов железа; повышенная железистость карбонатов. Изотопный состав серы сульфидов характеризуется узким диапазоном вариаций $\delta^{34}\text{S}$, общей тенденцией обогащения тяжелым изотопом и однородностью состава.

2. Колчедансодержащий цинково-свинцовый в кремнисто-карбонатных комплексах, формирование которых происходило в небольших по размерам, но глубоких депрессионных впадинах, выполненных тиховодными пелагическими осадками. На Енисейском Кряже оруденение этого типа локализовано в глинистых доломитистых известняках, алевроито-глинистых сланцах и других породах позднерифейской углеродисто-терригенно-карбонатной формации (Горевское, Пих-

товое, Токминское и др.). Руды относятся к пирротин-сфалерит-галенитовому минеральному типу. Для слагающего их комплекса минеральных парагенезисов характерны: высокая степень колчеданности, обусловленная относительно высоким (до 40 %) содержанием сульфидов железа, среди которых преобладает пирротин; широкое развитие железистых карбонатов; ассоциация сульфидов с высокотемпературными метаморфическими минералами. Отмечается существенное обогащение серы сульфидов тяжелым изотопом при минимальном разбросе значений.

3. Колчеданно-полиметаллический в терригенных комплексах, формировавшихся в присклонной части палеоподнятия в обширной синклинойной зоне в условиях замкнутых глубоководных частей бассейна с некомпенсированным осадконакоплением карбонатно-глинисто-сапропелевого типа (Линейное, Рассохинское, Подлунное и др.). Рудовмещающими являются углеродистые карбонатно-алевритоглинистые сланцы углеродисто-терригенно-карбонатной формации. Колчеданно-полиметаллические руды относятся к галенит-сфалерит-пиритовому минеральному типу. Руды главным образом мелкозернистые с полосчатыми, массивными, плоччатыми и другими текстурами. Отмечаются также унаследованнослоистые разности, характеризующиеся частым чередованием существенно пиритовых слоев с углеродистыми кварц-серицитовыми и серицит-кварцевыми, реже кварцевыми, часто обогащенными пиритом. Нередко полосчатость обусловлена разномасштабностью пирита. Среди перекристаллизованных масс пирита фиксируются слабоизмененные участки с сохранившимися слоистыми, линзовидно-слоистыми и ритмично-слоистыми текстурами, указывающими на синхронное образование основной массы пирита и вмещающих отложений. Здесь обычно наблюдается чередование тонких (первые миллиметры – первые сантиметры) пиритовых слоев со слоями пиритсодержащих углеродистых сланцев. Рудные залежи сложены комплексом минеральных парагенезисов, для которого характерны: высокие содержания пирита; ассоциация сульфидов и углеродистого вещества; широкое развитие наряду с кристаллическими колломорфных, глобулярных, фрамбоидальных структур. Устанавливается отчетливая прямая корреляция свинца и цинка между собой и с магнием. Сера пирита рудовмещающих пород и руд характеризуется значительными вариациями величин $\delta^{34}\text{S}$ и в целом обогащена легким изотопом.

Широкое развитие согласнотелеграфных пластовых рудных залежей, наличие слоистых, брекчиевых, колломорфных и фрамбоидальных текстур и структур руд, а также участие их совместно с вмещающими породами в пликтивных дислокациях указывают на гидротермально-осадочный механизм формирования рассматриваемых месторождений синхронно с вулканизмом или осадконакоплением. В то же время наличие признаков эпигенетичности руд – жильные, прожилковые, прожилково-вкрапленные текстуры, наблюдаемые на некоторых месторождениях, – позволяет предположить, что их формирование происходило в субмаринных малоглубинных обстановках по модели придонного («subseafloor») отложения рудных концентраций путем метасоматоза и выполнения полостей отслоения слаблитифицированных осадков. Главными факторами рудоотложения при формировании месторождений в придонных условиях небольших глубин (при ограниченном выходе гидротермальных растворов в бассейн седиментации) были: вскипание высокотемпературных растворов при входе в область низких давлений; резкое снижение температур и геохимический барьер придонных отложений, насыщенных морскими водами. Современный облик и состав минеральных парагенезисов руды приобрели в процессах последующего диагенеза и метаморфизма.

Лаломов А. В.¹, Рахимов И. Р.², Григорьева А. В.¹
(¹ ФБГУН ИГЕМ РАН, ² Институт геологии УФИЦ РАН)

РОССЫПНАЯ ХРОМИТОНОСНОСТЬ ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ВОЛГО-УРАЛЬСКИЙ РЕГИОН)

Хромитовая россыпная металлоносность пермско-юрских отложений Волго-Уральского бассейна имеет широкую распространенность: в пределах Лукояновского россыпного района (Ни-

жегородская обл.) установлена промышленная хромитоносность юрских прибрежно-морских титано-циркониевых россыпей; на юго-западе Башкирии в отложениях казанского яруса выявлены хромитоносные пески (Сабантуйское проявление) с повышенными содержаниями, но пока не ясным промышленным потенциалом. Вопросы генезиса россыпных проявлений хромитов, их распространение, первичные источники и промышленная значимость нуждаются в дальнейшем изучении.

Ключевые слова: хромиты, россыпные месторождения, Волго-Уральский регион.

Хром входит в список основных стратегических металлов России. Учитывая дефицит хромовых руд в России и то, что геологоразведочные работы не восполняют добычу этого сырья, открытие новых, в том числе и нетрадиционных, россыпных месторождений хромитов может представлять промышленный и научный интерес.

Предыдущими исследованиями [3 и др.] и современными работами авторов статьи [7, 8] установлена хромитовая россыпная металлоносность пермско-юрских отложений Волго-Уральского бассейна, имеющая промышленную и потенциальную значимость: в пределах Лукояновского россыпного района (Нижегородская обл.) установлена промышленная хромитоносность юрских прибрежно-морских титано-циркониевых россыпей; на юго-западе Башкирии в отложениях казанского яруса выявлены хромитоносные пески (Сабантуйское проявление) с повышенными содержаниями, но пока не ясным промышленным потенциалом.

Лукояновское месторождение титано-циркониевых песков, богатейшее по содержанию циркона в России, представляет собой систему пространственно и структурно разобщенных залежей, из которых только Итмановская россыпь детально разведана и состоит на государственном балансе. Запасы диоксида циркония по Итмановской россыпи составляют 388,9 тыс. т. при содержании 12,9 кг/м³. Запасы диоксида титана (ильменит, лейкоксен и рутил) оценены в 166,7 тыс. т. при содержании 5,5 кг/м³. Отличительной особенностью Итмановской россыпи по отношению к другим редкометалльно-титановым россыпям является повышенное содержание оксида хрома Cr₂O₃ (9,9 кг/м³), подсчитанные запасы которого составляют 296,8 тыс. т. [1].

Хромшпинелиды в россыпи представлены хромитом и, учитывая высокое содержание магния, хромпикотитом (Mg, Fe)(Cr, Al)₂O₄. Вариации состава зерен этого компонента весьма значительны (в % по массе): Cr₂O₃ – 30,9–59,0; Al₂O₃ – 13,1–43,0; FeO – 15–24,6; Fe₂O₃ – 0,1–16,0; MgO – 4,8–15,5. Зерна хромита имеют преимущественно однородный по объему химический состав, среднюю и плохую окатанность.

Долгое время существовала проблема технологии обогащения рудных песков Итмановской россыпи из-за невозможности получить высококачественный ильменитовый концентрат из коллективного ильменит-хромит-гематитового (ИХГ) продукта вследствие близких физических свойств входящих в него минералов (плотность, электропроводимость, магнитная восприимчивость), поэтому запасы ИХГ-продукта были отнесены к забалансовым по технологическим свойствам. Последние проведенные исследования позволили найти технологические решения, обеспечивающие возможность переработки более 70 % ИХГ-продукта в кондиционные ильменитовый и хромовый концентраты [4].

Сабантуйское хромитовое проявление было выявлено в разрезе верхнеказанских отложений, на юго-западе Башкирии [8]. Хромитовые песчаники (хромитолиты) в разрезе представлены полимиктовыми песчаниками с прослоями окремнелых известняков и мергелей. Текстура отложений слоистая, косоволнистая и пологоволнистая прибрежно-морского типа, подчеркнутая повышенной концентрацией хромитов.

Выход тяжелой фракции в хромитолитах варьирует от 52 до 69 %. В составе тяжелой фракции отмечаются минералы группы шпинели (в основном – хромшпинелиды) (до 67 %), ильменит (17 %), магнетит и титаномagnetит (16 %). В единичных значениях встречаются зерна циркона, титаниита, граната, амфибола. Зерна рудных минералов обладают слабоокатанной или среднеокатанной формой, их размер отвечает классу 0,15–0,25 мм.

Общее содержание Cr₂O₃ составляет 15,9–17,2 мас. %. Коренные руды с такими содержаниями рассматриваются как «убогие» [2], но с учетом их низкой литифицированности, расположения в доступном районе и возможности открытой отработки их промышленная значимость может быть выше.

Анализ составов детритовых шпинелидов с использованием классификационных диаграмм $Al^{3+}-Cr^{3+}-Fe^{3+}$ и $Mg\#-Cr\#$ с целью установления формационной принадлежности их источников показал, что хромшпинелиды Сабантуйского рудопроявления соответствуют хромшпинелидам офиолитовых ассоциаций Урала [8].

Предполагаемая шарьяжная структура хромитоносных гипербазитов Урала [5] позволяет предположить широкое распространение хромитоносных песков в пределах верхнепермского–юрского Волго-Уральского палеобассейна, в котором повышенные содержания хромитов контролировались благоприятными для россыпеобразования гидро- и литодинамическими условиями [7]. Вопросы генезиса проявлений хромитов, их распространение и первичные источники нуждаются в дальнейшем изучении.

Работы проведены при поддержке государственного задания по программе № 0136-2019-0006 и гранта Президента РФ № МК-857.2021.1.5.

Список литературы:

1. Быховский Л. З. Разработка технико-экономического обоснования постоянных кондиций, подсчет запасов титано-циркониевых песков Итмановской россыпи Лукояновского месторождения в Нижегородской области (по состоянию на 01.06.2010 г.) : отчет. – ВИМС, 2010.
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании Минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 г.». – М. : ВИМС – ЦНИГРИ, 2020. – 494 с.
3. Гурвич С. И., Болотов А. М. Титано-циркониевые россыпи Русской платформы и вопросы поисков. – М. : Недра, 1968. – 185 с.
4. Занавескин К. Л., Левченко Е. Н., Занавескин Л. Н., Масленников А. Н. Физико-химические основы разделения некондиционных продуктов обогащения титан-циркониевых россыпей Лукояновского месторождения // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 9. – С. 30–35.
5. Казанцева Т. Т., Камалетдинов М. А., Гафаров Р. А. Об аллохтонном залегании гипербазитовых массивов Крака на Южном Урале // Геотектоника. – 1971. № 1. – С. 96–102.
6. Лаломов А. В., Берто Г., Изотов В. Г., Ситдикова Л. М., Тугарова М. А. Реконструкция палеогидродинамических параметров верхнепермского осадочного бассейна Прикамья // Георесурсы. – 2017. – № 2. – С. 103–110.
7. Лаломов А. В., Рахимов И. Р., Григорьева А. В. Хромитовые россыпные проявления Волго-Уральского бассейна – вопросы генезиса, источников и промышленного потенциала // Георесурсы. – 2021. – № 3. – С. 70–75.
8. Рахимов И. Р., Савельев Д. Е., Холоднов В. В., Замятин Д. А. Уникальная Сабантуйская хромитовая палеороссыпь в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы // Геология рудных месторождений. – 2020. – № 6. – С. 568–573.

Ламбева Л. Е., Дорожко А. Л., Бушарина С. В., Тихонов Е. П. (ФГКУ «Росгеолэкспертиза»)

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР ПО ОБЪЕКТАМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫМ ПО ЛИЦЕНЗИЯМ ПО «ЗАЯВИТЕЛЬНОМУ ПРИНЦИПУ»

Работа посвящена анализу тенденций геологического изучения недр на твердые полезные ископаемые по лицензиям, выданным по «заявительному принципу». Отмечен рост числа таких проектов, выделены их наиболее значительные проблемы и недоработки, часто не позволяющие экспертизе оценить эти проекты положительно.

Ключевые слова: геологическое изучение недр, экспертиза, россыпное золото, «заявительный принцип».

ФГКУ «Росгеолэкспертиза» осуществляет экспертизу проектов геологического изучения недр (ГИН) Российской Федерации по твердым полезным ископаемым (ТПИ), углеводородам, подземным водам, общераспространенным полезным ископаемым и региональному геологическому изучению недр как за счет средств недропользователей, так и за счет средств государственного бюджета. В 2020 г. доля проектов геологического изучения недр по ТПИ составила 36 %. Из всех проектов по ТПИ доля проектов по золоту и попутным компонентам составляет 75 %, проекты по алмазам составили всего 1,5 % от всех проектов по ТПИ.

Большую часть проектов по ТПИ (63 %) составили проекты, подготовленные в рамках лицензий на пользование недрами, полученных по «заявительному принципу», и их количество с каждым годом возрастает. 76 % этих проектов направлены на поиски и оценку предполагаемых месторождений россыпного золота. Значительное количество проектов, поступающих на экспертизу по лицензиям по «заявительному принципу» (11 %), в 2020 г. не удовлетворяло действующим требованиям и было оценено в ходе проведения экспертизы отрицательно.

Анализ причин недостаточного качества значительной части проектов по лицензиям, полученным по «заявительному принципу», особенно по россыпному золоту, показывает, что практически все проекты содержат ошибки, связанные с несоблюдением правил проектирования [3], кроме того значительная часть таких проектов содержит систематические ошибки, связанные с недостаточной полнотой изучения и/или несоответствием сроков проектируемых работ условиям пользования недрами, установленным лицензиями на пользование недрами.

Наиболее часто встречающимися и наиболее значимыми проблемами таких проектов являются несоответствие комплекса проектируемых работ и последовательности их проведения требованиям действующих методических документов; необоснованность и недостаточность проектируемых видов и объемов работ для решения основных геологических задач по изучению геологического строения и вещественного состава; некорректные временные рамки проведения этих работ.

Так, например, часто в проектной документации (в том числе и в геологическом задании) не предусматривается разделение поисковой и оценочной стадий, что нарушает требования положения об этапах и стадиях [2]. В геологическом задании в этом случае не выделяются конкретные геологические задачи для поисковой и оценочной стадий, в проекте приведено общее описание всех видов и объемов работ без указания того, какие работы и в каких объемах будут выполнены в поисковую, какие в оценочную стадию. Это является серьезной недоработкой даже если в общем по двум стадиям проектом предусмотрены достаточные виды и объемы работ.

В ряде случаев на оценочной стадии не закладывается выделение участка детализации с целью оценки запасов по категории C_1 в пределах этого участка, проектировщик ограничивается только комплексом работ, нацеленным на подсчет запасов по категории C_2 , что не соответствует методическим рекомендациям [1] и положению об этапах и стадиях [2], где установлено, что на оценочной стадии для подтверждения достоверности запасов отдельные участки россыпи должны быть изучены более детально, по более плотной разведочной сети по сравнению с принятой на остальной части месторождения и по более высокой категории. Кроме того, отсутствие в пределах участка недр запасов, квалифицированных по категории C_1 , впоследствии может ограничить возможность получения недропользователем лицензии на пользование недрами с целью разведки и добычи в порядке установления факта открытия месторождения.

В нарушение лицензионных условий принятые в проектной документации сроки работ могут превышать установленные и даже выходить за пределы срока действия лицензии или, наоборот, начало полевых работ указывается до утверждения проектной документации, которая, согласно правилам проектирования [3], должна утверждаться после получения положительного заключения экспертизы. В лицензиях, выданных одновременно на рудное и россыпное золото, авторы часто упускают проектирование работ по россыпным объектам, что приводит к нарушению условий лицензии.

Еще одной значительной проблемой проектирования геологического изучения недр по лицензиям по «заявительному принципу» является недостаточное обоснование видов и объемов проектируемых работ, а часто и полное отсутствие такого обоснования. В проектах необоснованно завышаются или занижаются объемы основных видов поисковых и оценочных работ, таких

как бурение или проходка горных выработок, от которых зависят практически все последующие работы. Часто без должного обоснования отсутствуют виды работ, предусмотренные методическими рекомендациями [2]. Обоснованием могут служить геологические данные, соответствующие расчеты, графические материалы, сведения по месторождениям-аналогам и т. д. В обязательном порядке должна приводиться предполагаемая геологическая модель объекта проведения геологоразведочных работ, которая учитывается при обосновании проектных решений, но она тоже отсутствует в части проектов.

К графическим материалам, представленным в проектах по «заявительным лицензиям», у экспертизы, как правило, возникает также много вопросов. Часто отсутствуют картографические материалы, отражающие результаты ранее выполненных на объекте геологоразведочных работ (в том числе карты фактического материала, закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых, распространения геохимических и геофизических аномалий); отсутствуют проектные геологические разрезы по планируемым поисковым линиям, которые дают представление о геоморфологической позиции, морфологии и строении ожидаемой россыпи, расположении проектируемых скважин и горных выработок. Карты проектируемых видов и объемов работ представлены часто не в полном объеме, на недостаточного качества топографической основе, без геологических и геоморфологических сведений.

Таким образом, качество проектной документации по лицензиям по «заявительному принципу», к сожалению, далеко не всегда соответствует требованиям существующего законодательства, инструктивных и методических документов.

Список литературы:

1. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения : утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.
2. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые): утверждены распоряжением МПР России от 05.07.1999 № 83-р.
3. Правила подготовки проектной документации на проведение геологического изучения недр и разведки месторождений полезных ископаемых по видам полезных ископаемых: утверждены приказом Минприроды РФ от 14.06.2016 № 352.

Липашова А. Н., Антонова Т. А., Помазанский Б. С. (НИГП АК «АЛРОСА»)

АЛМАЗЫ С МЕХАНИЧЕСКИМ ИЗНОСОМ ИЗ РОССЫПИ БИЛЛЯХ

Механический износ истирания наблюдается на алмазах различного габитуса, но истирание сильной степени чаще проявляется на кристаллах разновидности V по Ю. Л. Орлову. Количество алмазов с механическим износом истирания снижается с уменьшением класса крупности. Износ истирания представлен в виде расширенных разной степени шероховатости «затертых» частей кристалла при полном отсутствии признаков наложенных на истирание процессов растворения, травления. Характеризуемые поверхности сформированы исключительно механическими воздействиями.

Ключевые слова: алмаз, кристалл, механический износ, истирание, участки алмазов.

Для исследования механического износа алмазов использовался электронный микроскоп высокого разрешения серии TESCAN MIRA 3 LMU (TESCAN, Чехия), оснащенный автоэмиссионным катодом Шоттки (обеспечивающим высокую яркость для получения изображений высокого разрешения, высокой контрастности, с низким уровнем шумов), специальным In-Beam детектором в качестве опции для получения изображений высокого разрешения, особенно при низких

ускоряющих напряжениях. Для электронной микроскопии поверхность алмаза напылялась тонким углеродным слоем толщиной 5–15 нм. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 20–10 кВ.

Механический износ истирания наблюдается на 17 % изученных алмазов различного габитуса. Преобладают камни со слабой (9 %), реже со средней и сильной степенью (около 3 %) истирания. Присутствуют алмазы с шаровидным износом. Количество алмазов с механическим износом истирания снижается с уменьшением класса крупности. Износ слабой степени истирания чаще наблюдается на целых, скрытослоистых или имеющих сноповидную штриховку додекаэдроидах разновидности I по Ю. Л. Орлову. Механический износ средней степени истирания присутствует в близких количествах как на додекаэдроидах, так и на кристаллах разновидностей V–VII по Ю. Л. Орлову различной сохранности, а истирание сильной степени преобладает на целых кристаллах разновидностей V–VII.

Износ истирания представлен в виде расширенных разной степени шероховатости «затертых» частей кристалла. На кристаллах со слабым и средним уровнем износа такие поверхности расположены в основном на месте ребер и вершин. На алмазе с шаровидным износом практически полностью стерты ребра и вершинки кристалла, и шероховатость распространена на большой площади поверхности. На поверхности истирания многочисленные мелкие, различной формы и локализации трещинки, глубокие проникающие в алмаз впадины, области выколок формируют своеобразные «пористые» участки кристалла алмаза. Механическому истиранию чаще подвергаются выступающие места поверхности, граней, вершины и ребра кристаллов, тогда как «теневые» участки поверхности алмаза сохраняют свой первичный, нередко гладкий, характер грани. Необходимо отметить полное отсутствие признаков наложенных на истирание процессов растворения, травления. Характеризуемые поверхности сформированы исключительно механическими воздействиями.

Износ истирания, сглаживающий вершины, ребра, грани вплоть до шаровидных форм имеет прибрежно-морской генезис. В современных условиях кристаллы с износом истирания встречаются в прибрежно-морских россыпях вдоль западного побережья Африки [3]. Считается, что сильно изношенные алмазы являются как индикатором условий накопления, так и показателем «древности» алмазов. Такие алмазы нередко также встречаются в областях, где их источниками являются образования фанерозойского и более древнего возрастов [1, 2].

На изношенных алмазах проявлены признаки как исключительно механического истирания, так и, возможно, наложения высокотемпературных процессов растворения или регенерации на испытывавшие механические воздействия (удары) поверхности алмазов. Исследователями допускается вероятность нахождения таких алмазов в условиях регионального метаморфизма и древний возраст таких кристаллов.

Список литературы:

1. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М. : Недра. – 2003. – 603 с.
2. Метелкина М. П., Прокопчук В. И., Суходольская О. В. [и др.] Докембрийские алмазоносные провинции мира. – М. : Недра, 1976. – 134 с.
3. Шмаков И. И. Геологическая эволюция алмазоносных морских россыпей побережья юго-западной Африки // Геология и разведка. – 2008. – № 3. – С. 43–48.

ШЛИХОВОЕ ОПРОБОВАНИЕ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОИСКОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РОССЫПНЫХ И КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Шлиховое опробование является одним из наиболее надежных методов поисков минералов россыпей и руд, устойчивых в зоне гипергенеза, прогнозирования их месторождений (алмазы, благородные и цветные металлы), так как в концентрате тяжелых минералов заключено неисчерпаемое количество вполне доступной и надежной информации.

Ключевые слова: шлих, опробование, гипергенез, концентрат, прогноз.

Шлиховое опробование является одним из наиболее надежных методов поисков минералов россыпей и руд, устойчивых в зоне гипергенеза, прогнозирования их месторождений (алмазы, благородные и цветные металлы), так как в концентрате тяжелых минералов заключено неисчерпаемое количество вполне доступной и надежной информации. Применяется шлиховое опробование не только как метод поисков россыпей (устойчивых терригенных компонентов), но и как весьма эффективный поисковый метод минерализации, несингенетичной осадконакоплению (киноварь, галенит, сфалерит, халькопирит, куприт и др.). Сущность его заключается в опробовании рыхлых отложений, изучении состава шлиха, прослеживании и оконтуривании ореолов рассеяния и выявлении по ним коренных и россыпных месторождений [1, 4]. Плотные коренные породы дробят и промывают как обычный шлих.

Шлиховое опробование позволяет: 1) установить в рыхлых отложениях ценные минералы, их типоморфные особенности, минералогические парагенезисы коренного источника, указывающие на генетический тип источника; 2) выявить близость источника по степени окатанности обломков, сохранности различных минералов и морфологии ореола рассеяния полезного ископаемого. В современных условиях промывка шлиховых и шлихогеохимических проб осуществляется на лотках, винтовых сепараторах, концентрационных столах, ПОУ-4М, ПОУ-6, ПРОБА-2 и других установках. Промывка глинистых проб резко снижает (в 3–8 раз) производительность труда, увеличивает трудозатраты, значительно сокращает опробованную за полевой сезон площадь. Отсутствие опытных промывальщиков влияет на эффективность поисков за счет непредставительности полученных концентратов тяжелой фракции.

Для повышения производительности труда по промывке глинистых проб, улучшения качества промывки и ее стандартизации геологами специализированной Шлиховой партии НИИ геологии СГУ была сконструирована и изготовлена установка «Тюльпан» (Тищенко, 1990). Промывочный агрегат из пяти установок позволяет бригаде из трех человек за смену промыть с доводкой на лотке 40–45 проб, состоящих на 70–85 % из вязких трудноразмокаемых глин. Результаты сравнительной промывки литологически различных проб на ПОУ-6 и «Тюльпане» приведены в таблице 1.

Шлиховое опробование в настоящее время продолжает оставаться эффективным методом поисков полезных ископаемых и в новых, и в хорошо освоенных районах. Им охвачена вся площадь складчатого Урала и значительная часть Предуральского прогиба [7]. Большая часть территории Орского Зауралья и центральная часть Орского Урала перекрыта площадным шлиховым опробованием масштаба 1 : 100 000 попутно геолого-съемочным работам. Детальные шлиховые поиски проводились специализированными партиями на отдельных разобщенных участках в пределах складчатого Урала в Предуральском прогибе. По результатам многолетних исследований поисковых и тематических партий Оренбургского геологического управления Шлиховой партией НИИ геологии СГУ под руководством В. А. Тищенко, в которой трудилась и автор, на территорию Южного Урала и Западного Приуралья (Оренбургская область) в масштабе 1 : 200 000 составлены шлиховые карты по двум комплексам минералов: 1) благородные и редкие минералы, куда вынесены шлихи, содержащие золото, платину, серебро, киноварь, касситерит, шеелит, халь-

Сравнительная промывка проб на ПОУ-6 и установке «Тюльпан»

Характеристика	Единицы измерения	Типы материала проб							
		1	2	3	4	1	2	3	4
		ПОУ-6				«Тюльпан»			
Время промывки	Мин.	28	75	95	40	23	35	65	30
Выход тяжелой фракции:									
А) концентрат	%	58	93	72	75	98	94	80	70
Б) хвосты	%	42	7	28	25	2	6	20	30
Извлечение полезного компонента:									
А) по свинцовому контролю	%	85	85	50	75	90	95	85	90
Б) по медному контролю	%	85	85	40	75	85	85	90	80

Примечание: объем пробы 0,02 м³, материал пробы: 1 – песок среднезернистый слабоглинистый; 2 – кора выветривания каолин-гидрослюдистая; 3 – глина монтмориллонитовая; 4 – суглинок тяжелый.

копирит, арсенопирит, висмутин, пирит, барит; 2) титановые минералы – ильменит, рутил, хромит, циркон, монацит, ксенотим; и карты ореолов рассеяния по этим минералам. Выделены четыре поисковые парагенетические ассоциации: 1) киноварь-золото-пирит-баритовая как косвенный поисковый критерий медноколчеданных месторождений; 2) золото-баритовая, пространственно и генетически связанная с широко развитыми во вмещающих породах кварцевыми жилами, содержащими барит и кварц; 3) халькопирит-пирит-шеелитовая, ореолы рассеяния территориально приурочены к зонам экзоконтакта позднепалеозойских гранитных интрузий с вмещающими породами и отвечают сульфидно-вольфрамовому типу оруденения; 4) золото-касситеритовая, являющаяся поисковым признаком россыпей золота, связанных с отложениями древних речных долин олигоцен-миоценового возраста.

Шлиховое опробование в пенепленизированных районах обычно применяется для поисков минералов и руд, устойчивых в зоне гипергенеза. Выделенная парагенетическая киноварь-золото-пирит-баритовая ассоциация дает ключ к поискам медноколчеданных руд в Орском Зауралье, то есть в районе с широко развитыми мощными корами выветривания. Для территории Орского Зауралья доказано существование в корях выветривания элювиальных россыпей золота с кондиционным его содержанием [3, 5, 7]. Опробование кор выветривания по горным выработкам оказалось эффективным и надежным методом выявления не только элювиальных россыпей, но и коренных источников золота.

В ходе проведенных исследований рекомендованы 76 участков, перспективных на обнаружение промышленных коренных и россыпных месторождений золота, россыпей минералов группы платины, комплексные циркон-монацит-ильменит-рутиловые россыпи; освещены особенности распределения тяжелых минералов в рыхлых отложениях от современного до раннетриасового возраста; выявлена приуроченность проявлений редкометалльных и сульфидных минералов к определенным типам пород, структур, зон глубинных разломов, установлены потенциальные перспективы на комплексные россыпи отложений плиоценового, миоценового, позднепалеогенового, позднемелового возраста и указано дальнейшее направление работ по шлиховому опробованию по площади. Большая часть выделенных перспективных участков располагается в пределах складчатого Урала. Открыта современная долинная россыпь и альбские россыпи Урала. В пределах Орского Зауралья обнаружены новые перспективные площади на россыпное и коренное золото, колчеданно-полиметаллические руды, шеелит, барит и комплексные россыпи. Район развития терригенно-карбонатных позднедевонско-раннепермских пород, собранных в каскад параллельных складок субмеридионального простирания на западном склоне Урала, по традиции считался бесперспективным на рудные месторождения. Обнаруженные шлиховым опробованием ореолы рассеяния золота, киновари, реальгара, пирита, барита являются толчком к пересмотру сложившихся ранее взглядов на металлогению Западного Приуралья [6, 7].

Проведенные исследования позволяют выявить возможность применения:

а) шлиховых ассоциаций минералов для определения типа коренного оруденения (золото-кварцевый, полиметалльный, ртутный, колчеданный) и россыпей (древние, террасовые, русловые, элювиальные);

б) шлихового опробования по косвенным поисковым критериям (парагенетические ассоциации) для прогнозирования руд минералов, неустойчивых в зоне гипергенеза пенепленизированных районов (колчеданных и полиметаллических);

в) шлихового опробования (по ореолам рассеяния аутигенных минералов) для выделения перспективных структур на нефть и газ [2].

Установлена оптимальная сеть и глубина отбора шлиховых проб для участков с различными геоморфологическими и неотектоническими критериями.

Дальнейшее применение шлихового метода поисков полезных ископаемых достаточно обоснованно. Для планомерного покрытия и освоения новых площадей шлиховой съемкой необходимо создание специализированных шлиховых партий и увеличение их количества.

Список литературы:

1. Бакулина Л. П. Шлиховое опробование и анализ шлиховых проб : учебное пособие – 2-е изд., перераб. – Ухта : УГТУ, 2014. – 126 с.
2. Ваньшин Ю. В., Лихоман О. А. Проблема взаимосвязи сульфидных минералов с залежами углеводородов // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 12. – С. 33–37.
3. Ваньшин Ю. В., Лихоман О. А. Возможность образования промышленной минерализации ртути в западной части Орского Урала. Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование. Ч. 2. – Оренбург–Пермь, 2008. – С. 251–255.
4. Захарова Е. М. Шлиховой метод поисков полезных ископаемых. – Москва : Недра, 1989. – 73 с.
5. Лихоман О. А. Актуальные проблемы металлогении ртути Южного Урала. – Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 453, № 2. – С. 176–179.
6. Лихоман О. А. Перспективы россыпной золотоносности Южного Урала. 12 Уральское Литологическое совещание «Осадочная геология Урала и прилежащих регионов: сегодня и завтра». – Екатеринбург. – 2017. – С. 187–190.
7. Тищенко В. А. Геологические условия формирования и распределения россыпей в мезозойских и кайнозойских отложениях Оренбургского Урала : дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук. – Л. [СПб.], 1987 – 278.

Лобанов К. В., Горностаева Т. А., Прокофьев В. Ю., Чичеров М. В. (ФГБУН ИГЕМ РАН)

КОЛЬСКАЯ СВЕРХГЛУБОКАЯ СКВАЖИНА – ВЫДАЮЩЕЕСЯ ДОСТИЖЕНИЕ СОВЕТСКОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Кольская сверхглубокая скважина (СГ-3) глубиной 12 262 м – выдающееся достижение советской науки и техники. Она была пробурена в рамках программы «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение». СГ-3 пройдена с полным отбором керна, что позволило изучить глубинное строение земной коры и пересмотреть данные глубинных сейсмических исследований. Получены новые сведения по составу и физическим свойствам пород на глубоких горизонтах. Выявлены шесть типов рудной минерализации по всему разрезу скважины.

Ключевые слова: Кольская сверхглубокая скважина, глубинная структура земной коры, медно-никелевые руды, рудная минерализация.

Проблема изучения континентальной земной коры с помощью сверхглубокого бурения возникла в СССР в начале 60-х годов. Главной задачей являлась возможность получить с больших глубин породы, необходимые для познания эндогенных процессов и связанных с ними месторождений полезных ископаемых. Научные основы программы сверхглубокого континентального бурения были определены на совместном заседании Президиума АН и коллегии Министерства гео-

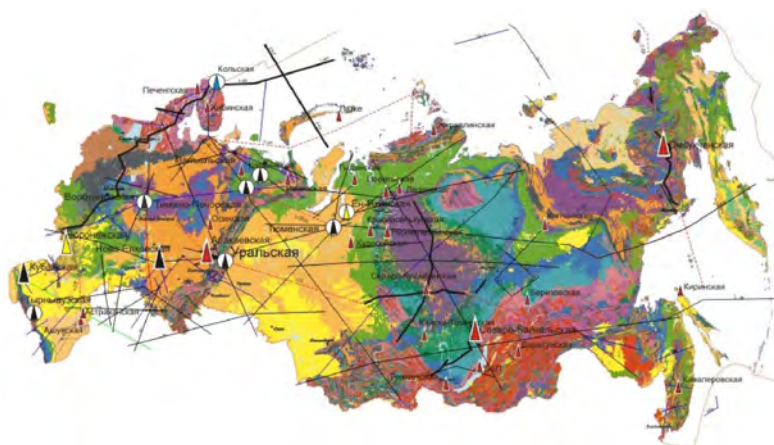


Схема размещения региональных геотраверсов и сверхглубоких скважин СССР

логии и охраны недр СССР под председательством академика М. В. Келдыша, а сама программа была утверждена в 1962 г. Н. С. Хрущевым на основании решения Совета Министров СССР по докладу академика Д. И. Щербакова [2].

Для организации, координации и руководства работами по этой программе в 1963 г. был образован Межведомственный научный совет по проблеме «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение». Планом работ на 70-е годы намечались: разработка модели строения земной коры и верхней мантии, а также новых методов прогноза месторождений полезных ископаемых, составление прогнозных карт с количественной оценкой природных ресурсов и запасов и определение направления поисковых и разведочных работ на основные виды полезных ископаемых в перспективных районах страны.

Основные задачи бурения СГ-3 были следующие [2]:

- 1) Изучить глубинное строение никеленосного Печенгского комплекса и архейского кристаллического основания Балтийского щита, выяснить особенности проявления на больших глубинах геологических процессов, включая процессы рудообразования;
- 2) выяснить геологическую природу сейсмических границ в континентальной земной коре и получить новые данные о тепловом режиме недр, глубинных водных растворах и газах;
- 3) получить максимально полную информацию о вещественном составе горных пород и их физическом состоянии, вскрыть и изучить пограничную зону между «гранитным» и «базальтовым» слоями земной коры;
- 4) усовершенствовать имеющиеся и создать новые технологии и технические средства для бурения и комплексных геофизических исследований сверхглубоких скважин.

Скважина была заложена на северном крыле Печенгской структуры с таким расчетом, чтобы пересечь на отметке 4,7 км контакт раннепротерозойских вулканитов с архейскими гнейсами кольской серии, в интервале 7,5–8,5 км вскрыть поверхность Конрада и проникнуть внутрь «базальтового» слоя. К бурению этой скважины, проектная глубина которой составляла 15 километров, приступили 24 мая 1970 года. По состоянию на 01.05.1991 г. глубина скважины составляла 12262 м. Это самая глубокая скважина в мире. Бурение осуществлялось уникальным оборудованием с полным отбором керна.

В результате проходки СГ-3 были опровергнуты более ранние представления о строении земной коры в районе Печенгской структуры [2]. В реальности раннепротерозойские породы простирались до глубины 6842 м и только потом сменились архейскими гранито-гнейсами. Базальтовый слой вообще не был обнаружен – до самой рекордной глубины находятся архейские породы. Новые данные были получены при оценке температур на больших глубинах. Реальная температура в СГ-3 на глубине 10 км достигла 180 °С, а на глубине около 12 км – 240 °С, вместо ожидаемых 120 °С.

В разрезе СГ-3 рудная минерализация установлена на всем интервале в 12 км. В зависимости от сочетаний рудных элементов, форм их нахождения и минеральных парагенезисов в разрезе

выделены шесть основных типов рудной минерализации: 1) сульфидная медно-никелевая и платинометаллическая, 2) сульфидная железная, 3) оксидная железная, 4) оксидная железо-титановая, 5) сульфидная медно-цинковая и 6) самородная золотая. Первые четыре типа сопоставимы с оруденением в протерозойской Печенгской структуре и ее архейском обрамлении по минеральному составу, характеру вмещающих пород и генезису [1, 3].

Неожиданным результатом изучения разреза СГ-3 стало открытие повышенных содержаний золота в интервале 9 500–11 000 м, сложенном амфиболитами и гнейсами архейского возраста (2,6–2,8 млрд лет) [1]. Оно было обнаружено с помощью нейтронно-активационного анализа и подтверждено результатами минераграфических исследований. Изучение флюидных включений в кварцевых прожилках из керна в этом интервале выявило включения четырех типов, в двух из которых установлено повышенное содержание золота [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 55 «Арктика – научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития» и РФФИ (грант № 18-05-70001) «Изучение геологических и геодинамических обстановок формирования крупных месторождений стратегических металлов Арктической зоны России: выводы для прогнозирования и поисков новых месторождений».

Список литературы:

1. Козловский Е. А., Губерман Д. М., Казанский В. И., Ланев В. С., Генкин А. Д., Глаголев А. А., Боронихин В. А., Нартиков В. Д. Рудоносность глубинных зон древней континентальной земной коры (по материалам Кольской сверхглубокой скважины) // Советская геология. – 1988. – № 9. – С. 3–11.
2. Кольская сверхглубокая: Научные результаты и опыт исследований / ред. Орлов В. П., Лавров Н. П. – М. : МФ «ТЕХНОНЕФТЕГАЗ», 1998. – 260 с.
3. Лобанов К. В., Чичеров М. В., Чижова И. А., Горностаева Т. А., Шаров Н. В. Глубинное строение и рудообразующие системы Печенгского рудного района (арктическая зона России) // Арктика: экономика и экология. – 2019. – № 3. – С. 107–122.
4. Прокофьев В. Ю., Лобанов К. В., Пэк А. А., Чичеров М. В., Боровиков А. А. Минералообразующие флюиды золотоносного интервала Кольской сверхглубокой скважины // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 485, № 6. – С. 736–740.

Лоренц Д. А. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ТИПОВ И ПРИМЕРЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЧУКОТСКОГО АО

Установлены минералого-геохимические критерии поисков и оценки золото-серебряных проявлений сульфосольного и акантитового минеральных типов, что позволило выявить первоочередные золото-серебряные объекты Купольского рудного узла, а также разбраковать по степени перспективности золото-серебряные рудные зоны проявлений Северо-Куйвиевского рудного узла (проявление Кварцевый) и Осиновского рудного поля (проявление Тэлэвеем), что помогло скорректировать направления заверочных горных и буровых работ, проводимых за счет средств госбюджета.

Ключевые слова: золото, серебро, жильно-прожилковые зоны, минеральные ассоциации.

В период с 2001 г. по 2020 г. в рамках научно-методического сопровождения ГРР, проводимого силами сотрудников ФГБУ «ЦНИГРИ» при участии автора, выполнялось минералогическое картирование ряда золото-серебряных объектов Центрально-Чукотского сектора Охотско-

Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), отвечающих сульфосольному (месторождение Купол, проявления Прикуп и Морошка) и акантитовому (проявления Тэлэвеем и Кварцевый) минеральным типам.

В полевой период автором проводилась специализированная документация естественных обнажений и полотно канав с отбором образцов как из кварцевых жил, так и из зон кварцевого прожилкования. Впоследствии данные образцы изучались под микроскопом в проходящем и отраженном свете, а также направлялись на различные виды анализов, включая рентгеноспектральный микроанализ минералов, а также нейтронно-активационный и ИСП-МС анализы минеральных агрегатов.

В процессе этих исследований было установлено, что одним из главных прямых поисковых признаков золото-серебряных объектов сульфосольного и акантитового минеральных типов являются жильно-прожилковые зоны, сложенные гидрослюдисто-(адуляр)-кварцевыми агрегатами фестончато-полосчатых и каркасно-пластинчатых текстур, содержащих вкрапленность самородного золота 530–730 ‰ в сростаниях с сульфосолями и сульфидами серебра. При этом наиболее перспективными участками рудных зон являются участки с широким развитием кристаллических выделений тонкого (0,01–0,09 мм) и дендритовидных выделений мелкого (0,1–0,9 мм) золота [1, 2].

В рудных зонах сульфосольного типа главными продуктивными ассоциациями являются золото-пирсеит-халькопиритовая, золото-серебро-тетраэдрит-пираргиритовая и золото-агвиларит-селен-пираргиритовая, а в зонах акантитового типа – полибазит-пираргиритовая и золото-(полибазит)-акантитовая. В частности, выявление всех трех продуктивных ассоциаций сульфосольного типа в рудах месторождения Купол позволило выделить его в качестве первоочередного [2], а выявление минералов полибазит-пираргиритовой и золото-(полибазит)-акантитовой ассоциаций позволило разбраковать обнаруженные в процессе поисковых маршрутов золото-серебряные зоны проявлений Кварцевый [1, 2] и Тэлэвеем по степени перспективности и скорректировать направления заверочных горных работ, проводимых за счет средств госбюджета.

Также было установлено, что на золото-серебряных объектах сульфосольного минерального типа широко развиты минералы из группы блеклых руд, при этом характерным минералом-спутником золота является Ag-тетраэдрит с высокими (более 19 %) содержаниями серебра при низких (менее 1 %) содержаниях мышьяка. Что же касается продуктивных ассоциаций золото-серебряных объектов акантитового минерального типа, то для них характерно широкое развитие минералов ряда стибипирсеит–арсенополибазит (содержащих до 1–2 % селена), поэтому наиболее перспективные жильно-прожилковые зоны проявлений Тэлэвеем и Кварцевый помимо высоких содержаний золота (до 10–220 г/т) и серебра (до 500–5000 г/т) отличаются высокими содержаниями (до 0,01–0,1 %) мышьяка и сурьмы при повышенных (до 10–50 г/т) содержаниях селена. Таким образом, установленные критерии поисков и оценки могут быть использованы в процессе поисковых и оценочных работ как в пределах Центрально-Чукотского и Восточно-Чукотского сегментов ОЧВП, так и в других регионах Северо-Востока Российской Федерации, например, в Хабаровском крае и Магаданской области.

Список литературы:

1. Лоренц Д. А. Минеральные парагенезисы в золото-серебряных рудах месторождения Купол (Центральная Чукотка) // Самородное золото: типоморфные минеральные ассоциации, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований : тезисы доклада Всероссийской конференции, посвященной 100-летию Н. В. Петровской. – М. : ИГЕМ, 2010.
2. Лоренц Д. А., Сергиевский А. П. Геологическая позиция и вещественный состав руд золото-серебряных месторождений Центральной Чукотки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Инженерные исследования. – 2009. – № 1. – С. 49–52.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ:
ПОДХОДЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ

1. В последние десятилетия значительно изменилась геологоразведочная ситуация, и сейчас необходимо ориентироваться на выявление скрытых рудных объектов, что является задачей прогноза (или косвенных поисков). Продуктивность прогнозирования в настоящее время крайне низкая, что делает актуальными и необходимыми *модернизацию и развитие* всех компонент этой практически важной и высокотехнологичной геологоразведочной операции.

2. Формально задача прогноза представляет собой переход из одного признакового пространства в другое в области геологического пространства $V: (V, t^i) \xrightarrow{A} (V, T^q)$, где t^i – пространство прогнозирующих (косвенных) характеристик; T^q – пространство целевых характеристик прогноза (их число q , обычно $q = 1$); A – оператор перехода из t^i в T^q . Такой переход возможен только при условии, что t^i и T^q как-то взаимосвязаны друг с другом и здесь проявлен фундаментальный принцип, на котором базируется прогнозирование: *корреляция кодирует информацию*. Анализ распределения T^q в V позволяет «сжать» геологическое пространство V до V_p ($V_p \ll V$), где V_p – потенциально перспективная часть V для постановки более детальных геологоразведочных работ. Задачу количественного прогнозирования, под которым понимается численное определение прогнозных ресурсов того или иного вида полезных ископаемых, в наиболее общем виде удобно представить как задачу построения и вычисления функции, связывающей T^q с t^i .

3. Характеристики t^i и T^q описывают различные свойства геологической среды и первоначально выбираются на основе наших гипотез и знаний о закономерностях размещения рудных объектов различного типа и иерархического уровня в геологической среде. Характеристики представляются в форме *виртуальных моделей* (математических полей) 2-3D, которые строятся на основе измерения (оценки) физических и структурных свойств в точках и некоторых наших представлений об их распределении в пространстве.

Отбор моделей характеристик t^i и T^q для прогнозных построений проводится на основе корреляционного анализа между ними на «эталонных площадях».

4. Особенности геологической среды и систем, которые необходимо учитывать при решении задачи прогнозирования: *нелинейность и неоднородность* геологической среды, приводящая к неинвариантности силы и формы связей между t^i и T^q ; *диффузность* (плохая организация) структуры рудообразующих и многих других геологических систем, затрудняющая их выделение в пространстве и определение факторов формирования.

5. Главным фактором повышения эффективности прогнозирования в научно-методологической сфере является преобразование металлогении на основе *междисциплинарности, математизации, цифровизации*, принципов самоорганизации и методов компьютерного моделирования процессов рудообразования.

В технологии собственно прогнозирования перспективным представляется продвижение в направлении решения следующих задач:

- описание, цифровизация и моделирование диффузных систем;
- построение моделей 3D скалярных полей на основе квазитомаграфических подходов;
- разработка методов корреляции пространственных переменных, «предельной» корреляции и их применение при прогнозировании полезных ископаемых;
- оптимизация с позиций решения задач прогнозирования физических и виртуальных моделей характеристик t^i и T^q (модели геологического пространства GSM);
- использование элементов специализированного искусственного интеллекта в области прогнозирования на основе распознавания образов и нейросетей.

6. Рассматриваются результаты прогнозирования на примерах Рудного Алтая, Жезказганского рудного региона, Спасской меднорудной зоны.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВО ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛАХ РАССЕЯНИЯ

С помощью автоматизированной системы минералогического анализа TIMA TESCAN были исследованы шлиховые концентраты из вторичных ореолов рассеяния золотокварцевого месторождения Майское. В результате работы были отработаны основные алгоритмы автоматизированного анализа и выделены рудные минералы, относящиеся к основным, редко встречающимся, а также ранее не описанным на месторождении. Сформулированы краткие рекомендации для автоматизированного анализа шлиховых проб.

Ключевые слова: Майское, Куолярвинская зона, автоматизированный минералогический анализ, TIMA TESCAN, золото, шлихи, вторичные ореолы рассеяния.

Современные методы электронной микроскопии и компьютерного анализа позволяют решить проблемы стандартного подхода к изучению минералов-индикаторов и существенно расширить возможности, прежде всего за счет качественного и количественного преимущества. Настоящее исследование посвящено выявлению индикаторных минералов золотого оруденения вторичных механических ореолов рассеяния кварцево-жильных зон месторождения Майское с помощью автоматизированной системы минералогического анализа TIMA TESCAN.

Месторождение Майское расположено на северо-западе Республики Карелия и приурочено к центральной части Куолярвинской рифтогенной зоны [3, 4]. Формация золотокварцевая, руды убогосульфидные. Ресурсы золота категории С₂ составили 197 кг при среднем содержании 7,6 г/т. Оруденение приурочено к двум параллельным разломным зонам север-северо-восточного простирания, трассируемым калевийскими дайками габбро-диабазов. Вмещающие породы представлены метаандезитами, метабазами, метатиффами апаярвинской свиты людиковийско-ливвийского надгоризонта палеопротерозоя [1]. В разломных зонах, на расстоянии 250 м друг от друга, развиты две кварцево-жильные линейные зоны протяженностью 2,5 и 3,8 км, мощностью до 7 м. Сульфиды в сростании с самородным золотом образуют вкрапленные и гнездовые руды. Концентрация сульфидов в среднем составляет 0,5–1,0 %. По первичным данным (Т. П. Жаднова и др., 1975 г.) в составе рудной минерализации выделено более 20 минеральных видов. Сульфиды представлены в основном халькопиритом, в меньшей степени пирротин, сфалеритом, галенитом и пиритом. Среди второстепенных и редких минералов позже были выделены борнит, цумоит, теллурувисмутит, клаусталит, галеноклаусталит, костибит, клокманит, гессит, гринокит, теллуриды никеля, теллуриды свинца, теллуриды золота, висмутин, серебро самородное, арсенопирит, вавржинит, ковеллин, зигенит, глаукодит, штютцит [3]. Самородное золото представлено зернами, чешуйками, дендритами, кристаллами размером от 0,1 до 1,5 мм с пробностью 840–970 ‰.

Исследование индикаторных минералов включало выполнение следующих задач:

1. Выделение, концентрирование и сокращение фракций шлиховых концентратов, изготовление микропрепаратов;
2. Минералогический анализ микропрепаратов с помощью электронной микроскопии;
3. Характеристика индикаторных минералов.

Шлиховые концентраты были получены при опробовании вторичных ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных, озерно-ледниковых отложениях и отложениях основной морены по сети 50 × 50 м тремя профилями, расположенными между жильных зон месторождения. Объем пробы составлял 20 л. Глубина отбора проб – от 0,4 до 1,6 м. Кроме того, были опробованы отложения хвостов обогащения возле обогатительной фабрики месторождения. Первичное обогащение проб осуществлялась в полевых условиях ручным способом в лотке. При промывке знаки золота были визуальным образом установлены во всех типах отложений.

Из полученных шлиховых концентратов фракции -0,12 были изготовлены тестовые микропрепараты. Количество материала подбиралось из расчета формирования одного слоя зерен. Для

сокращения рабочего времени электронного микроскопа на одну шашку размещалось до шести проб. Всего было смонтировано 22 пробы на четырех шашках диаметром 2,5 см.

В данной работе в качестве аналитического инструмента использована автоматизированная система минералогического анализа TIMA TESCAN, предоставленная ООО «ТЕСКАН».

Исследование микропрепаратов включало составление классификационной схемы и сканирование полированной поверхности в двух режимах: валовое сканирование и поиск тяжелых фаз. Рабочая схема состояла из 66 позиций: 32 – силикаты, 19 – оксиды, 6 – сульфиды, 4 – самородные элементы, 3 – фосфаты, 1 – карбонаты, 1 – сульфаты. При валовом сканировании на полированной поверхности по данным BSE сигнала выделяются частицы, которые сканируются в режиме высокого разрешения с шагом 3 мкм. BSE-сигнал и EDS-данные собираются синхронно с каждого пикселя. Для выделения границ между фазами используются как BSE-, так и EDS-данные. Частицы размером 1 пиксель (шириной 3 мкм и менее) игнорировались, так как с таких частиц снимается слишком шумный спектр из-за сильного влияния эпоксидного наполнителя. Для получения количественной характеристики площадь сканирования минерального зерна должна быть не менее 48 пикселей (21 мкм в сечении). Зерна меньшего размера идентифицируются на «качественном» уровне, с применением метода суммирования шумных спектров.

В режиме поиска тяжелых фаз происходит выделение зерен по заданному интервалу BSE-сигнала с последующим EDS-анализом выделенных частиц. Режим использовался для выделения минеральных зерен, содержащих Au, ЭПГ и Pb, которые могут присутствовать в незначительном количестве или находиться в виде вкраплений в минералах с существенно отличной молекулярной массой. При обнаружении данных зерен происходит EDS-сканирование зерна, а также всех граничащих с ним зерен в целях получения данных о минеральных ассоциациях. Частицы сканировались в режиме высокого разрешения с шагом 0,8 мкм.

В результате валового сканирования на 22 пробах было выделено суммарно 85 520 частиц или 932 663 минеральных зерна, среди которых 30 % представлены смесью нерудных минералов, которые характеризуются очень тонкими взаимными прорастаниями, из-за чего, в силу ограничений рентгеноспектрального микроанализа, идентификация их не была проведена. Массовая доля таких зерен составляет в среднем 1,4 %, объемная доля – 2 %. Таким образом, в среднем, одна проба содержала около 4000 частиц и в одной пробе было выделено около 42 000 минеральных зерен.

Основная масса шлихового концентрата представлена амфиболами, гранатами, полевыми шпатами, магнетитом, ильменитом, хлоритом, биотитом, мусковитом, минералами группы шпинели и рутилом. Среди сульфидов обнаружены: пирит, пирротин (до сотен зерен); халькопирит, галенит, пентландит и кобальтин (единичные зерна). Обнаружены единичные зерна самородного золота. Распределение сульфидов по пробам более неравномерное, чем распределение минералов основной массы шлиховых концентратов.

Зерна, выделенные в результате сканирования в режиме поиска тяжелых фаз, в основном представлены галенитом, золотом и радиоактивными минералами. Данный режим позволил обнаружить минералы серебра, висмута, Pt-Pd-Te, сперрилит, так как шаг сканирования был значительно меньше, чем в режиме валового сканирования, и составлял 0,8 мкм. Так как в данном режиме проводилась идентификация не только минералов тяжелых фаз, но и окружающих зерен, была получена информация об ассоциациях рудных минералов. Золото обнаружено в сростках с кварцем, сфеном, андрадитом, алмадин-спессартином, хлоритом и роговой обманкой. В виде вкраплений золото обнаружено в магнетите, роговой обманке, диопсиде, сфене и кварце.

В целях обнаружения в сульфидах вкраплений других минералов, которые могли быть пропущены при валовом сканировании из-за более мелкого размера, были дополнительно исследованы: 41 зерно халькопирита, 2 зерна пентландита, 2 зерна кобальтина, 2 частицы с зернами состава Pt-Pd-Te и 1 частица с сперрилитом. В результате в халькопирите обнаружены зерна штюцита размером 0,8 и 0,5 мкм, а в пирротине – вкрапления борнита с халькопиритом. На границе зерен борнита и халькопирита обнаружены зерно состава Pd-Sb-Ag-Se (размером 0,2 мкм) и зерно состава Cd-Se (размером 0,4 мкм). Анализ составов остальных зерен подтвердил наличие зерен самородного Bi и сперрилита.

В целом, описанная выше методика использования автоматизированного минералогического анализа шлиховых проб на тестовых микропрепаратах позволила обнаружить в рыхлых от-

ложениях основные минералы руд месторождения Майское: пирротин, халькопирит, пирит, кобальтин, галенит и самородное золото. Была выявлена часть ранее обнаруженных, реже встречающихся минералов, сопровождающих золотое оруденение: борнит, самородное серебро и шпюцит. Такие минералы, как аргентит, сперрилит, Bi самородный, а также мелкие выделения состава Cd-Se , Pd-Sb-Ag-Se , Pt-Pd-Se , ранее описаны не были. Данный подход, при котором обнаружение рудных минералов производится автоматизированным способом, а позже детализируются интересующие частицы, позволяет более эффективно использовать рабочее время СЭМ. При необходимости исследования только рудных минералов рекомендуется анализировать микропрепарат с концентратом из «интересующих» частиц. При таком подходе во время сканирования можно установить минимальный шаг и исследовать все мелкие вкрапления. Проведенные исследования показали необходимость более тщательной подготовки микропрепаратов по причине обнаружения слипшихся частиц, а также составления плана сканирования микропрепаратов на СЭМ, включающего рабочую классификацию минеральных зерен, выбор оптимальных режимов сканирования, шага сканирования, определение необходимости в детальном сканировании интересующих частиц. Для подбора оптимальных настроек рекомендуется проводить тестовые сканирования микропрепаратов.

Список литературы:

1. Бушмин С. А. [и др.]. Изохронный Re-Os возраст золота жильного золото кварцевого месторождения Майское (северная Карелия, Балтийский щит) // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 448, № 1. – С. 76–79.
2. Калинин А. А., Карпов С. М., Калачева А. Б., Савченко Е. Э. Новые данные по минералогии золото кварцевого месторождения Майского (Северная Карелия) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2018. – № 15. – С. 172–175.
3. Куликов В. С., Куликова В. В. Куолярвинский синклиний: новый взгляд на геологическое строение и сводный разрез // Труды Карельского научного центра РАН № 1. – 2014. – С. 28–38.
4. Турченко С. И., Гороховский Б. М. Полигенная природа золоторудного месторождения Майское (Северная Карелия): геологические и изотопные свидетельства // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 43–48.

Миляев С. А.¹, Самосоров Г. Г.², Яблокова С. В.¹, Шатилова Л. В.¹, Позднякова Н. Н.¹
(¹ ФГБУ «ЦНИГРИ», ² ФГКУ «В/ч 34435»)

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА КАК ПРЯМЫЕ ПРИЗНАКИ РУДНО-ФОРМАЦИОННОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрены особенности распределения элементов-примесей в самородном золоте золотосульфидно-кварцевых и золото кварцевых месторождений. Определен типоморфный набор элементов для каждого рудноформационного типа. Предложены геохимические показатели для оценки рудноформационной принадлежности самородного золота. Установлены различия в составе золота, обусловленные металлогенической специализацией региона. Получены данные о распределении в самородном золоте редкоземельных элементов, отражающих состав магматических пород, участвующих при формировании золотосульфидно-кварцевых месторождений.

Ключевые слова: элементы-примеси в самородном золоте.

Определения содержаний элементов-примесей в самородном золоте осуществлялись методом ICP-MS из 50 мг навески золота без видимых минеральных примесей. Предел обнаружения анализируемых содержаний элементов составлял 0,01–0,001 г/т.

Изучение состава элементов-примесей в золоте проводилось для золотокварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений, являющихся основными источниками россыпного золота. Для месторождений золотокварцевого типа характерны повышенные содержания в золоте As, W, Rb, Cs, Sr, Ba – элементов с высокими средними содержаниями в глинистых сланцах континентов. Отличительными особенностями объектов золотосульфидно-кварцевого типа являются относительно повышенные значения Bi, Cu, Te, Se, Pb, Sb, РЗЭ (лантан и лантаноиды) [3, 6].

Абсолютные содержания элементов-примесей в самородном золоте во многом зависят от металлогенической специализации территории. Например, Уральская и Алтайская золотоносные провинции характеризуются самыми высокими содержаниями Cu; Южно-Енисейская и Восточно-Забайкальская – Pb; Тывинская – Zn. Аномально высокие содержания U и Th отмечены в самородном золоте Приаргунского золотороссыпного района в пределах Монголо-Приаргунского вулканического пояса, в краевой части которого расположен Стрельцовский урановорудный район.

Проведенный многомерный корреляционный анализ позволил установить значимые положительные корреляционные связи между Ga–Ge, Bi–Te, Pb–Sb, Cu–Se, Pb–Bi, Bi–Sb для объектов золотосульфидно-кварцевого типа. Для месторождений золотокварцевого типа корреляционные связи образуют As–Rb, Rb–Cs, W–Pd. Для количественного выражения сходства и различия между рудноформационными типами предложены геохимические показатели, составленные из пар корреляционно связанных элементов.

Редкоземельные элементы (РЗЭ) являются чуткими геохимическими индикаторами природных геологических процессов. Самые высокие содержания РЗЭ в самородном золоте характерны для золотосульфидно-кварцевых – плутоногенно-гидротермальных месторождений, тесно связанных с гранитоидными интрузивами. Гранитоидная магма является основным генерирующим субстратом РЗЭ. По мере перехода от сиалического ряда гранитообразования к базальтоидному ряду происходит уменьшение суммы содержаний РЗЭ и падение отношений легких РЗЭ к тяжелым [2]. В самородном золоте установлена положительная корреляция между Σ РЗЭ и отношением легких к тяжелым лантаноидам. Относительное увеличение содержаний легких лантаноидов с ростом суммы содержаний РЗЭ в самородном золоте подтверждается полем корреляции La/Er – Σ РЗЭ золотороссыпных узлов Забайкальского края.

На графиках нормированных содержаний РЗЭ в золоте Забайкальского края отмечаются минимумы и максимумы Eu. Причинами появления «отрицательных» и «положительных» аномалий европия являются его фракционирование в полевых шпатах и изменение валентности [1]. Минимум европия связан с избирательной концентрацией Eu^{+2} полевыми шпатами при их кристаллизации. В окислительной обстановке Eu^{+2} меняет валентность на Eu^{+3} с переходом в твердую фазу. Именно этим объясняется максимум Eu в золоте Карийского золотороссыпного узла (Восточное Забайкалье). Формирование золоторудных объектов Карийского рудного поля, являющегося основным источником россыпей, проходило в окислительной обстановке с перераспределением рудного вещества при наложении поздних аргиллизитов на рудоносные березиты.

Относительные содержания δEu отражают петрохимические особенности гранитоидов. Натриевые гранитоиды обладают повышенной концентрацией европия ($\delta\text{Eu} > 1$), в то время как калиевые гранитоиды далеко не всегда обогащаются европием, их относительные содержания чаще всего расположены в интервалах ниже единицы ($\delta\text{Eu} < 1$) [2]. Аналогичная зависимость отмечается в самородном золоте, а именно, обратная корреляция между степенью обогащения δEu и отношением Rb/Sr. В данном случае Rb выступает как геохимический аналог калия, а Sr – натрия.

Отличительным признаком рудно-формационной принадлежности золота является распределение в нем РЗЭ, редких щелочных и щелочноземельных элементов. Рассчитанные коэффициенты частной корреляции показали наличие положительных корреляционных связей между щелочноземельными и редкими щелочными элементами. Значимые положительные корреляционные связи отмечены для Rb–Cs, Sr–Ba, Sr–Cs, Rb–Sr, Ba–Rb [5]. Для сравнения объектов предложен геохимический коэффициент $\text{Rb} \times \text{Cs} \times \text{Sr} \times \text{Ba} / \text{La} \times \text{Ce} \times \text{Pr} \times \text{Nd}$, числитель которого сформирован из щелочных и щелочноземельных элементов, знаменатель – из редкоземельных элементов [4]. Выбранный коэффициент характеризуется большим размахом, существенно превышающим погрешности ICP-MS анализа. Интервал значений геохимического коэффициента для объектов золотосульфидно-кварцевого типа составил $1 \cdot 10^{-5}n - 1 \cdot 10^{-3}n$, золотокварцевого – $1 \cdot 10^{-3}n - 10n$.

Повышение геологической эффективности при использовании элементов-примесей в качестве классификационного признака возможно путем дальнейшего накопления данных об их распределении в самородном золоте. Геохимические особенности самородного золота позволяют судить о рудно-формационной принадлежности проявлений коренного и россыпного золота на ранних стадиях геологоразведочного процесса.

Список литературы:

1. Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. – М. : Наука, 1976. – 266 с.
2. Балашов Ю. А. Изотопно-геохимическая эволюция мантии и коры Земли. – М. : Наука, 1985. – 221 с.
3. Николаева Л. А., Миляев С. А., Яблокова С. В. Новые данные по геохимии самородного золота в месторождениях различных формаций // Самородное золото: типоморфные минеральные ассоциации, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований : материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию Н. В. Петровской. – М. : ИГЕМ, 2010. – Т. II. – С. 103–105.
4. Николаева Л. А. [и др.]. Самородное золото рудных и россыпных месторождений России. Атлас. – 2-е изд. / отв. ред. Б. К. Михайлов. – М. : Акварель, 2015. – 200 с.
5. Некрасова А. Н., Николаева Л. А., Миляев С. А., Яблокова С. В. Первые данные о распределении РЗЭ, Li, Rb, Cs, Sr, Ba в самородном золоте месторождений основных золотоносных провинций России // Доклады Российской академии наук. – 2010. – Т. 432, № 5. – С. 660–663.
6. Nikolaeva L. A. [et al.] Type chemistries of native gold from deposits of various styles // 34th International geological congress (Brisbane, 2012, Australia) – V. 4. – P. 105–109.

Миляев С. А., Чекваидзе В. Б., Кряжев С. Г. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

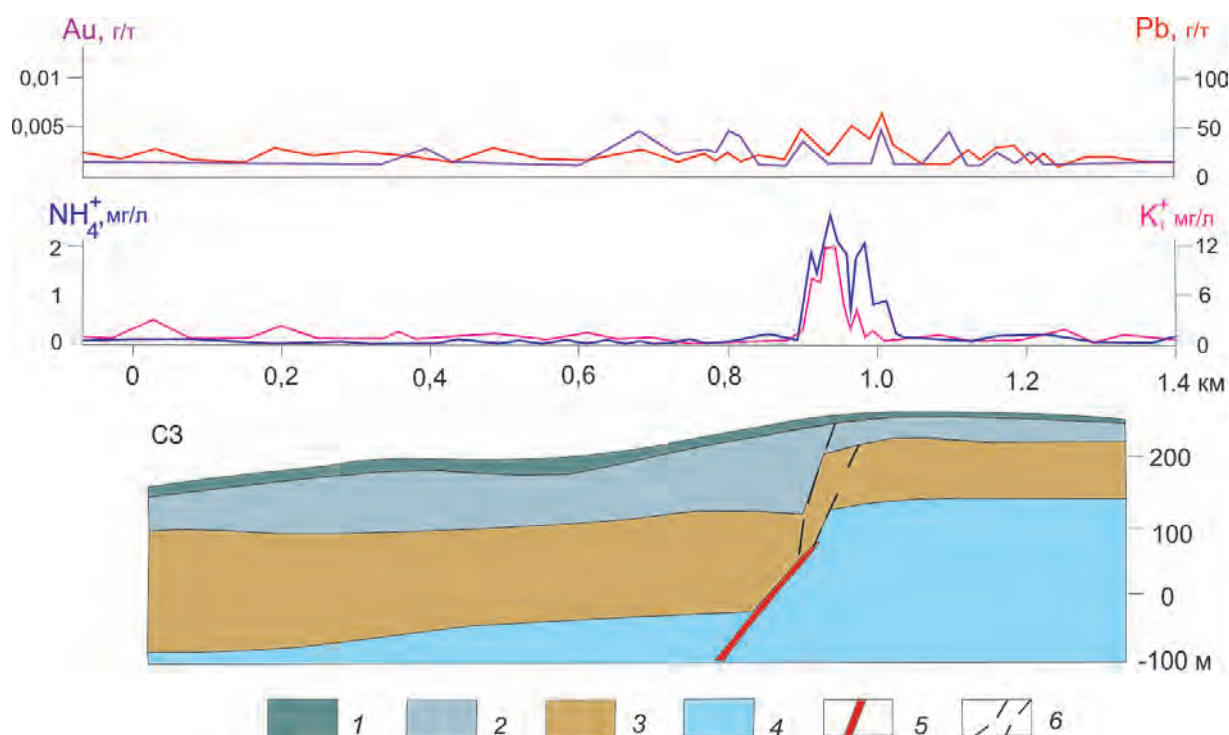
ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ АММОНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На золоторудных месторождениях выявлены вторичные ореолы рассеяния иона аммония (NH_4^+), которые по ширине в 3–8 раз превышают мощность рудных зон. Максимальные концентрации аммония (в 50–60 раз выше фона) отмечаются на месторождениях эпитермального типа. Формирование ореолов аммония обязано как процессам разложения в зоне гипергенеза первичных аммонийсодержащих минералов, так и восходящим к поверхности газовым и газожидким потокам мигрирующих компонентов.

Ключевые слова: ореолы аммония, золоторудные месторождения.

Подробный аналитический обзор зарубежных и отечественных исследований, проведенных на разнотипных золотых месторождениях, залегающих в вулканитах, углеродисто-терригенных и известковистых породах, показал «принципиально возможную взаимосвязь золота и аммония в генезисах золоторудных месторождений. Локально могли иметь место условия, в которых вклад аминоккомплексов был значительным в транспорте золота гидротермальными растворами» [4]. Исследователи единодушно отмечают благоприятные предпосылки использования первичных ореолов аммония при поисках золоторудных месторождений. В то же время высказывались опасения, что в зоне выветривания возможно существенное понижение концентраций указанного компонента в связи с гипергенными процессами и, вследствие этого, уменьшение его индикаторных свойств.

Для подтверждения эффективности поисков золоторудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния аммония и другим компонентам были проведены наблюдения на ряде золоторудных объектов России (Сухой Лог, Воронцовское, Карамкен, Кубака, Наталкинское, Ветренское и др.), Закарпатье (Береговское), Казахстана (Васильковское, Быкырчикское), Узбекистана



Графики распределения в почвах ионов и элементов-индикаторов по профилю через жильную зону № 6 Береговского золото-полиметаллического месторождения:

1 – рыхлые глинисто-суглинистые отложения; 2 – туффиты; 3 – алевролиты, аргиллиты; 4 – вулканиты кислого состава; 5 – рудная жила; 6 – тектонические нарушения

(Джасаул). Работы проводились по специально разработанной методике пробоотбора и анализа водных вытяжек из тонкой фракции почвенных и породных проб с помощью ионоселективных электродов на ионы легкоподвижных компонентов (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- и др.) и потенциалы pH , Eh [3].

Проведенные исследования показали, что в зоне гипергенеза формируются вторичные ореолы рассеяния аммония, характеризующиеся определенной спецификой на разнотипных объектах, но в целом достаточно выдержанные по своим морфологическим особенностям и распределению концентраций [1]. По вторичным ореолам рассеяния аммония с поверхности фиксируются рудные тела, расположенные на глубине 150–200 м и перекрытые рыхлыми отложениями мощностью 5–10 м (рисунок).

По поводу источников аммония доминирует представление о заимствовании его гидротермальными растворами из подстилающих осадочных пород, содержащих органическое вещество. Определенное значение придается также породам, содержащим калиевые минералы, в которых калий может быть изоморфно замещен аммонием.

Формирование вторичных ореолов рассеяния аммония нельзя объяснить только процессами разложения первичных аммонийсодержащих минералов в зоне гипергенеза и перераспределением эндогенных форм его накопления (растворы в пленочных водах, пары, газы в порах и трещинах, вскрытие газово-жидких включений при процессах выветривания и др.). Результаты режимных наблюдений на месторождениях золотосеребряной формации позволили установить, что концентрация иона аммония в пределах контуров ореолов периодически меняется с течением времени, возрастая до высоко аномальных значений и снижаясь затем вплоть до уровня местного геохимического фона [2].

В околорудных породах и рудах, не претерпевших гипергенных изменений, существуют слабо связанные водно-растворимые формы аммония и ряда других компонентов (K^+ , Na^+ , Cl^- и др.). Концентрации их достаточно высоки и вполне могут обеспечить образование вторичных ореолов в почвах. Эти слабо связанные формы рудосопровождающих компонентов обязаны своим

происхождением постоянно действующим восходящим к поверхности газовым и газовой-жидким потокам мигрирующих компонентов. Количественный анализ параметров гипергенных и эндогенных ореолов этих компонентов позволяет отметить непрерывный рост максимальных содержаний и контрастности ореолов с глубиной при уменьшении их эффективной ширины в том же направлении. Подобное распределение отражает диффузионно-фильтрационный механизм миграции легкоподвижных компонентов, свойственный для гипогенных источников [2].

Список литературы:

1. Миляев С. А., Чекваидзе В. Б., Кряжев С. Г. Соотношение вторичных ореолов рассеяния и ионно-потенциометрических аномалий на золоторудных месторождениях // Руды и металлы. – 2013. – № 2. – С. 18–30.
2. Миляев С. А., Чекваидзе В. Б. Формирование и особенности развития ореолов аммония (NH_4^+) месторождений золотосеребряного формационного типа в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах // Отечественная геология. – 2016. – № 4. – С. 69–72.
3. Патент на № 2675774. Ионно-потенциометрический способ литохимических поисков золоторудных месторождений / Миляев С. А., Чекваидзе В. Б. – 2019.
4. Росляков Н. А., Белеванцев В. И., Калинин Ю. А. К вопросу об ореолах NH_4^+ как критериях поиска золоторудных месторождений // Прикладная геохимия. Вып. 3. Прогноз и поиски : сборник статей. – М. : ИМГРЭ, 2002. – С. 429–448.

Митюхин С. И., Богущ И. Н. (ООО «Алмазинтех – Консультации и Инжиниринг»)

ПОЛИГЕНЕЗ АССОЦИАЦИИ АЛМАЗОВ ЛЕНО-АНАБАРСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ, ПОЗИЦИЯ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Приведены результаты паспортизации алмазов, обнаруженных в разновозрастных осадочных коллекторах на территории Лено-Анабарского междуречья по данным оптической спектроскопии. Выделены три группы кристаллов по вариативности общего содержания азота и его агрегации. Проведена корреляция между выделенными парагенетическими группами и генетическими типами алмазов по классификации Орлова-Бартошинского. Сделан вывод о присутствии в границах территории трех типов коренных источников по их петрографо-минералогическому (генетическому) облику.

Ключевые слова: Лено-Анабарское междуречье, алмаз, полигенез, оптическая спектроскопия, азот, агрегация.

Полигенез алмазов не является строго формализованным термином и трактуется исследователями в широком диапазоне аспектов (физико-химические условия кристаллизации алмазов в материнском субстрате, петрографические, минералогические и геохимические показатели пород, транспортирующих алмазы в верхние части земной коры на уровень их эрозионного среза, геохронология тектоно-магматических событий от эпох минералообразования до этапов формирования месторождений с их современным обликом) [1]. Прикладное значение исследований в области полигенеза алмазов заключается в определении индикационных показателей объектов, представляющих основу для решения прогнозных и поисковых задач. В свою очередь, базовой информацией, фундаментом изучения полигенеза, является классификация алмазов с разделением их на парагенетические группы на принципах единства факторов и процессов от этапов кристаллизации в низах литосферы до локализации алмазов в верхней части земной коры. Исходя из изложенной позиции в настоящей работе приводятся результаты классификации алмазов путем комплексного анализа их кристалломорфологических (габитусных) форм и количественных показателей микропримесных включений по данным оптико-спектроскопических определений применительно

1. Ассоциация алмазов Лено-Анабарского междуречья

Тип кристаллов по классификации Орлова-Бартошинского	Генетический тип материнского субстрата	Тип коренного источника	Нижняя возрастная граница коренного источника
Разновидность I: октаэдры, ромбододекаэдры ламинарные, переходные формы	Определенно смешанный: перидотитовый и эклогитовый	Определенно кимберлитовый	D ₃ –C ₁ граница фоменского и турнейского веков
Разновидность I: ромбододекаэдры округлые	Возможно, смешанный: перидотитовый и эклогитовый	Возможно, кимберлитовый жильный	Не позднее карнийского века P ₃
Разновидности V + VII: ряд октаэдр–ромбододекаэдр, сростки, эндемик	Определенно эклогитовый	Нет обоснованных предположений	Не позднее карнийского века P ₃
XI якутиты	Определенно импактный	Определенно астроблемный	35 млн лет

к территории Лено-Анабарского междуречья, расположенной на севере Якутской алмазоносной провинции. Уникальность данного алмазоносного района в мировом масштабе заключается в наличии обширной россыпной алмазности на территории в 400 тыс. км² и безусловности проявления полигенеза алмазов в ее границах в связи с распространением алмазов перидотитового (P-тип), эклогитового (E-тип) и даже ударно-метаморфогенного (импактного) происхождения. Кроме того, на территории выявлен тип алмазов, не обнаруженный где бы то ни было: алмазы – эндемики. В совокупности эти полигенетически связанные алмазы образуют единую ассоциацию Лено-Анабарского междуречья. Компиляция существующих представлений о составляющих ассоциацию алмазах Лено-Анабарского междуречья сводится к следующему (табл. 1).

Несмотря на десятилетия ведения прогнозных, поисковых, научно-исследовательских работ в регионе, коренные источники алмазов не удалось выявить [2, 3] (за исключением Попигайской астроблемы – источника импактных алмазов), что требует апробации новых подходов. В середине 2000-х гг. в практику научно-исследовательских организаций был включен широкий перечень инструментариев для исследования внутренней структуры алмазов в диапазоне электромагнитных волн от лазерной томографии до УФ-спектроскопии. В результате была проведена комплексная паспортизация коллекций алмазов общим числом более 500 тысяч. В практическом плане были взаимоувязаны россыпные проявления алмазов и их коренные источники, в первую очередь для южной и центральной частей Якутской алмазоносной провинции. В отношении северной части, а именно для территории Лено-Анабарского междуречья, в связи с отсутствием коренных источников, работы были направлены на классификацию составляющих (парагенетических групп) общей ассоциации алмазов с формированием их паспортов. В результате по качественным и количественным показателям микропримесных включений ассоциация алмазов Лено-Анабарского междуречья была разделена на три группы. В качестве иллюстрации результатов исследований приводится паспортизация парагенетических групп алмазов Лено-Анабарского междуречья на основе вариативности общего содержания азота – основного микропримесного компонента в алмазах и показателей его агрегации (табл. 2).

Цифровое количественное отображение соотношения указанных выше трех парагенетических групп на геологической основе показало, что в осадочных коллекторах алмазы различного облика находятся в смеси в различных пропорциях. Так, экстремально высокие содержания алмазов группы 1, достигающие 80 %, отмечены на востоке (бассейн р. Молодо) и западе территории (бассейны рек Маят и Биллях). На территории, известной как Кютюнгинский грабен, на востоке территории в разрезе отложений турнейского яруса нижнего карбона содержания алмазов группы 1 превышают 95 %. Это позволяет предположить, что их источниками являются магматические тела раннекаменноугольного возраста, типичные представители алмазоносного кимберлитового магматизма Сибирской платформы. С другой стороны, относительные содержания алмазов группы 3 (разновидности V + VII) достигают своего максимума до 80 % на северных, южных и восточных флангах (низовья бассейна р. Лена) в связи с соответствующим снижением отно-

2. Паспортизация парагенетических групп алмазов Лено-Анабарского междуречья на основе вариативности общего содержания азота

Парагенетические группы	Распределение общего азота в форме <i>A</i>	Распределение показателей агрегации азота в форме <i>B</i>	Соответствие генетическим группам по классификации Орлова-Бартошинского
Группа 1	Низкая дисперсия значений при среднем уровне содержания в 400–600 ppm	Высокий уровень дисперсии значений агрегации, 10–80 %	Разновидность I: ряд октаэдр–ромбододекаэдр ламинарный
Группа 2	Высокая дисперсия при низких значениях содержания < 200 ppm	Низкий уровень агрегации, < 20 %	Разновидность I: округлые додекаэдрониды
Группа 3	Высокая дисперсия при низких значениях содержания < 200 ppm	Низкий уровень агрегации, < 20 %	Разновидности V + VII

сительных содержаний алмазов группы 1 в пробах. Алмазы группы 2 (типично округлые додекаэдрониды, предположительно жильные) в абсолютном и относительном содержании в пробах занимают подчиненное значение относительно алмазов групп 1 и 3. Паспортизация алмазов смешанного ореола с относительными вариациями содержаний каждой из трех парагенетических групп позволяет, с одной стороны, предположить наличие на территории Лено-Анабарского междуречья трех типов коренных источников по их петрографо-минералогической специализации, с другой, оценить тренды и механизмы пространственно-временного перемещения алмазов в системе коренной источник – россыпепроявление.

Список литературы:

1. Афанасьев В. П., Лобанов С. С., Похиленко Н. П., Коптиль В. И., Митюхин С. И., Герасимчук А. В., Помазанский Б. С., Горев Н. И. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 52, № 3.
2. Граханов С. А., Шаталов В. И., Штыров В. А., Кычкин В. Р., Суейманов А. М. Россыпи алмазов России. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2007.
3. Хмельков А. М., Власова Э. А. Перспективы алмазоносности Лено-Анабарского междуречья севера Якутской алмазоносной провинции // Отечественная геология. – 2020. – № 2. – С. 46–61.

Молчанов А. В., Терехов А. В. (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

АЛДАНО-ВИЛЮЙСКАЯ ЗОЛОТОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, МАГМАТИЗМ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ

Проблема золотоносности чехла Сибирской платформы поднимается не в первый раз. Наличие обширных шлиховых ореолов рассеяния золота, а также промышленных, но мелких, россыпей в пределах Алдано-Вилуйского междуречья при полном отсутствии коренных месторождений инициировало обширные металлогенические работы в регионе. Как было установлено в итоге, и что на сегодняшний день не вызывает сомнения, – источником золота россыпей стали терригенные породы мезозоя, выполняющие, в данном случае, роль промежуточных коллекторов. Однако, в ходе работ был установлен целый ряд проявлений коренного золота в карбонатных породах палеозоя, обнажающихся в пределах Алданской моноклизы, Березовского и Нюйского прогибов. На тот момент выявленные в рудах содержания в пределах первых граммов на тонну, а также слабо развитая инфраструктура территории, не позволяли оценить ее как перспективную. Территория Алдано-Вилуйской золоторудной провинции никогда не рассматривалась как

золотоносная, при металлогеническом районировании золото в качестве попутного компонента включалось в железорудные, полиметаллические и прочие металлогенические таксоны. На сегодняшний день существует целый ряд различных вариантов металлогенического районирования территории, что обусловлено не сбивкой региональных и локальных геологоразведочных работ и их растянутостью во времени, а также положением территории на границе двух серийных легенд – Анабаро-Вилуйской и Алдано-Забайкальской.

Анализ результатов работ, проведенных отделом металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках ГГК-1000/3 листов Р-50, 51, 52, О-51, 52, а также фондовых материалов позволил переосмыслить современные перспективы выявления промышленной золотоносности региона. Целесообразным является выделение данной территории в отдельную золотоносную провинцию с обособлением собственно золоторудных и золото-россыпных металлогенических таксонов.

Провинция располагается в пределах рифейско-фанерозойского платформенного чехла Восточно-Сибирской платформы в ее юго-восточной части. Она занимает территорию северо-западного склона Алданской антеклизы, большую часть Вилуйской синеклизы и северо-восточную часть Прибайкало-Патомского прогиба, обрамляясь на юге Байкальской складчатой областью и Алданским щитом. На востоке провинция ограничена Предверхоанским краевым прогибом, а на севере и северо-востоке Анабарской антеклизой и Непско-Ботубинской антеклизой. По магнитным и гравитационным данным территория осложнена рядом морфоструктур II порядка. Значимыми элементами тектонического строения в пределах провинции являются среднепалеозойские дайковые пояса, формировавшиеся синхронно с раскрытием палеовилуйского рифта и обрамляющие его с запада и юго-востока, а также два выступа кристаллического фундамента – Якутское поднятие на востоке и Сунтарское на западе.

Осадочный чехол платформы имеет повсеместное распространение и характеризуется средней мощностью от 1 до 4 км. Наибольшая мощность осадочных отложений зафиксирована в пределах Вилуйской синеклизы, достигая 12 км в районе Кемпендйской впадины на юге территории и 16 км в зоне сочленения Вилуйской синеклизы и Предверхоанского краевого прогиба. В геологическом строении территории принимают участие отложения венд-раннепалеозойского, среднепалеозойского, и мезо-кайнозойского возраста. Венд-раннепалеозойские карбонатные, сульфатно-карбонатные, пестроцветные, глинисто-карбонатные и терригенно-карбонатные отложения со структурным несогласием залегают на эродированных породах кристаллического фундамента. Они распространены на юге и юго-востоке территории и характеризуются значительной фациальной изменчивостью. Среднепалеозойские вулканогенные и вулканогенно-терригенно-карбонатные отложения распространены в центральной части провинции и связаны с процессами траппового вулканизма. Позднепалеозойско-раннемезозойские континентальные существенно песчано-глинистые отложения сосредоточены в пределах Вилуйской синеклизы. Мезо-кайнозойские терригенные и прибрежно-морские песчано-глинистые и угленосные отложения распространены на северо-востоке территории и характеризуются значительными мощностями. В пределах территории выделено два основных этапа тектономагматической активизации. Первый на границе среднего и позднего палеозоя связывается с синхронными поднятиями в обрамлении Палеовилуйского рифта и представлен протяженными дифференцированными существенно базитовыми дайковыми поясами. Второй, мезозойский, этап характеризуется формированием средних субщелочных магматических комплексов и проявлен в пределах Алданской антеклизы на юге территории и в пределах Кемпендйской впадины в центральной части провинции. С этапами активизации магматизма связан основной объем формирования гидротермально-метасоматических образований (джаспероиды) и коренного золоторудного оруденения.

Минерагеническое районирование территории обусловлено границами распространения палеозойской и мезозойской тектономагматической активизации, а также распространением процессов механического и гипергенного выветривания рудовмещающих осадочных, гидротермально-метасоматических и магматических комплексов. На основании структурно-вещественных и генетических особенностей оруденения в пределах провинции выделяется пять площадей, соответствующих рангу золоторудных минерагенических зон и девять перспективных площадей ранга рудных районов и узлов.

Таким образом, исходя из особенностей геологического строения выделенной Алдано-Виллюйской золотоносной провинции, типа слагающих ее магматических и осадочных образований, наличия специфических эпигенетических, в том числе гидротермально-метасоматических образований (джаспероидов), предполагается выявление в ее пределах крупнотоннажных месторождений, близких по типу Куранах-Карлинскому, являющихся месторождениями лидерами в пределах Алдано-Становой минерагенической провинции и провинции Бассейнов и Хребтов в штате Невада США.

Металлогенический потенциал прогнозируемой Алдано-Виллюйской золотоносной провинции оценивается нами на основе сопоставления его с провинциями-аналогами не менее, чем в 5000 т золота.

Молчанов В. П. (ФГБУН ДВГИ ДВО РАН)

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ МЕТАЛЛЫ ЗОЛОТО-ИЛЬМЕНИТОВЫХ РОССЫПЕЙ ИНТРУЗИЙ УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ

Определены основные черты минералогии и геохимии, а также рудный потенциал титаносных россыпей, пространственно и генетически связанных с Ариадненской интрузией ультрабазитов (Приморье). Изучен состав ильменита, золота и платины, выявлен комплекс попутных стратегических металлов. Углубленные минералого-геохимические исследования ильменитовых россыпей базит-ультрабазитов Сихотэ-Алиня позволят расширить перспективы сырьевой базы юга Дальнего Востока.

Ключевые слова: ильменит, платина, серебристое, медистое и ртутистое золото, титаносные россыпи, ультрабазиты, Ариадненский массив, Приморье.

Приморье относится к числу наиболее старых районов золотодобычи России (Анерт, 1928). Благородные металлы здесь добывали задолго до прихода первых русских поселенцев. Интенсивная эксплуатация россыпных месторождений золота на протяжении многих лет привела к истощению их геологических запасов, что не могло не отразиться на резком снижении объемов добычи благородных металлов. Вместе с тем есть веские основания полагать, что минерально-сырьевой потенциал региона не исчерпан. Нужны новые подходы к прогнозу, поискам и освоению источников стратегических минеральных ресурсов. Одними из таких альтернативных источников являются комплексные проявления экзогенной минерализации, в которых стратегические металлы являются попутными компонентами. Издавна к стратегическим металлам относят твердые виды полезных ископаемых, существенные для национальной безопасности. Так, золото обеспечивает финансовую безопасность государства. В последние годы другие металлы приобрели критическую важность для многих промышленных отраслей. Перейдя из категории экзотических металлов в стратегические ресурсы, они оказались крайне востребованными для технологий будущего: редкоземельные элементы для производства мобильных телефонов, компьютеров, а титан – для применения в медицине и авиастроении и т. д. В конце прошлого века в зарубежной литературе появились понятия «критические металлы» и «критическое минеральное сырье», прочно утвердившиеся в экономике ведущих промышленно развитых стран. Многие из этих критических металлов (титан, цирконий, металлы платиновой группы, ниобий, тантал, гафний, ванадий, кобальт, сурьма и т.д.) присутствуют в россыпях юга Дальнего Востока, пространственно и генетически тяготеющих к интрузиям ультрабазитов Сихотэ-Алинского орогенного пояса. К настоящему времени наметилась серьезная необходимость уточнения условий локализации, состава и масштабов проявления экзогенной минерализации. Решение данной проблемы должно основываться, прежде всего, на изучении минеральных форм концентрирования и особенностей распределения высокотехнологичных металлов, а также определении наиболее значимых из них.

Примером такого подхода может послужить изучение Ариадненского массива ультрабазитов, расположенного в центральной части Приморья, в среднем течении р. Малиновки (бассейн водо-

сбора р. Уссури, притока р. Амур). Он относится к группе дифференцированных интрузий Сихотэ-Алинского орогенного пояса, приуроченных к Самаркинскому террейну юрской аккреционной призмы. В геологическом строении Ариадненского рудно-россыпного узла, совпадающего с контурами одноименного массива, принимают участие позднеюрско-раннемеловые туфо-терригенные образования, позднепермская толща алевролитов и песчаников, а также средне-позднеюрские вулканогенно-кремнисто-терригенные породы с олистостромами. Вулканогенно-осадочные толщи прорваны Ариадненским массивом. Его южная часть сложена перидотитами и оливиновыми пироксенитами, в средней преобладают ильменитовые и роговообманковые габбро, переходящие к северу в диориты, монцодиориты и сиениты.

Ариадненский массив продуцирует ряд крупных титаноносных россыпей, в том числе россыпи р. Тодохова и ее правого притока руч. Потапова. Протяженность этих аллювиальных россыпей долинного типа составляет, соответственно, 4,8 и 1,2 км при ширине до 520 и 280 м, средней мощности продуктивного пласта 7,4 м и содержании ильменита до 375,5 кг/м³. Балансовые запасы TiO₂ категории C₁ + C₂ по состоянию на 01.01.2019 г. составляют 702 тыс. т, а прогнозные ресурсы достигают 500 тыс. т.

Вещественный состав (здесь и далее мас. %) гравитационных концентратов характеризуется высоким выходом магнитной фракции (93–95) и низким – немагнитной (5–7). Основу магнитной фракции составляет ильменит (до 95). Изредка фиксируются зерна титаномагнетита. Химический состав магнитной фракции характеризуется высокими концентрациями TiO₂ (более 50) и низкими – вредных для промышленного производства SiO₂ (1, 0,2) и Cr (0,2). Отличительной особенностью ильменитового концентрата является высокий уровень присутствия следующих элементов (в г/т): V – 800, Nb – 210, Nd – 100, Co – 290, Cu – 490 и Zr – 280.

Немагнитная фракция, в сущности, представляет собой смесь анортита (36,9), кварца (24,3), роговой обманки (17,6), сфена (15,4) и циркона (3,8). Кроме того, в незначительных количествах присутствуют монацит, рутил и апатит. Из рудных минералов преобладают сульфиды (единичные зерна пирита, арсенопирита, антимонита и галенита) и самородные металлы – представлены железистой платиной и серебристой, медистой и ртутистой разновидностями самородного золота (Молчанов В. П., Андросов Д. В., 2017). Немагнитный концентрат характеризуется следующим химическим составом: SiO₂ – 49,6, CaO – 13,2, Al₂O₃ – 11,0, TiO₂ – 9,4, ZrO₂ – 4,23, P₂O₅ – 4,15, Fe₂O₃ – 3,23, MgO – 1,84, Na₂O – 1,67, K₂O – 1,18, V₂O₅ – 0,096. Микроэлементы концентрата можно подразделить на две группы. Первая включает редкие и редкоземельные элементы (в г/т): Hf – 830, Se – 320, Y – 220. Во вторую входят благородные металлы – Au, Ag и Pt, концентрации которых меняются в пределах 0,5–3,0 г/т.

Таким образом, всестороннее изучение ильменитовых россыпей Ариадненского массива ультрабазитов позволило установить, что, помимо титана, золота и платины, в них присутствует широкий круг стратегических металлов. Основу магнитного концентрата исходного шлихового материала составляет ильменитовый концентрат (свыше 50 % TiO₂), отвечающий регламенту технологических схем промышленного производства титановой продукции. Его отличительной чертой является присутствие повышенных концентраций V, Nb, Nd, Co. Немагнитный концентрат примечателен, кроме промышленных концентраций Au, Ag, Pt, присутствием таких дефицитных для промышленности металлов, как Hf, Se, Y. Применение современных технологий обогащения позволит комплексно извлечь из шлихового материала весь спектр полезных компонентов с соблюдением ресурсосберегающих принципов и без нанесения существенного урона экологической обстановке.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00525.

ОТЛИЧИЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАНИТОИДОВ МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ И РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЙ ФОРМАЦИЙ

Проводится геохимическое сравнение гранитоидов медно-порфировой и редкометалльной формаций с выявлением их отличий. Материалом послужили данные анализов на содержание десяти элементов геохимического опробования восьми гранитоидных массивов: четырех с медно-порфировой минерализацией и четырех с редкометалльной минерализацией. Сравнение анализов показало заметное отличие содержаний большинства этих элементов в гранитоидах медно-порфировой и редкометалльной формаций.

Ключевые слова: гранитоиды, медно-порфировые, редкометалльные формации, массивы, ассоциации.

Колдарский и Тайсойганский массивы, расположенные в Балхашско-Илийском вулканоплутоническом поясе, как большинство гранитоидных массивов с медно-порфировой минерализацией, относятся к мезоабисальным батолитам. Следовательно, их петрохимические характеристики будут иметь свойственные этим интрузивам особенности, отличающие их от других интрузивов, например, абисальных батолитов, являющихся редкометалльными гранитами.

В качестве дополнительных примеров будут взяты данные ассоциаций гранитоидов Эрденэтского рудного узла Монголо-Охотской зоны: Эрденэтская и Баянкульская порфировые ассоциации раннемезозойского возраста [4].

Эрденэтская порфировая ассоциация. Для сравнительного анализа с гранитоидными ассоциациями Колдарского и Тайсойганского массивов были взяты данные силикатного анализа, проведенного по следующим породам Эрденэтской порфировой ассоциации: диоритовым и кварцевым порфирирам, кварцевым сиенит-порфирам, гранодиорит-порфирам, гранит-порфирам, гранитам, субщелочным гранитам, субщелочным гранит-порфирам, лейкогранит-порфирам, лейкогранитам.

Баянкульская порфировая ассоциация. Для сравнительного анализа с гранитоидными ассоциациями Колдарского и Тайсойганского массивов были взяты данные силикатного анализа, проведенного по гранитоидным породам Баянкульской порфировой ассоциации.

Агинская ассоциация (ассоциация Агинской плиты) является диорит-гранодиорит-гранитной. Щелочность ее несколько повышена, однако, собственно монцонитоидные составы встречаются редко. Следует отметить относительно высокое содержание K_2O в породах, которое выравнивается с Na_2O уже в кварцевых диоритах. Среди гранитов лишь в пегматитоносных и танталоносных альбитовых это соотношение оказывается в пользу Na_2O .

Мензинская ассоциация является гнейсогранит-лейкогранитной. Первую ее фазу составляют гнейсовидные, а также биотитовые и двуслюдяные граниты. По петрохимическому составу ассоциация представляет собой достаточно полную завершенную гранитную серию умеренной щелочности. Средний состав главной фазы отвечает нормальному плюмазитовому граниту.

Их-Хайрханская ассоциация является гнейсогранит-лейкогранитовой. Она включает в себя хорошо известные вольфрамоносные, пегматитоносные, гнейсогранитные массивы, литий-фтористые граниты и онгониты.

Эгиндабинская ассоциация является гнейсогранит-гранитной. Химический состав ассоциации в целом приближается к лейкогранитному, меняясь от гранитного до лейкогранитного. Петрохимическая щелочность пород существенно повышена [8].

Сравнительная характеристика особенностей петрохимического состава порфировых и редкометалльных ассоциаций гранитоидов отражена в таблице средних содержаний окислов (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), в которую вошли данные по вышеупомянутым двум массивам и гранитным ассоциациям (таблица).

Из анализа этих данных можно сделать вывод, что гранитоиды с медно-порфировой минерализацией отличаются более высокими, по сравнению с гранитоидами редкометалльной ассо-

Петрохимический состав порфировых и редкометалльных ассоциаций гранитоидов

Компонент, %	Ассоциации							
	Гранитоиды с медно-порфировой минерализацией				Гранитоиды с редкометалльной минерализацией			
	Колдарская	Тайсойганская	Эрденэтская	Баянгульская	Агинская	Мензинская	Их-Хайрханская	Эгиндабинская
N	50	23	119	57	285	92	170	99
SiO ₂	66,03	68,46	68,30	69,76	69,00	72,09	73,27	72,80
TiO ₂	0,49	0,52	0,47	0,39	0,35	0,30	0,23	0,25
Al ₂ O ₃	15,15	14,11	15,40	14,29	15,00	14,40	13,60	14,06
Fe ₂ O ₃	2,14	1,77	1,70	1,12	0,80	2,50	1,10	0,61
FeO	2,22	1,86	1,62	1,84	1,82	0,00	1,03	1,42
MnO	0,07	0,09	0,08	0,04	0,08	0,07	0,05	0,07
MgO	1,74	1,58	0,86	1,11	1,31	0,40	0,36	0,40
CaO	3,37	2,58	1,67	1,52	1,90	1,21	1,06	1,27
Na ₂ O	3,84	4,21	5,00	3,68	3,97	3,87	3,96	3,95
K ₂ O	3,33	3,57	3,30	3,78	4,25	4,06	4,45	4,50
P ₂ O ₅	0,19	0,14	0,14	0,12	0,10	0,10	0,08	0,06
П.п.п	0,35	0,61	1,32	1,70	1,09	0,42	0,5	0,40
Сумма	99,06	99,57	99,85	99,46	99,90	99,60	99,71	99,80

Примечание. N – количество анализов.

циации, содержаниями титана, алюминия, железа, магния, кальция, натрия, фосфора. А редкометалльные гранитоиды отличаются более повышенными содержаниями калия и более высокая кремнеземистость (до 75 %).

Список литературы:

1. Александров И. В. Геохимические факторы и парагенезисы элементов в гранитоидах. – М. : Наука, 1989. – 184 с.
2. Бадалов С. Т. Геохимические циклы важнейших рудообразующих элементов. – Ташкент : ФАН, 1982. – 168 с.
3. Вернадский В. И. Очерки геохимии. – М. : Наука, 1983. – 422 с.
4. Коваль П. В. Региональный геохимический анализ гранитоидов. – Новосибирск : Наука, 1998. – 492 с.
5. Раген Э. Геология гранита. – М. : Недра, 1979. – 328 с.
6. Сауков А. А. Геохимия. – М. : Наука, 1966. – 487 с.
7. Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : МГУ, 1963. – 248 с.
8. Таусон Л. В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. – М. : Наука, 1977. – 280 с.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВОЗОБНОВЛЕНИЮ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ РАБОТ В РУДНОМ АЛТАЕ

Дальнейшие исследования на территории Рудного Алтая необходимо начинать с проведения прогнозно-металлогенических работ применительно к масштабу 1 : 50 000, которые должны быть нацелены на количественную оценку и переоценку прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_3 в пределах рудных районов, рудных узлов, рудных полей, флангов и глубоких горизонтов месторождений. Это даст возможность локализовать ряд перспективных площадей, что, в свою очередь, позволит ликвидировать дефицит поисковых площадей для постановки геологоразведочных работ.

Ключевые слова: Рудный Алтай, прогнозно-металлогенические работы, полиметаллические руды, прогнозные ресурсы, месторождения.

Наращивание темпов добычи полиметаллических руд на территории российской части Рудного Алтая в последние десятилетия приводит к истощению запасов известных месторождений и обуславливает необходимость интенсификации поисковых работ.

Территория Рудного Алтая и в российской, и в казахстанской частях изучена неравномерно. Площади в районах известных месторождений изучены довольно детально, участки, потенциально перспективные на обнаружение новых рудных объектов, изучены в целом недостаточно, особенно на глубину. Осложняющим фактором поисков оруденения в Рудном Алтае является разная степень обнаженности и доступности в разных частях региона. Связана она во многом с неоднородной ландшафтно-географической обстановкой. На территории Рудного Алтая можно выделить три типа таких обстановок.

1. Равнинный, с преимущественно степным характером растительности, включающий Рубцовский рудный район и западную часть Золотушинского рудного района (в том числе район Орловского месторождения в казахстанской части);

2. Мелкосопочный, также с преимущественно степным характером растительности, включающий в РФ восточную часть Золотушинского рудного района, северо-западную часть Змеиногорского рудного района, в Казахстане – Прииртышский рудный район;

3. Низко-среднегорный, включающий в РФ юго-восточную часть Змеиногорского рудного района, в Казахстане – Зыряновский и Лениногорский рудные районы.

По расположению относительно дневной поверхности месторождения Рудного Алтая делятся на следующие группы:

1. Выходящие на дневную поверхность. Эти месторождения либо их части выходят на дневную поверхность.

2. Погребенные месторождения, выходящие на поверхность фундамента, но скрытые под чехлом рыхлых отложений различной мощности и не доступные для непосредственного изучения.

3. Скрытые или слепые месторождения, которые расположены на значительном удалении от поверхности фундамента.

4. Скрыто-погребенные месторождения, не выходящие на поверхность фундамента, который, в свою очередь, перекрыт покровными отложениями значительной мощности.

Практически в представленном порядке увеличивается сложность выявления месторождений при поисковых работах.

Фонд легкооткрываемых, выходящих на дневную поверхность месторождений почти исчерпан. Дальнейший прирост запасов возможен только путем обнаружения месторождений, не выходящих на дневную поверхность, часто глубокозалегающих. Массовое применение бурения в советское время позволило опосредованно обнаружить значительные площади до глубины 500–700 метров от дневной поверхности, а иногда и глубже. И хотя при этом был открыт целый ряд новых месторождений либо выявлены глубокие горизонты известных месторождений, следует признать, что затраты времени и средств для этого были весьма значительны.

В связи с высокой степенью изученности и разведанности территории Рудного Алтая дальнейшие исследования необходимо начинать с проведения прогнозно-металлогенических работ применительно к масштабу 1 : 50000, которые должны быть нацелены на количественную оценку и переоценку прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_3 в пределах рудных районов, рудных узлов, рудных полей, флангов и глубоких горизонтов известных месторождений. Данный вид работ позволит выполнить сбор и обобщение информации предыдущих исследователей, получить дополнительные данные путем проведения комплекса полевых, лабораторных и камеральных работ с применением современных методов и методик их обработки и интерпретации. Это даст возможность локализовать ряд перспективных площадей ранга перспективных рудных полей и их участков, что, в свою очередь, позволит ликвидировать дефицит поисковых площадей, существенно расширить выбор участков для постановки геологоразведочных работ следующих стадий.

Примером успешного проведения прогнозно-металлогенических исследований применительно к масштабу 1 : 50000 служат выполненные в 1968–1974 гг. (в отдельных районах до 1977 г.) большим коллективом авторов под общим руководством Д. И. Горжевского работы по составлению прогнозно-металлогенических карт рудных районов Рудного Алтая. Главными задачами этих исследований были выделение локальных перспективных участков и оценка известных рудопроявлений, геохимических и геофизических аномалий в целях постановки на них детальных поисковых работ. Успешное завершение вышеназванных работ позволило обеспечить хороший задел поисковых площадей на длительный период исследований (практически до конца советского периода). Поисковыми работами, проведенными на выявленных перспективных площадях, был обнаружен целый ряд новых месторождений либо существенно расширены масштабы уже известных месторождений: Юбилейное (в Золотушинском рудном районе), Захаровское (в Рубцовском рудном районе). В Змеиногорском рудном районе выявлен северо-западный (основной) фланг Корбалихинского месторождения. Это позволило создать крупную минерально-сырьевую базу цветной металлургии на юго-западе Алтайского края. В настоящее время большая часть найденных месторождений вовлечена в эксплуатацию предприятиями холдинга «Уральская горно-металлургическая компания». Выбывающие запасы не компенсируются приростом запасов и прогнозных ресурсов по результатам поисковых работ. Поэтому и назрела необходимость в проведении нового этапа прогнозно-металлогенических работ масштаба 1 : 50000 в основных рудных районах Рудного Алтая, результатом которых должен быть подготовленный задел перспективных площадей для постановки поисковых и оценочных работ. Предлагаем осуществить постановку таких исследований в Золотушинском и Рубцовском рудных районах, а также в юго-восточной части Змеиногорского рудного района. Рекомендуется принять отработанную в 1968–1974 гг. схему построения комплексов прогнозно-металлогенических карт рудных районов в формате государственной разграфки листов масштаба 1 : 50000. Такая схема представления прогнозно-металлогенических карт позволит существенно стандартизировать картосоставительские работы и увязать их с другими мелкомасштабными геолого-съемочными и прогнозно-металлогеническими работами.

При проведении прогнозно-металлогенических работ комплекс исследований должен разрабатываться индивидуально для конкретных территорий с учетом степени изученности, ландшафтно-географических условий и предполагаемой глубинности прогнозирования.

Мурзин О. В., Китаев А. В. (АО «СНИИГГиМС»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ В РУДНОМ АЛТАЕ

Геофизические исследования при поисках колчеданно-полиметаллического оруденения рудноалтайского типа в настоящее время должны выполняться в два этапа. На первом этапе, охватывающем территории крупных металлогенических таксонов, наиболее эффективным ин-

струментом геофизических работ является комплексная аэрогеофизическая съемка (КАГС). На втором этапе поисковых работ должны выполняться наземные геофизические исследования в составе гравиметрических, магнитометрических электроразведочных (ВП, ЕП, МПП), гамма-спектрометрических методов.

Ключевые слова: Рудный Алтай, АО «СНИИГТиМС», комплексная аэрогеофизическая съемка (КАГС), многоразностное зондирование становлением поля в ближней зоне (М-ЗСБ).

Проведение геофизических исследований при поисках колчеданно-полиметаллического оруденения рудноалтайского типа на современном этапе изученности и разведанности территории должно выполняться в два этапа.

На первом этапе при выполнении прогнозно-металлогенических работ, охватывающих территории крупных металлогенических таксонов (рудных районов и их частей площадью сотни км²), наиболее эффективным и информативным инструментом геофизических работ является комплексная аэрогеофизическая съемка (КАГС) в составе аэромагнитометрии, аэрогамма-спектрометрии и аэроэлектроразведки в варианте метода переходных процессов (МПП), выполняемая с применением вертолетных платформ. Масштаб исследований – 1 : 50 000. Она является высокотехнологичным инструментом геофизического изучения территории, соответствующим основным требованиям, предъявляемым к технологиям, составляющим современный прогнозно-поисковый комплекс. Комплекс аэрогеофизических методов ориентирован на обнаружение скрытых и скрыто-погребенных месторождений (до глубины в несколько сотен метров от дневной поверхности), может применяться в разнообразных геологических ситуациях, является экономически рентабельным и весьма оперативным в реализации. Его применение для поисков колчеданно-полиметаллического оруденения должно основываться, в первую очередь, на комплексировании с площадными геохимическими исследованиями. Это позволит оконтурить цельные рудообразующие системы, в составе областей мобилизации рудного вещества, путей его миграции и областей рудоотложения, и, в свою очередь, локализовать перспективные участки ранга рудного поля для постановки поисковых работ следующего этапа исследований.

Наиболее информативными материалами комплексной аэрогеофизической съемки в Рудном Алтае являются данные аэроэлектроразведки и аэрогамма-спектрометрии. Аэромагниторазведка используется преимущественно для геолого-структурных построений.

Методика интерпретации материалов аэрогамма-спектрометрической съемки основана на установленном факте приуроченности различных генетических типов рудных месторождений к участкам нарушений в структуре полей содержаний радиоэлементов – зонам эпигенетического перераспределения радиоэлементов (ЭПР), выявляемых посредством корреляционного анализа. Согласно нашим представлениям, зоны ЭПР являются участками высокой сквозной проницаемости геологического разреза и тем самым служат благоприятной средой для движений различных (тепловых, гидротермальных и др.) потоков, преимущественно восходящих (Кузнецов В. В. и др., 2019).

Материалы аэроэлектронзондирования методом МПП позволяют проводить детальное изучение геологического разреза на значительную глубину (для юго-восточной части Рубцовского рудного района (Таловское рудное поле) эффективная глубина исследований составила 500–700 м, для южной части Золотушинского рудного района (Титовско-Сургутановский участок) – 450 м, для Змеиногорского рудного района – до 1000 м).

На втором этапе исследований при проведении поисковых и поисково-оценочных работ масштаба 1 : 25 000–1 : 10 000 на перспективных участках (десятки км²), выделенных на стадии прогнозно-минерагенических работ с использованием результатов опережающей КАГС, должна проводиться детализация и заверка аномальных полей и площадей наземными геофизическими методами в комплексе с геохимическими и другими видами поисковых работ. Они включают в себя гравиметрические, магнитометрические электроразведочные (ВП, ЕП, МПП), гамма-спектрометрические работы.

Как правило, в Рудном Алтае продуктивные девонские отложения практически полностью изучены кондиционными гравитационными и магнитными съемками масштаба 1 : 25 000–1 : 10 000, пригодными для обработки и интерпретации при проведении поисковых работ на полиметаллы.

Электроразведочными работами (ВП, ЕП) также покрыта практически вся территория продуктивных вулканогенно-осадочных отложений девона. Работами методом переходных процессов (МПП), позволяющим изучать глубокие горизонты, охвачена значительно меньшая территория. Кроме того, исследования МПП проводились в большинстве случаев опытными образцами аппаратуры и могут в некоторых случаях вызывать вопросы к достоверности полученных результатов. Актуальность выполнения данного вида геофизических работ (МПП) очевидна в связи с тем, что основная сложность поисков полиметаллов заключается в выявлении глубокозалегающего (до 1000 м) скрытого и скрыто-погребенного оруденения. Традиционные гальванические методы электроразведки не позволяют получать достаточно информативные геоэлектрические характеристики разреза для таких глубин и, соответственно, проводить эффективные поиски такого оруденения. При проведении поисковых работ последних лет эффективным инструментом поисков глубокозалегающего полиметаллического оруденения зарекомендовал себя метод МПП в модификации многоразносного зондирования становлением поля в ближней зоне (М-ЗСБ) в площадном варианте с глубиной исследования 500–1000 м (В. В. Кузнецов и др., 2019).

Эталонные геофизические характеристики размещения объектов колчеданно-полиметаллического оруденения в разрезе девонских вулканогенно-осадочных образований Рудного Алтая были получены при съемках территорий известных месторождений полиметаллов. По выявленным на этом материале закономерностям размещения полиметаллического оруденения оценивалась вся территория поисков, проводилась локализация участков, наиболее схожих с известными рудными объектами. Полученные данные М-ЗСБ интерпретировались в комплексе с гравитационными, магнитными электроразведочными (ВП, ЕП), гамма-спектрометрическими материалами и материалами геохимических исследований, что повышало их информативность. Буровая проверка перспективных участков, выявленных по результатам проведенных исследований, показала их высокую эффективность.

Мясников Ф. В.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ (КУСТОВ ТРУБОК) В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МАЛО-БОТУОБИНСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА

Рассмотрена потенциальная роль Маганской (Котуйканской) разломной зоны в качестве кимберлитоконтролирующей структуры Мало-Ботуобинского алмазоносного района (МБАР). По материалам гравиметрических и сейсмических материалов показано дисгармоничное строение подошвы земной коры в области сочленения зоны с Аkitканским орогенным поясом. На основании палеогеодинамических реконструкций и с учетом роли разномасштабных сдвиговых дислокаций в размещении и локализации кимберлитов в северо-западной части МБАР выделено четыре участка, перспективных на выявление в их пределах новых полей или кустов кимберлитовых трубок.

Ключевые слова: кимберлиты, Маганская, Мохо, сдвиг, уступы.

Проблема обеспечения запасами алмазодобывающей промышленности г. Мирного с каждым годом становится все более острой. Причиной отсутствия новых открытий кимберлитовых трубок в МБАР является, по мнению автора, парадигма ГРК «АЛРОСА», которая признает в качестве базовой аксиомы кимберлитоконтролирующую роль Вилуйско-Мархинскую зоны (ВМЗ) глубинных разломов. Согласно этой концепции размещение кимберлитовых полей определяется пересечением зон краевых дислокаций ВМЗ с секущими ее рифтоподобными зонами разломов, генетически связанными с Патомско-Вилуйским авлакогеном [6].

На IX Международной научно-практической конференции (ЦНИГРИ, 2019 г.) автором показано, что дизъюнктивы зоны краевых дислокаций ВМЗ необоснованно относятся к глубинным разломам и, как следствие, к кимберлитоконтролирующим структурам. Дислокации ВМЗ не прони-

кают в земную кору и в верхнюю мантию и, в целом, дискордантны крупным складчатым архей-протерозойским структурам фундамента. Подобная оценка ВМЗ не является оригинальной.

Структурно-тектоническое и глубинное положение Мирнинского кимберлитового поля обусловлено доплатформенным геологическим развитием территории МБАР и в целом Сибирской платформы. Блоковую структуру коры сформировали разломы анабарид позднеархейского возраста субмеридионального простирания и разломы протерозойского возраста северо-восточного, субширотного и северо-западного направлений.

Проявленность кимберлитового магматизма в пределах МБАР определялась, по нашему мнению, Маганской [9] (Котуйканской – по Розену [7]) разломной зоной, тектонической границей Маганского и Мархинского (Тюнгского – по другим построениям [8]) террейнов, являющейся региональной и глубинной магнапроницаемой разломной протоструктурой района [5]. Зона сочленения террейнов была активизирована и продуцировала кимберлиты в условиях сжатия–растяжения при сдвиговых деформациях, проявленных на рубеже девона и карбона в пределах Северо-Азиатского кратона в ходе геодинамического взаимодействия последнего с Центрально-Азиатским складчатым поясом. Разломные структуры ВМЗ были использованы мантийным материалом при формировании и локализации кимберлитов в осадочном чехле коры, а их роль в генерировании глубинных тектонических процессов, которые обусловили кимберлитовый магматизм, отсутствует или незначительна. Исходя из таких предположений, рассмотрим перспективы выявления кимберлитовых полей в северо-западной части МБАР, сопряженной с положением Маганской зоны.

Уступы подошвы коры в пределах МБАР являются крупными структурными элементами, формирующими нижнекоровое пространство Маганской разломной зоны. Они фиксируют положение ее генерального магистрального сместителя, имеют амплитуды от 1 до 4 км, расположены ступенеобразно, проекция их верхних кромок на дневную поверхность представляет собой ломанную линию, отрезки которой ориентированы в субмеридиональном или субширотном направлениях. Уступы погружаются в мантию соответственно на восток и на север, субширотные характеризуются более резкими, по сравнению с субмеридиональными, уступами, падением границы раздела кора–мантия. Основания уступов являются корневыми частями листрических разломов, образующих ансамбли разрывных дислокаций вдоль общего направления Маганской зоны. Кимберлиты Мирнинского поля расположены над депрессией поверхности Мохо, над «клиноподобным» выступом подошвы коры.

Формирование уступов по поверхности Мохо и крупных, сопутствующих им структурных элементов Маганской зоны завершилось до венд-фанерозойского этапа развития территории с генерацией разрывных нарушений различного масштаба во всех вышележащих отделах коры. В среднем палеозое, при тектономагматической активизации региона, зона продолжала оказывать геодинамическое воздействие на развитие пликативных и разрывных структур осадочного чехла.

Исследования ИЗК СО РАН и МГРИ-РГГРУ убедительно показали связь среднепалеозойского кимберлитового магматизма и сдвиговой тектоники [1, 2, 4].

Работами ИЗК СО РАН в ходе изучения трубки Мир зафиксированы пять этапов развития и активизации сети разрывных нарушений в месте локализации трубки. Второй этап главных нормальных напряжений, с которым связываются проявления кимберлитового магматизма, характеризуется региональным северо-западным сжатием и северо-восточным растяжением [1]. Это согласуется с геодинамическим взаимодействием Северо-Азиатского кратона с окружающими складчатыми поясами в раннегерцинский этап развития региона.

Маганская структура на данном этапе была активизирована как крупная сдвиговая зона, что привело к формированию элементарных левосторонних субмеридиональных сдвигов и, в меньшей степени, сдвигов согласно субширотным отрезкам уступов подошвы коры и генетически с ними связанных разрывных нарушений осадочного чехла.

Сдвиговые дислокации вдоль составных частей главного сместителя сутуры привели к образованию структурного ансамбля локальных зон растяжения и сжатия второго порядка, что обусловило формирование системы поднятых и опущенных малоамплитудных блоков преимущественно субширотного и субмеридионального простирания [8].

Указанные события соответствуют геолого-геофизическим данным: структурный ансамбль дуплексов растяжения и сжатия подтверждается эшелонированной системой субмеридиональ-

ных горизонтальных градиентов гравитационного поля, в том числе, проявленных в пределах Мирнинского кимберлитового поля. На среднепалеозойский возраст дислокаций указывают повышенные остаточные мощности холмоложской свиты верхнего кембрия в пределах «грабенообразных» структур (зон растяжения) и, соответственно, пониженные остаточные мощности свиты в сопряженных с ними поднятых блоках [3]. Относительно спокойный геотектонический режим развития Мирнинского свода в последующем законсервировал статус элементарных дуплексов растяжения и сжатия и ими обусловленную систему градиентов поля силы тяжести как синкинематических маркеров среднепалеозойского этапа развития территории. Приведенные факты указывают на общность их генезиса и пространственно-генетическую связь с проявлениями кимберлитов Мирнинского поля.

Изложенное, анализ геолого-минералогических данных по северо-западной части МБАР с учетом результатов исследований о главной и принципиальной роли сдвиговой тектоники при локализации кимберлитов позволили выделить в северо-западной части района четыре участка, перспективных на выявление новых полей (кустов) кимберлитовых трубок: Верхне-Иреляхский (верховья р. Улахан-Еленг, бассейны рек Маралах, Крест), Чайдахский (верховья рек Чайдах, Кюеллях), Маар-Сиене (бассейны рек Маар-Сиене и Чоппо) и Куччугунурский (правые притоки р. Куччугунур).

Список литературы:

1. Афонькин А. М. Структурный контроль кимберлитовых тел в Мало-Ботуобинском районе: тектонофизический анализ : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Афонькин Андрей Максимович. – Иркутск. – 2017. – 108 с.
2. Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А. Методическое пособие. – М. : Научный мир, 2008. – 175 с.
3. Горев Н. И., Манаков А. В., Эринчек Ю. М., Гарат М. Н. Особенности строения осадочного чехла Мало-Ботуобинского алмазоносного района Якутии по данным палеоструктурного анализа // Региональная геология и металлогения. – 1994. – № 2. – С. 132–144.
4. Игнатов П. А., Бушков К. Ю., Толстов А. В., Яныгин Ю. Т. Картирование скрытых сдвиговых кимберлитоконтролирующих структур в Накынском поле // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях : материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Якутск. – 2008. – С. 325–332.
5. Мясников Ф. В. Глубинные критерии кимберлитового магматизма Якутской алмазоносной провинции с позиции нелинейной геологии // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 7. – С. 8–20.
6. Проценко Е. В., Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 14–23.
7. Розен О. М., Зинчук Н. Н., Манаков А. В., Ротман А. Я., Серенко В. П., Специус З. В. Якутская кимберлитовая провинция – унаследованный фрагмент суперконтинента Колумбия (2,0–1,3 млрд лет) // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях : материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Якутск. – 2008. – С. 102–106.
8. Структурный анализ при палеогеодинамических реконструкциях / Роскомнедра ; Госкомнедра Украины ; Геокарт ; МАНПО. – М., 1994. – 256 с.
9. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.

Нематуллаев С. Ю. (ГУП «Самаркандгеология», Узбекистан), Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б. (Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева, Узбекистан), Жуманиезов И. И. (Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, Узбекистан)

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПИСТАЛИ (СЕВЕРНЫЙ НУРАТАУ)

Рассматривается золоторудное месторождение Пистали в северных склонах западного окончания хребта Северный Нуратау. Приведены краткие минералого-петрохимические особенности пород изученного района. В результате изучения вещественного состава руд сделаны краткие выводы.

Ключевые слова: метасоматиты, зоны окварцевания, кварцевые жилы, рудные залежи, индикатор, промышленное золотое оруденение, вмещающие породы, минерализованные зоны.

Золоторудное месторождение Пистали типа согласных минерализованных зон в метатерригенных породах впервые выявлено в пределах хребта Северный Нуратау. Участок Пистали (1,6 км²), вмещающий одноименное месторождение с оконтуренными рудными залежами в минерализованных зонах, расположен на северных склонах западного окончания хребта Северный Нуратау, на территории Нуратинского района Навоийской области.

Выявленное оруденение было охарактеризовано как крайне неравномерное, весьма незначительное по масштабам, приуроченное к маломощным пологим зонам окварцевания и кварцевым жилам, согласно залегающим с вмещающими породами.

Проведенной предварительной оценкой на участке Пистали впервые установлено промышленное золотое оруденение в осадочно-метаморфизованных породах тасказганской свиты, приуроченное к пологим минерализованным зонам с альбит-кварц-мусковитовыми метасоматитами.

Руды представлены золотовкрапленным типом с убогой сульфидной минерализацией (пирит, арсенопирит – до 4 %). Золото как в окисленных, так и в первичных рудах содержится в основном в свободной самородной форме (соответственно 89,3 и 84,2 %). Зона окисления развита до глубины 30–60 м от поверхности. Окисленные и первичные руды относятся к одному технологическому типу.

Вещественный состав рудных залежей достаточно однообразен и в зависимости от степени метасоматоза и состава исходной породы (сланцы, алевролиты, кварциты, алевропесчаники) определяется соотношением кварца, альбита, серицит-мусковита.

Единственным полезным ископаемым является золото. Все другие элементы – сопутствующие и практического применения не имеют.

По вещественному составу выделяются два природных типа руд: *окисленные и первичные*, которые не имеют системных расхождений по составу. Характерным признаком окисленных руд являются вкрапленные послойные линзовидные скопления окисленных сульфидов и широкое развитие гидроксидов железа.

Усредненный вещественный состав руд, %: кварц (50,8), альбит (25,9), серицит (9,72), хлорит (2,0), апатит (0,3), рутил (0,5), кальцит (1,5), биотит (5,0). Химический состав руд, %: SiO₂ – 75,9, Fe₂O₃ – 1,32, FeO – 2,5, TiO₂ – 0,5, MnO – 0,05, Al₂O₃ – 9,5, CaO – 1,68, MgO – 0,6, Na₂O – 2,93, K₂O – 1,74, P₂O₅ – 0,15, S_{общ.} – 0,97, CO₂ – 0,66, SO₃ – 0,04.

Сопутствующие элементы представлены следующим комплексом.

Серебро отмечается постоянно как в окисленных, так и в первичных рудах, но содержание его весьма невелико, до 1,0 – 4,0 г/т. Минеральная форма неясна, часть серебра входит в состав самородного золота, другая, вероятно, присутствует в виде примеси в галените.

Цинк распространен не повсеместно. Содержание его от 0,0016 до 0,04 %. Минеральная форма проявления – единичные зерна сфалерита.

Висмут – широко распространенный элемент руд, содержание которого от 0,001 до 0,01 %. В тяжелых фракциях пирит-арсенопиритового состава содержание висмута составляет 0,00011 %.

Минеральная форма неясна.

Вольфрам, содержание которого в окисленных рудах до 0,0014 %, в концентрате (гетит, лимонит) содержание составляет 0,067–0,096 %. В первичных рудах вольфрам установлен лишь в тяжелых фракциях и составляет 0,0032–0,0088 %. Минеральная форма неясна. По-видимому, вольфрам в виде шеелита большей частью связан с жильно-прожилковыми проявлениями кварца.

Молибден распространен достаточно широко. В окисленных рудах содержание его до 0,03 %. В тяжелых концентратах (гетит, лимонит) содержание молибдена до 0,0011 %, в первичных рудах до 0,012 %. Минеральная форма не установлена.

Кобальт. Содержание в окисленных и первичных рудах до 0,001 %. В лимонит-гетитовых концентратах содержания кобальта 0,0004–0,0027 %, в пирит-арсенопиритовом концентрате достигает 0,017–0,1 %. Кобальт, как и никель, по-видимому, образует примеси в пирротине и мельниковит-пирите.

В результате изучения вещественного состава руд можно сделать следующие выводы:

1. Окисленные и первичные руды по вещественному составу не имеют значимых системных расхождений. Золото в них находится в основном в свободной самородной форме. Преимущественно оно тонкое – субдисперсное, о чем свидетельствует его высокое содержание (до 103,28 г/т) в пенном продукте флотации (фракция 0,1–1 мкм). В зоне окисления золото мелкое до крупного от 0,001 до 1,0 мм и более.

2. К сопутствующим элементам относятся Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, W, Mo, Ni, Co, Ga, Ge, As, Sb, S, по содержанию не имеющие практического применения в качестве попутных компонентов.

3. Между золотом и мышьяком установлена прямая связь: с увеличением содержания мышьяка растут содержание и частота встречаемости золота.

4. Вольфрам связан с жильным кварцем.

Восточный и западный фланги участка Пистали, судя по высокой частоте встречаемости золота на большой площади, являются перспективными для продолжения поисков промышленного оруденения до горизонта более 200 м с применением колонкового бурения и шурфов.

Список литературы:

1. Покровский А. В., Карасева Т. А. [и др.]. Метаморфические формации Западного Узбекистана и их рудоносность. – Ташкент : ФАН, 1968. – 204.
2. Джуманиязов Д. И., Жуманиязов И. И. Пистали олтин конининг баъзи бир маъданлашув жараёнлари (шимолий-ғарбий Нурота) // V Международная научно-практическая конференция «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века». – Нур-Султан, Казахстан, 2019. – С. 71–76.

Николаев Ю. Н., Калько И. А., Аплеталин А. В., Джеджея Г. Т. (МГУ им. М. В. Ломоносова)

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ БОЛЬШЕОБЪЕМНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ

В докладе рассматриваются возможные пути повышения эффективности геохимических поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов.

Ключевые слова: геохимические поиски, вторичные ореолы, прогнозная оценка.

Геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния широко применяются в СССР–России на протяжении более 70 лет. Теоретические основы поисков и оценки рудных месторождений по вторичным ореолам, заложенные в середине 50-х годов прошлого века в работах Н. И. Саф-

ронова, А. П. Соловова, В. В. Поликарпочкина, за прошедший период не претерпели существенных изменений и входят в нормативные документы МПР РФ.

В последние годы, признавая стагнацию в развитии геохимических поисков в России, в отраслевых институтах (ИМГРЭ, ВСЕГЕИ и др.) и профильных кафедрах вузов (МГУ, ТГУ, ТПУ и др.) предпринимаются попытки определения путей повышения эффективности региональных и поисковых геохимических работ. Одним из таких путей видится переход от приближенно-количественных к количественным аналитическим методам с одновременным уменьшением плотности опробования. Частично подобный подход уже реализован в нормативных документах, касающихся региональных геохимических работ (допустимая плотность при поисках по потокам рассеяния уменьшена с 1 пр./км² до 0,25 пр./км²).

На наш взгляд, за бортом рассмотрения путей повышения эффективности геохимических поисков остается уже свершившаяся революция в горнодобывающей промышленности, переориентировавшейся на добычу полезных ископаемых из большеобъемных месторождений с низкими содержаниями ценных компонентов в рудах.

В этой связи существует три основных аспекта, определяющих необходимость внесения назревших изменений в теорию и практику геохимических поисков.

1. Теория геохимических поисков формировалась в 50–60-е годы прошлого столетия и ее краеугольным камнем (в части поисков по вторичным ореолам) является представление о формировании вторичного ореола «тонкого» рудного тела, соответствующего жильному типу оруденения. Параметрами вторичного ореола в соответствующем уравнении являются M (линейная продуктивность, м %) и σ (коэффициент гипергенного рассеяния, м) [2]. В уравнении $M = (C_{ор} - C_{ф}) \cdot 2a$ возможны любые сочетания между содержанием элемента во вторичном ореоле ($C_{ор}$) и его шириной $2a$ и не устанавливаются связи с содержаниями в рудах.

Оценка ожидаемых содержаний химических элементов в рудах по их содержаниям во вторичных ореолах в геохимических поисках рассматривается в качестве «обратной задачи», которая редко используется на практике, хотя и имеет решение для мощных рудных тел [2].

В современных условиях инвестиционная привлекательность рудных объектов, с учетом конъюнктуры рынка, определяется не только масштабом запасов полезных ископаемых, но и содержаниями ценных компонентов в рудах. Так, например, в районах с слабо развитой инфраструктурой нижним порогом при разработке медно-порфировых месторождений является 1 усл. % меди, имея тенденцию в сторону уменьшения.

С точки зрения теории геохимических поисков к классической категории «мощных» рудных тел относятся штокверки, мощные жильно-прожилковые и прожилковые зоны, трубообразные тела, пласты и линзы. Обладая крупными размерами, они проявляются в виде крупных геохимических аномалий в элювио-делювии.

С точки зрения теории геохимических поисков такие объекты относятся к категории «мощных» рудных тел, в отличие от жильного типа оруденения, модель вторичного ореола которого разработана А. П. Солововым [2]. Для описания распределения металлов в остаточном ореоле «мощного» рудного тела Р. И. Дубовым [1] было предложено уравнение, в котором основными параметрами являются C_p , p и σ :

$$C_x = \frac{\bar{C}_p}{2} \left[\Phi\left(\frac{p+x}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{p-x}{\sigma}\right) \right] + C_{\phi}$$

где C_p – среднее содержание ценного компонента в рудах, p – полумощность рудного тела, σ – коэффициент гипергенного рассеяния, Φ – табулированные значения интегралов вероятностей от выражений, стоящих в скобках.

Из теоретической зависимости следует, что в идеальном остаточном ореоле уже при $p/\sigma > 2$ величина C_x очень мало отличается от C_p . Это дает возможность, помимо оценки ресурсов металлов по вторичным остаточным ореолам, производить расчеты ожидаемых содержаний в рудах, используя теоретически обоснованную пропорциональную зависимость между двумя этими параметрами: $C_x = k \cdot C_p$ [2] (k – коэффициент остаточной продуктивности).

2. Методический аспект. Из теоретических представлений и разработанных поисковых моделей вторичных ореолов рудных полей и большеобъемных месторождений вытекает важное

следствие: их структуры либо отчетливо изометричны, либо представляют собой сочетание линейности и изометричности. Первое свойство более отчетливо проявляется в строении вторичных ореолов рудных полей, второе – в строении ореолов рудных тел. Это дает возможность, не отказываясь от прямоугольных сетей, создавать определенную вариативность, достигая положительного эффекта при использовании квадратных сетей с одновременным уменьшением объема опробования (500×100 на 250×250 м – 20 и 16 пр./км², 100×20 на 50×50 м – 500 и 400 пр./км² соответственно).

Геохимические поиски большеобъемных месторождений только на первый взгляд представляются простой задачей. В реальности, только некоторые из этого класса объектов относятся к относительно простым по своим структурно-морфологическим характеристикам (медно-порфировые, колчеданно-полиметаллические). Для благородно- и редкометалльных объектов с более сложной морфологией требуется индивидуальная «настройка» поисковых сетей, поисковые маршруты с отбором большого числа штучных проб и комплексирование с другими поисковыми методами для оценки их соответствия промышленным кондициям.

3. Аналитический аспект. Практика применения количественных аналитических методов при геохимических поисках, безусловно, должна быть взята на вооружение при проведении региональных работ по потокам рассеяния, а также при поисках на закрытых территориях. По нашему убеждению, полная замена приближенно-количественного анализа количественным, с учетом отсутствия в России материально-технической базы, в настоящее время невозможна, и этот факт не является критичным для геохимических поисков по вторичным ореолам. Основанием для такого утверждения являются как теоретические предпосылки [2], так и накопленный практический опыт. Если при региональных поисках метод ПКСА не удовлетворяет запросам практики из-за недостаточного нижнего предела обнаружения большой группы элементов (как низко- так и высококларковых), то при поисках по вторичным ореолам в пределах потенциально рудоносных площадей этой проблемы не существует. Недостатком ПКСА скорее является лимитирование по верхнему пределу определения концентраций, особенно для Au, Ag, МПГ и редких элементов, содержания которых во вторичных ореолах выше этих уровней. Решение этой проблемы простое – повторный количественный анализ проб с высокими содержаниями, что весьма актуально для оценки прогнозных ресурсов и ожидаемых содержаний в рудах.

Список литературы:

1. Дубов Р. И. Количественные исследования геохимических полей для поисков рудных месторождений. – Новосибирск : Наука, 1974. – 277 с.
2. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : Недра, 1985. – 294 с.

Овсов Р. Н. (Магаданский филиал АО «Полиметалл УК»)

СТРУКТУРНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ НАТАЛКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Представлены новые данные о структурных закономерностях оруденения, геодинамических условиях и этапах формирования Наталкинского золоторудного месторождения. Показана ведущая роль разновозрастных и разнонаправленных сдвиговых деформаций, структурные парагенезы которых формируют рудовмещающий тектонический каркас месторождения.

Ключевые слова: Наталкинское золоторудное месторождение, структура месторождения, сдвиговый дуплекс, структурный парагенез.

Наталкинское золоторудное месторождение находится на Северо-Востоке России в Тенькинском районе Магаданской области. Месторождение относится к пирит-арсенопиритовому типу

золото-кварцевой малосульфидной формации, к группе месторождений умеренных и значительных глубин [8] и по своим запасам золота является уникальным.

Месторождение Наталка было открыто в 1944 г. и является довольно изученным объектом. Изучением геолого-структурных закономерностей локализации оруденения в разные периоды занимался ряд исследователей, которые предлагали разные концепции строения как отдельных рудных зон, так и всего рудного поля [1–14]. Вместе с тем, автором отмечено, что верхняя часть месторождения охарактеризована с позиции объекта жильно-прожилкового типа, а глубокие горизонты описаны с позиции крупнообъемной рудной залежи (линейного мегаштокверка) [1, 7, 9], что затрудняет общее понимание структурных особенностей месторождения в целом.

В данной работе представлены результаты изучения геолого-структурных закономерностей распределения оруденения с использованием новых данных о структурном контроле, которые основываются на большом объеме информации, полученном в ходе разведочных и эксплуатационных работ, проводимых в настоящее время, а также данные структурно-кинематического анализа, описывающего геодинамическую обстановку и этапность формирования рудной залежи Наталкинского месторождения.

По результатам исследований автором были сделаны следующие выводы:

- Большинство рудоносных жильно-прожилковых зон представлено системами сколов Риделя, морфологические характеристики которых отвечают условиям формирования в обстановке, где одним из главных факторов является левосторонняя сбросо-сдвиговая кинематика;
- Предподготовка и формирование рудовмещающего тектонического каркаса месторождения происходило в несколько тектонических этапов, характеризующихся реверсивными кинематическими режимами [15]: позднеюрские дислокации с правосторонней сдвиговой составляющей, сопровождаемые внедрением даек среднего состава, а также раннемеловые левосторонние подвижки, в результате которых сформировалась рудовмещающая разломная зона;
- В структуре месторождения выделяются несколько основных рудолокализирующих тектонических систем, большая часть которых является элементами левостороннего сдвигового структурного парагенеза, а также имеются системы, приуроченные к ранее образованным структурным элементам правостороннего структурного парагенеза и развитые по дайковым телам спескартитов позднеюрского возраста. В связи с этим рудовмещающая структура носит наложенный характер, то есть на структурные элементы правостороннего сдвигового парагенеза накладываются элементы левостороннего сдвигового парагенеза, нередко нарушая его, чем усложняют структуру в целом.
- Рассматривая взаимоотношения выделенных рудолокализирующих тектонических систем, их иерархический порядок и пространственную ориентировку, автор интерпретирует структуру Наталкинского месторождения как особый тип сдвигового дуплекса – «дуплекс Риделя» [16], где структурными ограничителями первых порядков выступают субпараллельные разломные зоны Стержневого (Юго-Западного) и Северо-Восточного магистральных тектонических швов, а в блоке, заключенном между ними, залегает так называемая рудная зона «Диагональная» [13], состоящая из нескольких систем эшелонированных рудовмещающих разрывов более высоких порядков, представленных сочетанием сколов *R* и *P* (*Y*) типов.

Выявленные структурные закономерности распределения оруденения на Наталкинском месторождении характерны для всего рудного поля, их учет при доразведке флангов и близлежащих перспективных участков может существенно повысить эффективность ГРР.

Список литературы:

1. Ворожбенко В. Д., Григоров С. А., Кушнарев П. И., Кушнарев А. П., Маркевич В. Ю., Токарев В. Н. Оценка влияния литологических и структурных факторов на распределение золота в рудах Наталкинского золоторудного месторождения // Руды и металлы. – 2006. – № 3. – С. 49–56.
2. Ворошин С. В., Еремин Р. А., Тюкова Е. Э., Шахтыров В. Г. Новые материалы по структуре и минералогии Омчакского узла // Геохимия и минералогия рудных месторождений Северо-Востока СССР. – Магадан : СВКНИИ ДВО АН СССР, 1989. – С. 67–86.

3. Ворошин С. В., Шахтыров В. Г., Тюкова Е. Э. Геология и генезис Наталкинского золоторудного месторождения // Колыма. – 2000. – № 2. – С. 22–32.
4. Гаштольд В. В. Строение рудных зон, горнотехнические условия отработки и некоторые вопросы методики разведки золоторудных месторождений Омчакского узла // Наука Северо-Востока России – начало века : материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти акад. К. В. Симакова и в честь его 70-летия (Магадан, 26–28 апреля, 2005). – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2005. – С. 142–145.
5. Голуб В. Н., Горячев Н. А. О роли поперечных разломов и локализации золотого оруденения месторождения Наталка // Наука Северо-Востока России – начало века : материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти акад. К. В. Симакова и в честь его 70-летия (Магадан, 26–28 апр. 2005). – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2005. – С. 158–161.
6. Голуб В. Н., Петров А. Н., Горячев Н. А. Геолого-структурные условия локализации рудных зон юго-восточного фланга Наталкинского золоторудного месторождения // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2008. – № 4. – С. 16–20.
7. Голубев С. Ю. Условия локализации рудных тел Наталкинского золоторудного месторождения // Руды и металлы. – 2008. – № 6. – С. 72–76.
8. Гончаров В. И., Ворошин С. В., Сидоров В. А. Наталкинский золоторудный месторождение. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – 250 с.
9. Григоров С. А., Ворожбенко В. Д., Кушнарев П. И. и др. Наталкинский золоторудный месторождение – строение и основные поисковые признаки // Отечественная геология. – 2007. – № 3. – С. 43–50.
10. Жирнов А. М. Локализация золотого оруденения в кольцевой структуре // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1984. – Т. 3. – С. 98–111.
11. Калинин А. И., Канищев В. К., Орлов А. Г., Гаштольд В. В. Структура Наталкинского рудного поля // Колыма. – 1992. – № 10–11. – С. 10–14.
12. Кодолов А. Г., Голуб В. Н., Горячев Н. А. Структурные условия локализации золотого оруденения на юго-восточном фланге месторождения Наталка (рудная зона 64) // Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин Севера Пацифики : материалы Всероссийского совещания, посвященного 90-летию академика Н. А. Шило (XII годичное собрание Северо-Восточного отделения ВМО). Магадан, 3–6 июня, 2003. В 3-ч т. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – Т. 3. – С. 93–96.
13. Межов С. В. Геологическое строение Наталкинского золоторудного месторождения // Колымские вести. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН. 2000. – С. 8–17.
14. Стружков С. Ф., Наталенко М. В., Чекваидзе В. Б. [и др.]. Многофакторная модель золоторудного месторождения Наталка // Руды и металлы. – 2006. – № 3. – С. 34–44.
15. Шахтыров В. Г. Структурные парагенезы в зоне Тенькинского глубинного разлома (Яно-Колымская складчатая система) // Естественные и технические науки. – 2009. – № 6. – С. 313–319.
16. Woodcock N. H., Fisher M. Strike-slip duplexes // Journal of Structural Geology – 1986. – V. 8, № 7. – P. 725–735.

Пактовский Ю. Г., Осовецкий Б. М., Попов А. Г. (ПГНИУ), Чуйко В. А. (ООО «Алмайнинг»)

ПРОБЛЕМЫ РОССЫПНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ УРАЛА

Приведена краткая история алмазодобывающей промышленности Урала. Дано подтверждение кимберлитовой теории первоисточников уральских алмазов и нахождения их на платформе. Показана роль континентальных перерывов в осадконакоплении, размыве кимберлитов и связь с находками алмазов в стратиграфических подразделениях Урала. Приведен пример приращения одного из критериев алмазности отложений.

Ключевые слова: алмаз, такатинская свита, колчимская свита, россыпи, кимберлит, поисковые работы, критерий поисков, Урал.

Россыпи алмазов на западном склоне Урала (Горнозаводской район) разрабатывались с 1940 г. Затем были открыты более богатые россыпи в Красновишерском районе. Россыпи приурочены к русловым отложениям современных рек и депрессиям с более древним аллювием, преимущественно четвертичного возраста. Установлены определенные закономерности распределения алмазов на территории западного склона Урала: уменьшение крупности и содержаний алмазов в южном направлении, существование западной и восточной полос алмазоносности, ориентированных вдоль Урала и др. Кроме того, алмазоносными являются грубообломочные отложения промежуточных коллекторов – такатинской (нижний девон) и колчимской (нижний силур) свит. Редкие находки алмазов имеются также в конгломератах ордовика.

Добыча россыпных алмазов на Урале продолжалась до 2013 г. и была прекращена в связи с истощением запасов, что стало одним из результатов отсутствия научного обоснования программы поисковых работ [1]. Нерешенность проблем характера коренных источников, их возраста и расположения, связи с ними россыпных алмазов не позволяла дать четкий ответ на вопрос, где же искать россыпи. Сначала предполагалась связь россыпей алмазов с пикритами (Кухаренко, 1955), что не подтвердилось. Затем были предприняты заранее обреченные на провал попытки найти кимберлиты в складчатой зоне Урала (Соколов, 1982) или какие-либо их фациальные комплексы (туффизиты и др.). В то же время была высказана правильная точка зрения о присутствии на прилегающей с запада платформенной территории кимберлитов, которые являлись источниками питания уральских россыпей алмазов (Смирнов, 1965).

Сотрудники Пермского государственного университета всегда были сторонниками концепции о кимберлитовой природе уральских россыпных алмазов. К настоящему времени у коллектива сложилось представление о том, что кимберлиты имеют древний возраст (вероятно, докембрийский), они расположены на восточной окраине Восточно-Европейской платформы и сравнительно близко к Красновишерскому алмазоносному району с наиболее богатыми россыпями [2]. Об относительной близости коренных источников свидетельствует достаточно крупный размер уральских россыпных алмазов (обычно модальный класс 4–2 мм и крупнее). Их характерный округлый облик (так называемые октаэдропиды и ромбододекаэдропиды) указывает на мантийные условия краевых частей платформы, а значения изотопного состава углерода явно свидетельствуют об их кимберлитовой природе.

Кроме того, связь уральских россыпных алмазов с кимберлитами древнего возраста обосновывается следующими соображениями. На кимберлитах в течение длительного времени континентального перерыва сформировалась мощная кора выветривания. Присутствие такой коры выветривания на коренных породах протерозойского возраста установлено глубоким бурением. Первые признаки размыва коры выветривания на кимберлитах зафиксированы при изучении ордовикских пород на Северном Урале, в которых обнаружены редкие находки алмазов. Более значительный размыв происходил в колчимское (раннесилурийское) и затем в такатинское (раннедевонское) время. При этом алмазы транспортировались реками с запада в восточном направлении до морского побережья. Наиболее существенно процессы концентрации алмазов проявились на побережьях раннесилурийского и раннедевонского морей за счет эффективного механизма волновой сортировки. Об этом свидетельствуют достаточно хорошая сортировка алмазов по крупности и распределение алмазоносных отложений на большом протяжении вдоль современного Урала (вплоть до территории Башкирии). Аналогом являются современные прибрежно-морские россыпи Намибии, которые протянулись вдоль берега на расстояние до 2000 км. Россыпи более молодого возраста (кайнозойские) сформировались за счет размыва промежуточных коллекторов и приурочены к древним и современным речным долинам.

Перспективными объектами поисковых работ являются россыпи в древних долинах, приуроченные к палеодепрессиям, в которых они сохранились благодаря интенсивно развитой блоковой тектонике и активному неотектоническому опусканию соответствующих блоков. Прогнозными критериями потенциальной алмазоносности аллювия древней речной сети в палеодепрессиях являются грубообломочный состав отложений (что определяет необходимый уровень активности водного потока) и характерный минеральный состав отложений (циркон-лейкоксен-турмалин-анатазовая ассоциация тяжелой фракции), являющийся индикатором размыва алмазоносных силурийских или такатинских отложений.

Примером успешного применения минералогического критерия поисков россыпей являются результаты совместного с ООО «Алмайнинг» изучения обломочного материала скважин, пробуренных на одном из полигонов. В разрезе отложений, вскрытых разведочными скважинами, наиболее перспективными на алмазоносность предполагались горизонты с полиминеральной (циркон-турмалин-лейкоксен-анатаз или турмалин-циркон) ассоциацией аллотигенной части тяжелой фракции. Эта часть разреза, по всей вероятности, формировалась при размыве алмазоносных такатинских отложений. Предполагалось также, что при перемыве водотоком древней речной сети концентрация алмазов может оказаться повышенной по сравнению с таковой в такатинских породах вследствие активной эрозионной деятельности в особенно благоприятных фациальных условиях (фации сильных струевых течений с наиболее грубообломочным материалом аллювия). Верхняя часть разреза скважин, для которой минералогическим анализом установлена ильменитовая ассоциация, формировалась за счет перемыва древних докембрийских осадочных толщ и тем самым не является алмазоносной. Данный прогноз полностью подтвердился.

Возрождение добычи россыпных алмазов на Урале является одной из первоочередных задач. Для этого имеются все необходимые условия: научно обоснованная концепция формирования россыпной алмазоносности, положительные результаты разведочных работ на нескольких объектах, применение усовершенствованной технологии проходки горных выработок [3].

Список литературы:

1. Осовецкий Б. М., Пактовский Ю. Г., Попов А. Г. Пермский университет и программа прогнозно-поисковых работ на алмазы // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: статьи по материалам региональной научно-практической конференции / гл. ред. Р. Г. Ибламинов. – Пермь : ПГНИУ, 2015. – С. 45–51.
2. Попов А. Г., Пактовский Ю. Г., Осовецкий Б. М. Перспективы алмазоносности Пермского края // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АО «АЛРОСА». – Мирный, 2018. – С. 44–48.
3. Попов А. Г., Калашников Н. Г., Пактовский Ю. Г. Применение скважин большого диаметра в геологической разведке месторождений алмазов на Северном Урале // Вестник Пермского университета. Геология. – 2012. – Вып. 3 (16). – С. 68–73.

Пенделяк Р. Н. (АО «АГД ДАЙМОНДС»)

МНОГОФАЗНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ТРУБКИ ИМ. В. ГРИБА И ЕЕ ВЫРАЖЕННОСТЬ В ПАЛЕОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВАХ ПОРОД И СИТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ АЛМАЗОВ

Рассматриваются палеомагнитные свойства пород трубки и ситовые характеристики алмазов. По результатам анализа и сопоставления полученных данных делаются выводы о причинах смещения эпицентра магнитной аномалии и приводятся доводы, указывающие на многофазность образования трубки им. В. Гриба.

Ключевые слова: месторождение, палеомагнитные свойства, алмаз, ситовые характеристики, магнитная аномалия.

Изучение и анализ истории открытия месторождения им. В. Гриба говорит о смещении эпицентров магнитных аномалий на 200 м от геометрического центра трубки в восточном (аэромагнитная аномалия) и северо-восточном (наземная магнитная аномалия) направлениях. Смещение эпицентра аномалии привело к тому, что первая скважина была пробурена в 100 м к востоку от трубки, а открытие состоялось в результате повторной заверки аномалии лишь через девять лет, в 1996 г. Предполагалось, что основная причина смещения аномалии на земной поверхности – это восточное направление вектора намагниченности пород, слагающих трубку, однако никаких до-

кументированных доказательств обнаружено не было. В связи с этим было принято решение об изучении магнитных свойств пород трубки.

Для установления палеомагнитных характеристик и применимости полученных результатов при проведении поисковых работ в 2019–2020 гг. из пород трубки были отобраны 59 ориентированных образцов: 41 представлен кимберлитами, 18 – ксенотуфобрекчиями.

Лабораторные палеомагнитные исследования и обработка полученных результатов проводились по общепринятой методике в АО «ВНИГРИ».

Полученные результаты исследований палеомагнитных свойств пород трубки показали:

1. Образцы из ксенотуфобрекчий группируются в два поля, причём эти поля соответствуют различным типам пород, наблюдаемым визуально в карьере и отличающимся по содержанию алмазов, цвету, прочности, размеру и количеству магматического материала, а также по обогатимости на фабрике.

2. Образцы из кимберлитов группируются в три отдельных поля, при этом в центральной и юго-восточной частях трубки выделяется участок с аномально высокими значениями магнитных параметров.

3. В кимберлитах преобладает восточное направление остаточной намагниченности (46 %), в ксенотуфобрекчиях – южное (43 %).

4. Направление участков с высокими и аномально высокими значениями магнитных параметров в кимберлитах совпадает с простираанием аэромагнитной аномалии 1986 г.

5. Ситовые характеристики алмазов указывают на преобладание (на 4–6 %) алмазов крупных и средних классов в «южных» кимберлитах над «северными». Кимберлит с «западных» участков трубки имеет ситовые характеристики, сходные с «южным».

Полученные результаты в целом говорят о верности изначальных предположений о причине смещения эпицентра магнитной аномалии трубки им. В. Гриба, указывая при этом на её сложное строение. Кроме того, участок кимберлитов с аномально высокими значениями магнитных параметров мог проявить себя в качестве основной аномалии, с выделения которой начались поисковые работы, приведшие в результате к открытию трубки. А его расположение преимущественно в центре и на востоке трубки совместно с преобладающим восточным направлением остаточной намагниченности могут объяснять причину смещения аномалии на восток, в том числе частично за контур самой трубки.

Исходя из полученных результатов необходимо отчетливо понимать, что каждая отдельная (особенно многофазная) трубка будет иметь присущие только ей особенности, которые будут характеризовать историю ее становления и развития, и применять эталонные модели при проведении поисковых работ следует очень вдумчиво и осторожно. Помимо этого, имеет смысл проанализировать фонд уже заверенных аномалий, в особенности те, которые заверены всего одной скважиной.

Петухов А. А. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И СТАДИЙНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ВЕРХНЕ-ХАТЫННАХСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Изучены основные минеральные ассоциации и определена стадийность минералообразования рудных минералов, слагающих руды для выявленных рудопроявлений Верхне-Хатыннахского рудного поля. Руды характеризуются схожими содержаниями рудных минералов, составом жильных минералов и другими особенностями.

Ключевые слова: минеральные ассоциации, стадийность минералообразования, минеральные парагенезисы, рудная минерализация.

В результате исследований, проведенных ФГУП «ЦНИГРИ» совместно с ООО «Станнолит» за 2012 г. в пределах Верхне-Хатыннахского рудного поля, установлено, что рудные тела выяв-

ленных рудопроявлений сформировались в несколько стадий. Прослеживаются последовательно образовавшиеся минеральные ассоциации: ранняя карбонат-кварцевая и более поздние, отмеченные как продуктивные (кварц-пирит-арсенопиритовая прожилково-вкрапленная и кварц-полисульфидная прожилково-жильная).

Вмещающими породами являются преимущественно темно-серые массивные алевролиты с прослоями тонкозернистого песчанистого материала нижней толщи атканской свиты и, в меньшей степени, диамиктиты второй толщи атканской свиты. Породы часто метасоматически изменены, в большей степени развиты карбонаты (Fe-карбонат, анкерит, кальцит) и окварцевание (от 5 до 40 %), в меньшей степени развиты серицит, хлорит и гидрослюда. Также редко отмечается развитие позднего плагиоклаза (альбит).

Кварц-пирит-арсенопиритовая прожилково-вкрапленная минерализация установлена и описана на рудопроявлении Петух (Н. В. Цымбалюк, 2012). Минерализация локализована в субвертикальных, крутопадающих зонах прожилкового окварцевания и отмечена малосульфидной, преимущественно пирит-арсенопиритовой, вкрапленной минерализацией во вмещающих породах и кварцевых прожилках. Отмечается скудное развитие рудных минералов: сфалерита, галенита, халькопирита. Визуально определяемые включения самородного золота наблюдаются исключительно в кварцевых прожилках.

Рудная минерализация *кварц-пирит-арсенопиритового прожилково-вкрапленного типа* представлена рассеянной вкрапленностью зерен пирита и арсенопирита. На рудопроявлении Петух арсенопирит – основной золотосодержащий минерал, содержание его в рудах колеблется от десятых долей процента до 4–5 % (в среднем 0,5–1,0 %).

В составе *кварц-полисульфидной минеральной ассоциации*, продуктивной на золото, выделены две последовательно образовавшиеся парагенетические минеральные ассоциации: 1 – кварц-арсенопиритовая; 2 – полисульфидная.

Рудные тела кварц-полисульфидной минеральной ассоциации в большинстве представлены прожилково-жильными зонами, тесно связанными с зонами интенсивного дробления пород, поэтому рудные тела часто представляют собой минерализованные зоны дробления. В кварцевых жилах наблюдаются мелкие гнезда и вкрапленность арсенопирита, иногда пирита и галенита. Промывкой бортовых проб из зон дробления установлено наличие золота до первых десятков знаков. Золото светло-желтого цвета, мелкое, пластинчатое.

В рудных телах, сформированных образованиями кварц-полисульфидной минеральной ассоциации, отмечаются высокие содержания золота (от первых единиц до 20–30 г/т). Как правило, границы рудных тел резкие, совпадают с границами тектонических зон или участков прожилково-жильной минерализации. Мощность рудных тел колеблется от 0,3–0,8 м до 5–8 м. Средневзвешенные содержания золота в их пределах составляют более 5 г/т.

Типичными минералами кварц-полисульфидной ассоциации являются самородное золото 800 ‰, сфалерит, блеклая руда, галенит и халькопирит, которые образуют преимущественно тонковкрапленные и микроскопические включения в кварце, арсенопирите и пирите. Наиболее характерны парагенезисы самородного золота с блеклой рудой и галенитом, обусловленные предположительно одновременным отложением этих минералов.

Самородное золото образует выделения размером от нескольких микронов до 0,5 мм с преобладающим размером золотин в первые сотые доли миллиметра. Формы выделений комковидные, кристаллические и трещинные (заполнения микротрещин).

Печенкин И. Г. (ФГБУ «ВИМС»)

РОЛЬ ОБОГАТИТЕЛЕЙ ВИМСА В СОЗДАНИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АЛМАЗОВ

В 1938 г. в ВИМСе была создана лаборатория технологического обеспечения поисков алмазов. Разработанная схема обогащения проб была применена при поисковых работах на Урале на-

чина уже с полевого сезона 1938 г. В 1941–1942 гг. введены в эксплуатацию две обогатительные фабрики. Добычники, пришедшие на смену геологоразведчикам, ориентировались на достижения обогатителей. Разработанная ВИМСом методика извлечения уральских алмазов позволила выявить алмазы в Якутии на р. Вилюй, а затем открыть, разведать и начать эксплуатацию россыпных, а позднее и коренных месторождений Сибири.

Ключевые слова: ВИМС, алмаз, технология, обогащение.

Перед Комитетом по делам геологии в конце 1937 г. Правительством была поставлена задача организации поисков отечественных месторождений алмазов. Отдел алмазов в Комитете возглавлял Г. К. Волосюк. Подготовку к проведению поисковых работ на алмазы он поручил ВСЕГЕИ и ВИМСу. В последнем была создана лаборатория технологического обеспечения поисков алмазов. Для выполнения исследований и разработки новой технологии в нее были направлены молодые инженеры-обогатители: М. И. Маланьин, Л. Г. Солдатов, Г. А. Коц, Н. Е. Романовская, П. С. Галкин, техник Н. Д. Красавин и рентгенолог М. Г. Богословский [2].

Из имевшихся данных было известно о чрезвычайно низком содержании алмазов как в коренных магматических породах – кимберлитах, так и в россыпях, в кубометре породы которых может находиться 1–2 кристалла, и их нужно не упустить, найти и извлечь. При изучении свойств алмазов в лаборатории ВИМСа была установлена чрезвычайно важная особенность – свечение алмазов в рентгеновских лучах, а также при ультрафиолетовом излучении и катодном возбуждении, что было использовано в технологической схеме для улавливания и извлечения кристаллов из проб. Технологические исследования и разработка схем обогащения велись одновременно с разработкой аппаратуры для ее применения в практике работ. К началу полевых поисковых работ 1938 г. была завершена разработка трехступенчатой технологической схемы обогащения проб на алмазы и подготовка кадров обогатителей для геологических партий. *Этот короткий период – время прорыва в разработке совершенно новой для нашей страны схемы обогащения алмазоносных проб* [3].

Поисковые работы на алмазы возглавил талантливый геолог ВСЕГЕИ Александр Петрович Буров. По его предложению систематические поиски алмазов были начаты на западном склоне Среднего Урала, где ранее были известны находки алмаза. Первые поисковые партии, состоящие из геологов ВСЕГЕИ и ВИМСа, выехали в эти районы весной 1938 г. Разработанная ВИМСом технологическая схема обогащения проб на алмазы была применена на практике уже при этих первых поисковых работах. Общее руководство применением в производстве разработанной в ВИМСе технологической схемы обогащения было поручено М. И. Маланьину. До начала 1943 г. обогащение проб в полевых поисково-разведочных партиях проводилось только в летнее время. Зимой инженеры-обогатители и техники занимались разработкой и усовершенствованием обогатительных приборов и аппаратов, изучением процессов обогащения различных типов алмазоносных пород [1, 3].

Постепенно были усовершенствованы процессы дезинтеграции и промывки проб, разработаны методики магнитного разделения проб и центробежного обогащения, новые конструкции концентраторных столов для улавливания алмазов, спроектированы обогатительные установки и фабрики, в том числе работающие круглогодично.

В работах ВИМСа выделяются два ведущих направления в технологии обогащения алмазных россыпей. Первое осуществлялось под руководством Г. А. Коца. Он разработал теорию и практику извлечения алмазов из концентратов отсадочных машин на липких поверхностях – «жировой» обогатительный процесс. Исследования, проведенные его группой по сепарации алмазов на липких поверхностях, позволили внедрить новую технологическую схему обогащения и создать необходимую для этого аппаратуру. Метод широко использовался при промышленной добыче алмазов в Якутии.

Вторая технология извлечения алмазов из концентратов отсадочных машин с использованием люминесценции разработана М. Г. Богословским и его сотрудниками. Из трех известных видов люминесценции алмазов (катодолюминесценция, фотолюминесценция, рентгенолюминесценция) был выбран последний. Правильность выбора этого вида определения алмазов в породе была под-

тверждена последующей практикой. К сожалению, М. Г. Богословский не успел завершить работы по использованию радиоактивных изотопов в качестве источников, вызывающих люминесценцию алмазов. Она была продолжена его учениками (В. В. Финне, Л. М. Красов), которые разработали автоматические люминесцентные сепараторы с облучением рентгеновскими лучами и радиоактивными изотопами [3].

По проекту ВИМСа при непосредственном участии его сотрудников (М. И. Маланьин, Л. Г. Солдатов) в 1941–1942 гг. были введены в эксплуатацию две обогащательные фабрики с последующим выпуском оборудования и установок для мелко- и крупнообъемного опробования алмазных месторождений. Добычники, приходящие на смену геологоразведчикам, ориентировались на достижения обогащателей с учетом непрерывного производства. Поисковые и разведочные работы позволили не только оценить запасы алмазов, но и получить информацию по технологическим особенностям их извлечения. Это ускорило промышленное освоение алмазных месторождений [2].

За работы 1941–1945 гг. по обеспечению промышленности СССР стратегическим сырьем (алмазы) были награждены орденами и медалями И. В. Шманенков, В. О. Ружицкий, Г. П. Романов, М. Г. Богословский, В. В. Румянцева и др. В 1952 г. за разработку и внедрение нового метода извлечения алмазов лауреатами Сталинской премии третьей степени (1952 г.) стали А. П. Буров, М. Г. Богословский, Г. А. Коц, М. И. Маланьин, М. В. Федоров и четыре сотрудника треста «Урал-алмаз» [1].

В 1947–1955 гг. разработанная ВИМСом методика извлечения алмазов позволила при непосредственном участии сотрудников ВИМСа (В. О. Ружицкий, М. Г. Богословский) впервые обнаружить алмазы в Якутии на р. Вилюй, а затем открыть, разведать и начать эксплуатацию россыпных, а позднее и коренных месторождений Сибири [4].

Список литературы:

1. Антоненко Л. А., Печенкин И. Г., Серпер Н. А. ВИМС в годы Великой Отечественной войны // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 3. – С. 3–8.
2. ВИМС LXXV / Гл. ред. А. Н. Еремеев. – М. : Недра, 1993. – 334 с.
3. Маланьин Р. М. Обогащатели Уральской алмазной экспедиции // Алмазники Урала / под ред. Н. В. Введенской. – Пермь : ПГНИУ, 2007. – С. 91–98.
4. Сусов М. В. Неизвестные страницы в истории открытия Якутских алмазов. – М. , 2002. – 147 с.

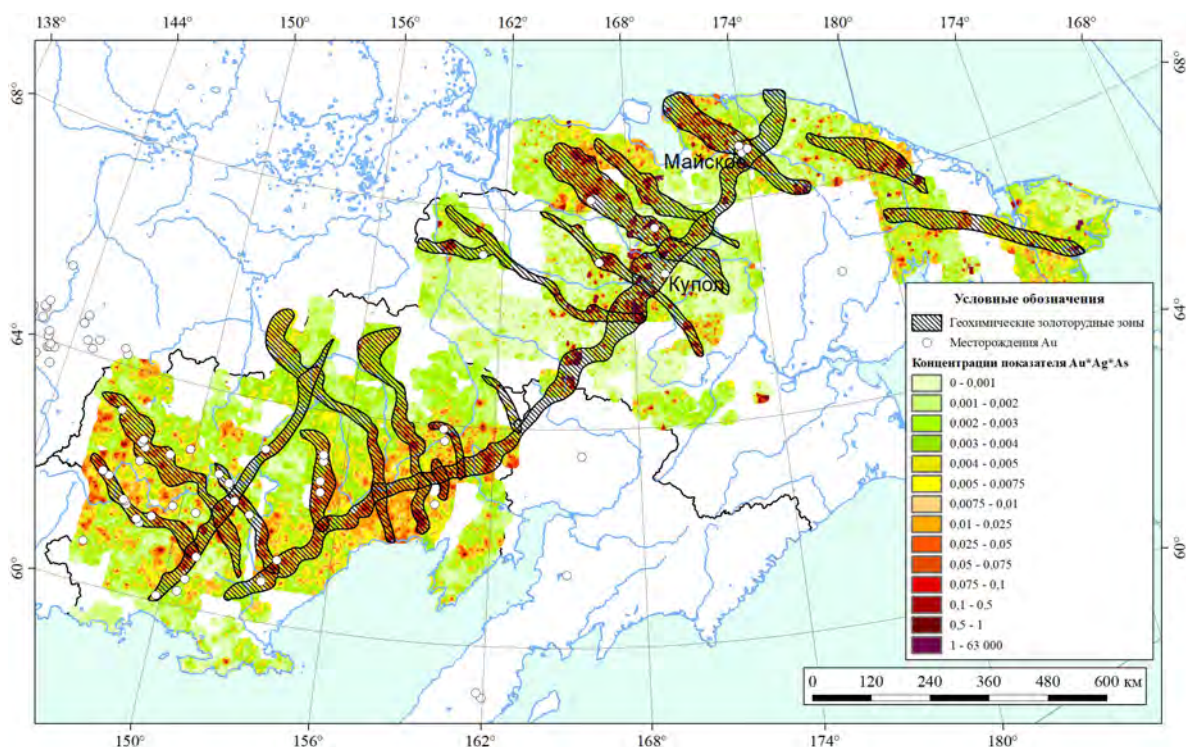
Пилицын А. Г. (ФГБУ «ИМГРЭ»), Волков А. В. (ФГБУН ИГЕМ РАН)

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ЗОЛОТОНОСНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ И ПОИСКОВЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ

На Северо-Востоке России проведена интерпретация сводной базы геохимических данных потоков рассеяния м-ба 1 : 200 000 и 1 : 1 000 000. Основываясь на геохимическом показателе $Au \times Ag \times As$ и Au/Ag , выделены перспективные золотоносные зоны глобального ранга в пределах внешней зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) и приуроченные к зонам тектоно-магматической активизации. Пространственно большинство золоторудных объектов расположены в пределах выделенных геохимических зон. Даны рекомендации по постановке среднemasштабных и поисковых работ.

Ключевые слова: Северо-Восток России, перспективы золотоносности, региональная геохимия.

Сводное и обзорное геохимическое картирование – основной инструмент локализации перспективных площадей для постановки среднemasштабных и поисковых работ на различные виды полезных ископаемых. Основная задача такого картирования, это структурирование геохи-



Расположение выделенных золоторудных зон на схеме изоконцентраций показателя $Au \cdot Ag \cdot As$

мического поля с выделением геохимических зон и районов, связанных с глобальными рудообразующими процессами.

Современные программные средства рассчитаны на обработку практически неограниченных массивов геохимических данных и позволяют проводить интерпретацию в сводном масштабе без использования генерализации, напрямую работая с моно- и полиэлементными геохимическими картами на большие территории, что позволяет установить пространственные закономерности геохимических полей, связанные с глобальными рудообразующими процессами.

В целях выделения перспективных площадей для постановки среднемасштабных работ на золото территории Северо-Востока России было проведено обобщение архивных данных геохимической съемки по потокам рассеяния м-ба 1 : 200 000–1 : 1 000 000 в единую сводную базу данных. Основной объем геохимических исследований пришелся на 70-е и 80-е годы, когда полистно проводилась геохимическая съемка по потокам рассеяния м-ба 1 : 200 000 (~ 75 % всей территории). Всего для составления сводной базы данных использовано более 100 локальных полистных баз данных, которые суммарно включают 388 355 проб.

Сводная база включает в себя результаты анализов (преимущественно ХС Au и ПКСА) на следующие компоненты, % (анализов от общей базы): Au (100), Mn (100), Cu (100), Zn (100), Pb (100), Co (99), Ni (99), Sn (99), Mo (98), Be (97), Cr (97), As (97), W (97), V (96), Bi (95), Ag (94), Ba (91), Hg (88), Ti (82), Ga (80), Sb (75), Li (73), Ge (73).

На рассматриваемой территории широко развиты объекты Au-Ag адуляр-кварцевого и золото-кварцевого малосульфидного рудноформационных типов. Геохимические параметры в потоках рассеяния подобных объектов представлены ассоциациями: для первого типа – Au, Ag, As, Cu, Zn, Pb, Mo, Sn, Bi, Hg; для второго – Au, As, Sb, W (Hg, Cu, Ag).

Минимально необходимая ассоциация для выделения золоторудных объектов большинства типов – мультипликативный показатель $Au \cdot Ag \cdot As$, который имеет довольно контрастный характер, при этом выделяется глобальная геохимическая зона протяженностью 1500 км и шириной до 100 км в пределах Внешней зоны ОЧВП. Также хорошо локализуются по этому показателю зоны тектономагматической активизации [2].

Для определения геохимической специализации использовано отношение Au/Ag [1], которое позволяет выделить: существенно Ag ($< 1/250$), Au-Ag ($1/250$ – $1/25$), существенно Au ($> 1/25$). Ус-

тановлено, что внешняя зона ОЧВП имеет Au-Ag специализацию, а внутренняя зона ОЧВП – существенно Au, при этом в геохимических полях показателя $Au \times Ag \times As$ выделяется слабо. Для большинства остальных исследованных структур показатель Au/Ag невысокий – от 0,013 до 0,05, что говорит о преобладающей Au-Ag специализации эпitherмальных месторождений Северо-Востока России и о его высокой перспективности на обнаружение новых золоторудных объектов.

Полученные перспективные золотоносные зоны хорошо коррелируют с отрицательными аномалиями гравитационного поля и ареалами распространения интрузивного магматизма. Возможны корректировка границ выделенных геохимических зон согласно гравиметрическим отрицательным аномалиям, а также локализации новых зон, которые не проявили себя в геохимических полях из-за вероятного низкого качества отдельных используемых при построении баз геохимических данных.

Пространственная корреляция показывает, что большинство Au-Ag и Au месторождений лежит в границах выделенных зон, в том числе крупные объекты Купол и Майское.

Перспективные направления среднемасштабных геохимических работ связаны с неизученными территориями в контурах выделенных золоторудных зон. Для постановки поисковых работ выделены 16 перспективных площадей в пределах выделенных золоторудных зон. Отметим, что на границе Чукотского АО и Магаданской области не изучены листы Q-58-XXXI-XXXIV, а на продолжении Баимской зоны – листы Q-58-VII, VIII. Эти площади – первоочередные для проведения среднемасштабных геохимических работ.

Список литературы:

1. Волков А. В. Вариации показателя Ag/Au эпitherмальных месторождений // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 452, № 1. – С. 75–79.
2. Волков А. В. Закономерности размещения и условия формирования золоторудных месторождений в зонах тектоно-магматической активизации Северо-Востока России // Геология рудных месторождений. – 2005. – Т. 47, № 3. – С. 211–229.

Пихутин Е. А. (АО «СНИИГГиМС»)

НОВЫЕ ПРИЗНАКИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТЫВЕ

В работе приведена характеристика оруденения и рудоносных интрузивных образований Нижнедургенского золото-медно-молибденового рудного узла. Оруденение впервые выявлено при проведении ГДП-200 листа М-46-ХІ (Бай-Хаак). По основным классификационным признакам месторождений медно-порфирового семейства оруденение относится к медно-молибденовому типу.

Ключевые слова: Алтае-Саянская минерагеническая провинция, Таннуольско-Улугуйская минерагеническая зона, металлогения, медно-порфировое оруденение, золото, медь, молибден.

С середины XX века в Центральной Тыве известны два разобщенных участка медно-порфирового оруденения в пределах Таннуольско-Улугуйской минерагенической зоны: Кызык-Чадрский, Улугбусский молибден-меднорудные узлы в пределах Ожинского поднятия и Калбакский золото-меднорудный узел по восточному обрамлению Центрально-Тувинского прогиба. По материалам, подготовленным при проведении ГДП-200 листа М-46-ХІ (Бай-Хаак), вдоль юго-восточной окраины Центрально-Тувинского прогиба автором выделен Нижнедургенский золото-медно-молибденовый прогнозируемый рудный узел (ПРУ).

Нижнедургенский ПРУ, также как и Калбакский ПРУ, расположен в пределах Каахемского ареал-плутона, который сложен средне-позднекембрийскими гранитоидами таннуольского и чарашского комплексов и раннеордовикскими габброидами мажалыкского комплекса. Рудоносные

интрузии относятся предположительно к чарашскому комплексу тоналит-плагиогранитовой формации, отношение K_2O/Na_2O рудоносных тоналитов – 0,7. Оруденение приурочено к линейной зоне меридионального простираия, насыщенной многочисленными дайками кислого состава и кварц-полевошпатовыми пегматоидными жилами. Пространственно с ними отмечается развитие кварцевых жил, зон окварцевания, серицитизации и калишпатизации.

В юго-восточной части Нижнедургенского ПРУ, в районе г. Язевка, на площади 3×7 км среди тоналитов и монцодиоритов выявлены три штокверковые кварцевые зоны размером до 500×500 м. Жилы кварца мощность от 0,5–1 до 10 м и протяженностью от 10–200 до 450 м простираются по двум генеральным направлениям – $60-65^\circ$ и $110-115^\circ$. На большинстве кварцевых жил обнаружены следы поверхностных горных выработок в виде сети канав и единичных ям, сведения о результатах этих работ отсутствуют. Жилы сложены молочно-белым и серым полупрозрачным кварцем с редкими прожилками калиевого полевого шпата и эпидота. В массе кварца и зальбандах встречается прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация, представленная пиритом, молибденитом и халькопиритом, редко борнитом. По результатам штучного опробования кварцевых жил и вмещающих окварцованных гранодиоритов, содержания меди составляют от 0,3–0,8 до 2 %, молибдена – от 130–250 до более 600 г/т, золота – от 0,01–0,02 до 0,1 г/т. Руды характеризуются следующим рядом элементов, ранжированных по величине коэффициентов концентрации (более 2): Mo-Cu-Ag-Pb-Au-As-Sn-Cr-Fe-Co. Отношение Cu/Mo – 20, отношение Au (г/т) / Mo (%) – 1,7. В северной части Нижнедургенского ПРУ выявлено два пункта минерализации молибдена и свинца в гранит-порфирах с прожилками кварца с молибденитом и гидроокислами железа. Спектральным анализом штучных проб установлены содержания молибдена от 38–132 до 224 г/т, свинца 362–713 г/т.

Оруденение сопровождается несколькими высококонтрастными комплексными аномалиями меди (от 51–59 до 100 г/т), молибдена (от 2–3 до 6 г/т), свинца (от 15–17 до 40 г/т), цинка (от 108–119 до 200 г/т), серебра (до 0,2 г/т) и золота (до 0,02 г/т) во вторичных литохимических ореолах рассеяния.

Выявленное в пределах Нижнедургенского ПРУ оруденение по совокупности классификационных признаков (А. И. Кривцов и др., 2001) относится к медно-молибденовому типу месторождений медно-порфирового семейства.

Подвысоцкий В. Т.¹, Иванух В. М.², Остафийчук Н. Н.¹ (Государственный университет «Житомирская политехника», Украина, ² Университет штата Рио-де-Жанейро, Бразилия)

ОСОБЕННОСТИ РОССЫПНЫХ И КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АЛМАЗОВ БРАЗИЛИИ

Рассматриваются контрастные по многим параметрам четвертичные россыпи алмазов: сформированные за счет размыва древних вулканогенно-осадочных алмазоносных отложений и образованные в результате денудации коренных и россыпных объектов позднемелового возраста. Приводятся сведения о меловой кимберлитовой провинции Жуина и первом разрабатываемом в Бразилии коренном месторождении алмазов Брауна.

Ключевые слова: Бразилия, алмазы, кимберлиты, россыпи.

Наиболее важные алмазодобывающие районы Бразилии располагаются в штатах Минас-Жерайс, Мату-Гроссу и Баия. Основная масса алмазов извлекается из четвертичных россыпей, которые по способу питания делятся на два типа, контрастные по многим параметрам:

- сформированные за счет переработки и переотложения древних докембрийских алмазоносных пород – филлитов, метаконгломератов и др. (штат Минас-Жерайс, кратон Сан-Франциско);
- образованные за счет размыва кимберлитовых тел и россыпей позднемелового возраста (штат Мату-Гроссу, Амазонский кратон).

Для первого, наиболее распространенного типа россыпей, характерны высокое качество и стоимость алмазов (140–160 и более долл./кар) и отсутствие традиционных генетических спут-

ников алмаза. В россыпных месторождениях второго типа присутствует весь набор МСА, стоимость камней существенно ниже (35–45 долл./кар.). Различаются алмазы также по морфологическим особенностям, изотопным характеристикам и т. д.

Древние алмазоносные конгломераты района Диямантина являлись источником алмазов для четвертичных россыпей данного региона.

Наиболее древние из реально существующих россыпеобразующих алмазоносных пород относятся к супергруппе Эспиньясо (конгломераты, филлиты). Эти образования имеют континентально-рифтогенное происхождение и датируются по цирконам интервалом 1850–1000 млн лет [6]. Наиболее алмазоносными в этой супергруппе являются отложения свиты Сопа-Брумадинью, с выходами которых в основном и коррелируется продуктивность четвертичных долинных россыпей. Относительно детальное изучение минералогических особенностей протерозойских алмазоносных конгломератов выполнено нами на площади Диямантина [2]. Согласно преобладающему мнению первоисточником алмазов в мезо-неопротерозойских метаконгломератах являются полностью денудированные на кратоне Сан-Франциско архей-палеопротерозойские коренные источники.

Четвертичные россыпи алмазов штата Минас-Жерайс. Наиболее известный россыпной объект района – река Жекитиньонья. Здесь обнаружены алмазы при добыче золота еще несколько столетий назад.

Алмазоносным здесь является весь долинный комплекс фаций – русло, пойма, террасы. Добываемые в Диямантине алмазы из четвертичных россыпей характеризуются высоким выходом ювелирных разностей (около 80 %).

Парагенетические минералы-спутники алмаза практически отсутствуют. Отдельные находки пиропов здесь связывают с палеозойскими и мезозойскими неалмазоносными кимберлитами. Поисковую ситуацию можно сравнивать с россыпями Эбеляхского района Якутской алмазоносной провинции. Миграционными спутниками алмазов являются ставролит, турмалин, дистен, монацит, ксенотим, циркон.

Алмазоносная провинция Жуина – кимберлиты и россыпи мелового возраста, четвертичные россыпи. В 2000–2007 гг. канадской юниорной компанией Diagem в штате Мату-Гроссу выявлены позднемеловые алмазоносные кимберлиты и россыпи (кимберлитовая провинция Жуина). В настоящее время в регионе известно семь кимберлитовых полей, в пределах которых обнаружены 47 трубок и четыре дайки; содержания алмазов в кратерных частях диатрем 0,2–1,2 кар/т. [5]. Коренные источники пока не разрабатываются. Полевое и лабораторно-аналитическое изучение позднемеловых россыпей, разрабатываемых мелкими компаниями, показывает, что они имеют аллювиально-пролювиально-озерное происхождение и по ряду параметров аналогичны некоторым юрским россыпям Якутии [3]. Четвертичные россыпи известны практически во всех реках региона. На некоторых участках содержания алмазов ураганные, выход ювелирных камней около 10%. Алмазоносным является весь долинный комплекс фаций.

Промышленно-алмазоносный кимберлитовый комплекс Брауна. В Бразилии среди многочисленных кимберлитовых тел промышленно-алмазоносными, которые в настоящее время разрабатываются, являются наиболее древние. Это кимберлитовый куст Брауна – три трубки и 19 даек, которые локализованы на кратоне Сан-Франциско, штат Баия, возраст их неопротерозойский (620 млн лет). По изотопно-геохимическим и минералогическим особенностям они занимают промежуточное положение между кимберлитами 1-й и 2-й групп Южной Африки. Бразильские геологи относят их к кимберлитам-оранжеитам. По вещественным особенностям они аналогичны кимберлитам Гуаниамо Венесуэлы, однако условия локализации их в земной коре разные [1, 4].

Бразилия продолжает оставаться интереснейшим полигоном для изучения эндогенной алмазоносности и экзогенной истории эволюции территории. В этой связи приведенные данные имеют практическое значение.

Список литературы:

1. Каминский Ф. В. Слоистая система пластовых залежей кимберлитов Гуаниамо в Венесуэле – новый тип алмазных месторождений // Материалы IX Международной научно-практической

- конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ. – 2019. – С. 21–22.
2. Подвысоцкий В. Т., Остафийчук Н. Н. Древние алмазоносные конгломераты района Дияман-тина, штат Минас-Жерайс, Бразилия // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ. – 2019. – С. 37–38.
 3. Подвысоцкий В. Т., Башинский С. И. Некоторые новые данные о меловых алмазоносных конгломератах кимберлитовой провинции Жуина (штат Мату-Гроссу, Бразилия) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. – 2015. – № 2. – С. 73–76.
 4. Donatti-Filho J. P. [et. al.] Age and origin of the Neoproterozoic Brauna kimberlites: Melt generation within the metasomatized base of the Sao Francisco craton, Brazil // Chemical Geology. – 2013. – № 353. – P. 19–35.
 5. Kaminsky F. V. [et. al.] Kimberlitic sources of super-deep diamonds from in the Juina area Mato Grosso State Brazil // Lithos. – 2010. – V. 114. – P. 833–842.
 6. Martins-Neto M. A. Tectonics and sedimentation in a paleo/mesoproterozoic rift-sag basin // Precambrian Research. – 2000. – № 103. – P. 147–173.

Позднякова Н. Н., Яблокова С. В. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ТИПОМОРФИЗМ ЗОЛОТА АЯХИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Типоморфные признаки золота (морфология, гранулометрия, вариации пробности, элементы-примеси, состав микровключений, внутреннее строение и окатанность) россыпей Аяхтинского рудно-россыпного узла и сопоставление их между собой позволили установить близкую связь россыпей с коренными источниками золотокварцевого типа, проявление в них двух стадий продуктивной минерализации (ранней висмут-полиметаллической с высоко- и среднепробным золотом и поздней – с низкопробным золотом), разную глубину их эрозионного среза. Неоднократное выделение золота, постоянство его признаков свидетельствуют об устойчивом обогащении золотом коренных источников на глубину.

Ключевые слова: типоморфизм, золото, россыпь.

Для установления рудно-формационного типа коренных источников, питающих россыпи в Аяхтинском рудно-россыпном узле (Северо-Енисейский рудно-россыпной район), приуроченном к центральной металлогенической зоне Енисейского края, их вероятного местоположения и уровня эрозионного среза изучены типоморфные признаки самородного золота россыпей р. Олонкон, р. Красавица, руч. Коровий Лог.

Золотое оруденение узла концентрируется в отложениях сухопитской серии (кординская свита) рифея в экзоконтакте Аяхтинского гранитоидного массива, а наиболее продуктивная часть локализуется в углеродсодержащих терригенных отложениях верхнего протерозоя, регионально метаморфизованных в условиях биотитовой фации зеленосланцевого метаморфизма.

Золото россыпей Аяхтинского рудно-россыпного узла отличается сходством основных признаков при их незначительных вариациях. По гранулометрическим показателям оно мелкое и среднее. Отмечаются самородки до 77 г. В классе +1 мм широко распространены гемиидиоморфные разности неправильных комковидно-удлиненных форм, с ограниченными выступами или фрагментами дендритного роста, с включениями зерен кварца и гидроксидов железа. Для золотин меньше 0,5 мм характерно преобладание идиоморфных выделений – кристаллов изометричных и удлиненных, полногранных и скелетных, а также кристаллических сростков. В незначительном количестве им сопутствуют губчатые и ячеистые комковидные частицы. Уплотненность золотин слабая ($K_y=1-5$).

Пробность (%) золота в россыпях варьирует в широких пределах (710–960) с двумя максимумами: 850–870 и 915–925. В россыпи р. Олоннокон отчетливо выражены максимумы пробности 800–850 (50 %), 901–960 (35 %); в р. Красавица при преобладании золота пробности 920–950 (45 %) и 800–850 (40 %) присутствует низкопробное 710–750 (15 %); аналогичная пробность характерна для золота россыпи руч. Коровий Лог.

Золото обладает близким составом элементов-примесей: постоянно присутствуют Cu, Bi, As, Sb, Hg, Pb, эпизодически Te. В россыпи р. Красавица в золоте средней пробности обнаружены микровключения ($0,01 \times 0,006$ мм) самородного висмута.

Внутреннее строение золотин определяется их составом. Структура высокопробного золота монокристаллическая и крупнокристаллическая, средней пробности – пятнисто-неоднородная. Для золота высокой и средней пробности характерны признаки глубоких метаморфических преобразований (пятнистая неоднородность, участки дезинтеграции, диффузионные зоны), способствующих выносу серебра и значительному повышению пробности (до 920–950).

Низкопробное золото монокристаллического зонального строения наблюдается в виде второй генерации, образующей сростания с более ранним высокопробным и среднепробным золотом, а также самостоятельных губчатых выделений. Зональное строение и серебристый состав этого золота дают основание предполагать его отложение в условиях относительно малых глубин (Николаева Л.А., Гаврилов А.М. и др., 2015).

Различное проявление стадийности при формировании коренных источников Аяхтинского узла, отраженное в составе и структуре россыпного золота, может свидетельствовать о разной глубине их эрозионного среза.

Отсутствие окатанности золота в россыпи р. Олоннокон и ограниченное проявление ее в бассейне руч. Коровий Лог и р. Красавица, в основном в устьевых частях этих водотоков, показывает близкую связь россыпей с коренными источниками.

Таким образом, морфология, гранулометрия, вариации пробности, состав элементов-примесей и микровключения, внутреннее строение и окатанность золота указывают на две стадии минералообразования золотокварцевых рудопроявлений: раннюю с высоко- и среднепробным золотом висмут-полиметаллической ассоциации и позднюю с низкопробным золотом.

Постоянство признаков золота, отсутствие его гипергенных преобразований дает основание для прогнозирования оруденения на глубину. Стадийный характер оруденения позволяет отнести коренные источники к разряду относительно крупных по запасам объектов.

Попов А. Г. (ПГНИУ)

АЛМАЗОНОСНОСТЬ УРАЛА – XXI ВЕК

Приведено краткое обобщение алмазности Урала. Дана характеристика уральского алмаза. Перечислены геолого-промышленные типы уральских россыпей алмазов. Выделены две алмазные области. Показаны остаточные запасы и официальные прогнозные ресурсы алмазов Урала.

Ключевые слова: алмаз, алмазность, россыпи, Урал.

Алмазность Урала известна с XIX и хорошо изучена в XX веке. Добывались алмазы со второй половины XX до первых десятилетий XXI века, до 2014 г. Уральский алмаз – это прозрачный бесцветный или желтоватый додекаэдроктаэдр средней массой 0,3 кар (60 мг) размером 2–3 мм [2–6]. Средняя масса алмазов промышленных россыпей – 0,5–1,0 карат. В 2002 г. был найден алмаз с максимальной массой в 35 карат [5], распилен и удачно продан. Коренные источники алмазов Урала не установлены, не смотря на попытки выдать желаемое за действительное. Геолого-промышленные типы уральских россыпей: 1) древние россыпи, коллекторы алмазов кластических толщ палеозоя; 2) мезо-кайнозойские россыпи делювиальных отложений депрессий и переглубленных долин; 3) плейстоцен-голоценовые аллювиальные россыпи [2–6].

Предлагаемые первоисточники алмазов по сути являются либо отложениями россыпей 1-го или 2-го типа, либо известными магматическими образованиями, отнесенными к лампроит-ким-белитовым породам, но без промышленных содержаний алмазов [1].

Ранее автор выделял Урало-Тиманский алмазоносный минерагенический пояс с Уральским и Тиманскими алмазоносными зонами [6]. По Государственной геологической карте масштаба 1:1000000 на Урале можно выделить две алмазоносные области, по административно-географическим условиям – Пермскую и Башкирскую [1]. На севере (лист R-41) алмазоносность представлена импактными алмазами Карской астроблемы, другая, вне выделяемых областей, связана с находками единичных алмазов или их обломков с размерами в десятки миллиметра. Протяженность алмазоносных областей вдоль Урала составляет 420 и 400 км, ширина – 50–150 км. Области разделены пустым по алмазоносности пространством протяженностью 100 км по широте 56–57°. Западная граница областей проходит по границе Восточно-Европейской платформы с Уральским складчатым поясом, восточная – по Центрально-Уральскому поднятию. Алмазоносность изменяется с увеличением содержания и крупности алмазов с юга на север, что характерно и для распределения алмазоносности внутри областей. Пермская алмазоносная область имеет северо-западное продолжение по россыпям Ручкугель и Ичетью в направлении Архангельской алмазоносной провинции – это Тиманская алмазоносная зона. Масса алмазов также увеличивается с юга на север от первых миллиграммов до 0,3–200 мг (от алмазной «пыли» до карата). Самые крупные алмазы сосредоточены на севере Пермской алмазоносной области. Содержание ювелирных алмазов – 70–80 %. По хорошей отсортированности, преобладанию массы над содержаниями алмазы являются прибрежно-морскими, а их пространственное распределение – границей древнего моря. Первоисточники алмазов находятся либо в докембрийском фундаменте платформы на расстоянии 100–150 км западнее, либо в докембрийском автохтоне передовых складок Урала. Геодинамика Урала может решить этот вопрос.

Запасы и прогнозные ресурсы алмазов установлены только для Пермской алмазоносной области. На Государственном балансе запасов числится около 0,7 млн кар запасов алмазов. Часть запасов является техногенными россыпями, часть – оставшимися запасами от разработок, и только третья – нетронутыми запасами. По данным государственной геологической съемки Урала, прогнозные ресурсы алмазов составляют 89 млн кар [1]. Это значение, скорее всего, завышено, но является официальным.

Россыпи 3-го геолого-промышленного типа почти все отработаны, остаточные запасы учитываются по этим россыпям. Перспективными и неразведанными являются россыпи 1-го и 2-го геолого-промышленных типов.

Список литературы:

1. Государственная геологическая карта (ГГК) РФ. Листы R-40; R-41; Q-40; Q-41; P-40; P-41; O-40; O-41; N-40; N-41; M-40; M-41. Масштаб 1:1 000 000. Объяснительная записка. – ВСЕГЕИ, 2005.
2. Попов А. Г. Алмазоносность и тектоника Урала. Краткое обобщение государственного геологического картирования // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – Пермь : ПГНИУ, 2020. – С. 18–25.
3. Попов А. Г. Алмазоносность уральского типа и ее история // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении : сборник научных статей. – Пермь : ПГНИУ, 2005. – С. 158–161.
4. Попов А. Г. Алмазы Урала: краткое обобщение геологического изучения и разработок // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – Пермь : ПГНИУ, 2019. – С. 64–75.
5. Попов А. Г. Россыпи алмазов Урала // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: www.science-education.ru/120-16553. – (дата обращения : 24.03.2021).
6. Попов А. Г., Пактовский Ю. Г., Осовецкий Б. М. Перспективы алмазоносности Пермского края // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АО «АЛРОСА». – Мирный, 2018. – С. 44–48.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ЗОЛОТО, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО МЕХАНИЗМУ «ЗАЯВИТЕЛЬНОГО ПРИНЦИПА»

Приведены результаты деятельности недропользователей на золото в рамках действия механизма «заявительного принципа». Рассмотрены динамика подачи заявок, выдачи лицензий, объемы планируемых и фактических инвестиций и прирост запасов золота. Отмечены основные проблемы реализации механизма «заявительного принципа».

Ключевые слова: золото, заявки, лицензии, «заявительный принцип», геологическое изучение недр, проекты, инвестиции, финансирование, прирост запасов.

В 2014 г. в приказ Минприроды России № 61 от 16 марта 2005 г. были внесены изменения, позволяющие получать в пользование участки недр, по которым отсутствуют данные о наличии запасов полезных ископаемых (ПИ) и прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 , в целях геологического изучения за счет собственных средств недропользователей. В рамках совершенствования нормативно-правовой базы в 2016 году приказ № 61 утратил действие в связи с вступлением в силу приказа Минприроды России от 10.11.2016 № 583, в котором были подробнее прописаны механизмы получения права пользования недрами в целях геологического изучения недр (ГИН).

Ведущийся мониторинг показывает, что наибольший интерес недропользователей сосредоточен на золоте, как наиболее ликвидном виде ПИ (ФГИС «АСЛН», <https://asln.rosnedra.gov.ru>). За период действия механизма «заявительного принципа» с 2014 по 2020 гг. доля золота составила почти 85 % (более 9,8 тыс. заявок) от всего количества поданных заявок на твердые ПИ (ТПИ). В 2019 г. произошел резкий рост количества заявок на ГИН на золото, который был обусловлен отменой ограничения на наличие в пределах площади планируемых работ прогнозных ресурсов кат. P_1 и P_2 на территориях Дальневосточного ФО, Арктической зоны РФ и Иркутской области.

Сравнение исходных данных показало, что около 48 % поданных заявок после рассмотрения удовлетворяются. На начало 2021 г. были удовлетворены 4273 заявки. Основными причинами отклонения заявок являются наличие в запрашиваемых границах участков недр, которые уже предоставлены в пользование, и наличие помимо прогнозных ресурсов кат. P_1 и P_2 также и запасов ПИ. На начало 2021 г. было выдано 4023 лицензии на право пользования недрами по «заявительному принципу» на золото. Среди действующих лицензий, выданных по «заявительному принципу», 78 % приходится на территорию Дальневосточного ФО.

Из общего числа выданных лицензий по «заявительному принципу» около 2,5 тыс. проектов на проведение работ по ГИН на золото получили положительное заключение экспертизы, из них 16 % проектов приходится на золото коренное и 84 % на золото россыпное. Суммарный объем планируемых инвестиций по ним составил 146 млрд руб. (распределение между коренным и россыпным золотом – 40 и 60 % соответственно). Максимальные показатели по проектам и планируемым инвестициям приходятся на 2020 г.

С начала действия механизма «заявительного принципа» объемы механического колонкового бурения (МКБ) и поверхностных горных работ (ПГР) на золото ежегодно росли в соответствии с ростом количества выдаваемых лицензий по «заявительному принципу» на право пользования недрами. Объемы МКБ увеличились с 5,3 тыс. м в 2015 г. до 150 тыс. м в 2019 г. Объемы ПГР выросли с 0,08 тыс. м³ в 2015 г. до 454 тыс. м³ в 2018 г. и незначительно сократились в 2019 г. до 326 тыс. м³. По предварительным результатам работ за 2020 г. и последующие годы ожидается увеличение объемов работ.

Объем фактического финансирования ГРР на золото по механизму «заявительного принципа» за период с 2014 по 2020 гг. составил 13,8 млрд руб. Затраты недропользователей характеризуются положительной возрастающей динамикой. Так, показатель 2020 г. более чем в 2 раза превысил показатель 2019 г. Аналогичное увеличение ожидается по результатам работ в 2021 г., что объясняется ежегодно растущим количеством выдаваемых лицензий данного вида. Доли коренного и россыпного золота в суммарном объеме затрат на ГРР на золото по «заявительному прин-

ципу» за период с 2014 по 2020 гг. составляют 49,5 и 50,5 % соответственно. При этом, в 2020 г. на коренное золото пришлось 55 %, а на россыпное золото — 45 % от затрат на ГРР на золото по указанному виду лицензий. Дальневосточный ФО среди остальных округов является ведущим — 70 % по объему финансирования работ по «заявительному принципу» на золото.

Прирост запасов является одним из основных результатов работ по геологическому изучению участков недр. Прирост балансовых запасов (кат. $ABC_1 + C_2$) золота от деятельности недропользователей на участках недр, полученных по «заявительному принципу» за время действия механизма, на 01.01.2021 г. составил 52,6 т и был получен на 144 участках недр по 107 лицензиям. При этом 2020 г. характеризуется значительным объемом прироста запасов золота — 38,2 т. Среди объектов, прошедших государственную экспертизу, на золото коренное приходится 67 % от всего прироста балансовых запасов золота, которое было обеспечено на 5 участках недр.

Проведенный анализ также показал, что по результатам деятельности недропользователей в рамках механизма «заявительного принципа» выдано 77 лицензий на разведку и добычу золота.

При общем положительном эффекте развития механизма «заявительного принципа» выделен ряд проблем. К числу основных можно отнести: продолжительная процедура согласования с органами исполнительной власти документов при рассмотрении заявок на ГИН; нежелание инвесторов вкладывать средства в объекты со слабой геологической обоснованностью; недостаточный государственный геологический контроль за выполнением проведения поисковых и оценочных работ по лицензиям «заявительного принципа», т. к. многие недропользователи не предпринимают активных действий по производству ГРР; отсутствие у некоторых недропользователей собственной геологической службы, в связи с чем отмечается низкое качество ГРР; также существует проблема доступа недропользователей к актуальной геологической информации, на что указывают причины отказа при рассмотрении заявок на ГИН.

Резюме. Объем заявок и выдачи лицензий на золото дают основания предполагать, что в перспективе объемы и финансирование работ по «заявительному принципу» продолжат увеличиваться, в связи с чем следует ожидать, что прирост запасов будет выше предыдущих лет. Кроме того, постоянно ведется работа по совершенствованию нормативно-правовой базы в отношении механизма «заявительного принципа» и недропользования в целом, что также может стимулировать повышение качества и результатов работ.

Поцелуев А. А.¹, Ананьев Ю. С.², Житков В. Г.^{2,3} (¹ ООО «КосмоГеопроект», ² Томский политехнический университет, ³ Томский государственный университет)

МАТЕРИАЛЫ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ИССЛЕДОВАНИИ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАГЕНИИ БОЛЬШОГО АЛТАЯ

Приведены результаты анализа материалов современных космических съемок (МКС) по территории Рудного Алтая и Западно-Калбинской металлогенической зоне, включая более детальные исследования рудных районов и месторождений на территории России и Казахстана. Показано, что Рудный Алтай является составным элементом Алтай-Монгольского мегашива, прослеживаемого по территории Монголии, Китая, Казахстана и России. По данным структурно-вещественного анализа МКС установлено развитие минералогических ореолов в известных полиметаллических и золоторудных полях и месторождениях.

Ключевые слова: Большой Алтай, материалы космических съемок, структурно-вещественный анализ, геология, минерагения.

Большой Алтай (БА) характеризуется многообразием геологических обстановок, наличием многочисленных месторождений различного масштаба и рудноформационной специализации. Многие минерагенические зоны и области, имея значительные размеры, оказываются на терри-

ториях сопредельных государств – России, Казахстана, Китая и Монголии. Это определяет необходимость анализа в первую очередь материалов космических съемок, которые без ограничения могут быть использованы на всей территории БА как для создания основы региональных мелко-масштабных исследований, так и решения детальных поисково-разведочных задач.

Нами по заказу различных организаций России (в том числе ЦНИГРИ) и Казахстана по материалам современных МКС выполнены исследования полиметаллических, редкометалльных и золоторудных районов и месторождений БА. Наряду с изучением основных геологических структур и соответствующих факторов рудоконтроля выполнено исследование характера развития минеральных ассоциаций, сопутствующих рудогенезу. В результате этих работ сформировалось новое направление – структурно-вещественный анализ материалов космических съемок.

Разномасштабные космогеологические работы по изучению Рудного Алтая в последние годы позволили установить, что он является составным элементом тектонической структуры глобального масштаба, названной Алтай-Монгольским мегашвом [2–4]. Данная геологическая система имеет общее северо-западное простирание и прослежена на расстояние в 2500 км по территории западной Монголии, северного Китая, восточного Казахстана и России. Ширина выхода структуры на дневную поверхность достигает 700 км. Алтай-Монгольский мегашов представляет собой иерархически самоподобную линзовидно-блоковую геологическую систему. Размеры тектонических линз первого порядка достигают 700×400 км. Тектонические линзы представляют собой относительно жесткие блоки, а межлинзовое пространство выполнено относительно пластичными ассоциациями горных пород. Рудный Алтай в целом представляет собой в данной мегасистеме межблочную зону пластических деформаций для линз I иерархического уровня.

Основные космогеологические структуры Рудного Алтая представлены Главной тектоно-металлогенической зоной северо-западного простирания, тектоническими линзами (глыбовые массивы), входящими в состав Главной зоны, Северо-Восточной зоной смятия, деформационно-метаморфическими рудоконтролирующими зонами, субширотными сбросо-сдвиговыми структурами и кольцевыми и дуговыми структурами различного генезиса.

Известные районы Рудного Алтая располагаются в Главной тектоно-металлогенической зоне, в пределах деформационно-метаморфических («рудоконтролирующих» металлогенических) зон, в тенях давления тектонических линз, во внутренних частях вулканогенных или комбинированных кольцевых структур.

В российской части Рудного Алтая по комплексу признаков выделены ореолы развития минеральных образований, имеющих, по-видимому, метасоматическую природу. По спектральным характеристикам МКС эти образования достаточно четко разделяются на два типа, отнесенных нами к пропилитам и березитам. Наиболее крупные ореолы пропилитов развиты в районах известных месторождений полиметаллов (Рубцовское, Змеиногорское, Золотушинское и др.). Березиты занимают локальные участки внутри ореолов пропилитизации.

В Западно-Калбинской металлогенической зоне отчетливо проявлены космоструктуры линейной и кольцевой морфологии. По их закономерному сочетанию выделены четыре очаговые структуры, в контурах которых закономерно располагаются известные рудные поля (Кызыловское, Боко-Васильевское, Суздальское, Джумбинское, Баладжальское, Миалинское и др.). Космоспектральный анализ показал, что в пределах очаговых структур выделяются участки округлой формы диаметром 10–25 км, которые фиксируют надинтрузивные купола окварцевания. К красным частям таких куполов тяготеют известные месторождения и рудопроявления [1].

На основе структурно-вещественного анализа МКС детального уровня генерализации определены главные признаки месторождений и рудных зон: участки и линейные зоны со значимыми величинами серицит-мусковит-глинистого минерального индекса, с локальными участками высоких значений индекса «Железная шляпа», окруженные высокими показателями индексов трехвалентного железа. В то же время структурно-вещественное дешифрирование спектрозональных снимков Aster позволило установить основные признаки проявления рудных полей. К таковым отнесены: системы телескопированных кольцевых структур диаметром 1,5–32 км в узлах сопряжения продольных, поперечных и диагональных разломов; сближенные линейные зоны со следами гидротермальной деятельности, выделенные по значимым величинам кварцевого и серицит-мусковит-глинистого индексов, в ореолах высоких значений индексов трехвалентного железа.

Список литературы:

1. Ананьев Ю. С., Поцелуев А. А., Житков В. Г. Космоструктурные модели золоторудных объектов Западной Калбы // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 1. – С. 35–41.
2. Житков В. Г., Ананьев Ю. С., Поцелуев А. А. Закономерности геологического строения и металлогении Рудноалтайской сдвиговой зоны на основе анализа современных мультиспектральных космических снимков / Корреляция алтаид и уралид: магматизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения : материалы третьей Международной научной конференции – Новосибирск : ИГиМ СО РАН, 2016. – С. 76–78.
3. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г. [и др.]. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска МПИ (на примере Рудного Алтая). – 2-е изд., доп. и испр. – Томск : STT, 2010. – 228 с.
4. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г. Рудные районы Большого Алтая в материалах космических съемок // Корреляция алтаид и уралид: глубинное строение литосферы, стратиграфия, магматизм, метаморфизм, геодинамика и металлогения : материалы Четвертой Международной научной конференции. – Новосибирск : ИГиМ СО РАН, 2018. – С. 117–119.

**Прийменко В. В.^{1,2}, Глухов А. Н.² (¹ Магаданский филиал АО «Полиметалл УК»,
² СВКНИИ ДВО РАН)**

КВАДРАТНЫЕ СЕТИ ЛИТОХИМИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ КАК ОПТИМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И РАННИХ СТАДИЯХ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Обосновывается целесообразность изометричных сетей литохимического опробования на ранних стадиях поисковых работ. Это обусловлено появлением современных методик геохимических поисков по сорбционно-солевым ореолам и прецизионных технологий лабораторных анализов.

Ключевые слова: поисковые работы, литохимическое опробование, геометрия, сеть.

Из практики геологоразведочных работ известно, что коэффициент успеха работ «полного цикла» (от регионального прогнозирования до строительства горного предприятия) составляет менее 0,01. То есть из 100 поисковых объектов промышленным месторождением становится в лучшем случае только один [12].

Важным вопросом в этом контексте является выбор оптимальных методик поисковых работ. Как показывает практика, современные методики геохимических поисков, ориентированные на выявление сорбционно-солевых ореолов рассеяния, часто встречаются непонимание со стороны поисковиков. Они касаются как собственно объекта опробования и аналитических методов, так и геометрии и плотности поисковой сети.

Вторичные литохимические ореолы рассеяния рудных объектов в зависимости от их взаимоотношений со вмещающими рыхлыми отложениями подразделяются на остаточные и наложенные, а по формам нахождения элементов – на механические и сорбционно-солевые [8]. Наиболее давнюю историю имеет и по сию пору наиболее распространена методика поисков по остаточным механическим ореолам рассеяния. В то же самое время в последние 20 лет при литохимических поисках, прежде всего в сложных ландшафтно-геохимических обстановках, широкое применение получили методы, основанные на изучении солевых ореолов. Последние могут формироваться в результате различных процессов: газово-конвективной пузырьковой миграции, диффузии, капиллярного эффекта, ионной миграции под действием естественных электрических полей и биогенных процессов [11]. Наибольшее распространение получили созданная компанией SGS технология MMI, разработанные в Китае методики NAMEG и MOMEО [14] и созданные в нашей стра-

1. Расчет вероятности выявления объекта при разных плотностях сети литохимического опробования

Сеть	Параметры ячейки сети				Вероятность выявления объекта
	Площадь, км ²	Число проб, шт	Длина, км	Ширина, км	
200 × 40 м	0,008	12,5	0,2	0,04	1,00
200 × 50 м	0,0125	8	0,25	0,05	1,00
250 × 250 м	0,0625	4	0,25	0,25	0,98
500 × 500 м	0,25	1	0,5	0,5	0,63

2. Сопоставление затрат на лабораторные анализы при различных сетях литохимического опробования

Объект	Площадь, км ²	Число проб		Общая стоимость лабораторных работ, руб.	
		250 × 50 м	250 × 250 м	250×50 м	250×250 м
1	84	6744	1349	5 786 352	2 225 520
2	53	4232	846	3 631 056	1 396 560
Всего	137	10976	2195	9 417 408	3 622 080

не МАСФ [10] и ионно-сорбционный метод [5]. Все они ориентированы в первую очередь на закрытые и полузакрытые территории, характеризующиеся большой мощностью перекрывающих ору-денение рыхлых отложений различного генезиса. На таких территориях традиционные методы литохимических поисков, ориентированные на остаточные механические вторичные ореолы рассеяния и регламентированные «Инструкцией...» [2], неэффективны. Сущность рассматриваемых методов заключается в выделении из проб рыхлых отложений сверхтонкой (менее 10–50 мкм) фракции с последующим переводом в раствор сорбционно-солевых форм нахождения элементов и их анализом прецизионными количественными методами (ICP MS).

Поиски по сорбционно-солевым ореолам позволяют выявлять, в том числе, ореолы рассеяния, погребенные под чехлом дальнепринесенных отложений мощностью до 100 м. Как следует из природы вторичных ореолов рассеяния, их *механические формы всегда должны сопровождаться солевыми*. Вопреки распространенному заблуждению, условия криолитозоны не являются препятствием для ионной миграции химических элементов [7]. Как показали соответствующие исследования, во вторичных ореолах меди в условиях Северо-Востока России от 30 до 70 % соединений меди представлено подвижными формами, в том числе сорбированными, связанными органикой и окислами железа [4]. Поэтому рассматриваемые методы позволяют выявлять ореолы и на открытых ландшафтах и, таким образом, являются универсальными.

Скептицизм относительно изометричных сетей литохимического опробования и абсолютизации прямоугольных сетей во многом является следствием провинциализма отечественной поисковой геологии и ее изолированности от зарубежного опыта. В мировой практике применение изометричных сетей и их эффективность давно даже не обсуждается, эти вопросы были решены в 1960–80 годы. [13].

В этом контексте наиболее часто встречается мнение, что «разреженной квадратной сетью можно пропустить месторождение». С точки зрения методологии геологоразведочных работ оно представляется абсурдным, так как объектом среднемасштабных поисковых работ являются [1] рудные поля и месторождения, размеры которых (соответственно, десятки и единицы км²) намного превышают размеры ячейки сетей 500 × 500 и тем более 250 × 250 м [7]. Но даже если принять правомерность данных сомнений, то они легко развеиваются элементарным расчетом вероятности выявления объекта сетями разной геометрии и плотности, выполненным по известной формуле А. М. Шурыгина, содержащейся в «Справочнике...» [8]. Он сделан на примере малого (запасы золота менее 5 т) золоторудного месторождения с маломощными (до 3 м) рудными телами протяженностью менее 1 км и общей площадью рудного поля менее 1 км² (табл. 1). Как видно из таблицы, даже столь незначительный по площади объект сетью 500 × 500 м выявляется с боль-

шой вероятностью. По опыту авторов, в практике геохимических поисков золоторудных объектов по солевым ореолам в Шаманихо-Столбовском [9], Омсукчанском и Северо-Эвенском районах сетью 250×250 м уверенно выявлялись рудные тела мощностью в первые метры и протяженностью менее 200 м. К примеру, площади рудных полей медно-порфировых месторождений и сопровождающих их АГХП, как правило, намного превышают 10 км^2 , а рудных тел – $0,5\text{--}1 \text{ км}^2$ [3]. Такие объекты уверенно выявляются уже при сети опробования $2 \times 2 \text{ км}$ (!).

Применение изометричных сетей литохимического опробования позволяет опосредованно искать большие площади меньшим количеством проб и таким образом существенно сокращать затраты времени, трудовых и финансовых ресурсов (табл. 2).

Список литературы:

1. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полужакрытых территориях / Роснедра ; ВСЕГЕИ ; ИМГРЭ ; ГМК «Норильский никель». – СПб. : ВСЕГЕИ, 2005. – 98 с.
2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / А. П. Григорян, М. Ф. Кузин, А. П. Соловов. – М. : Недра, 1983. – 191 с.
3. Кудрявцев Ю. К., Третьякова Е. Н. Сальникова А. Е., Рахимипур Г. Геолого-геохимические модели разноранговых рудных объектов (Au)-Мо-Си-порфирового семейства. – М. : ИМГРЭ, 2012. – 142 с.
4. Лубкова Т. Н., Яблонская Д. А., Шестакова Т. В. Фракционный состав меди во вторичных ореолах медно-порфировых и полиметаллических месторождений Западной Чукотки // Тезисы докладов 14-й Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М. : РГГРУ, 2019. – С. 310–313.
5. Миляев С. А., Кряжев С. Г., Виленкина Ю. И. Поиски полиметаллических месторождений в сложных ландшафтно-геологических обстановках по их наложенным ореолам рассеяния // Роль и место мелко-и среднемасштабных геохимических работ в системе геологического изучения недр : материалы Всероссийской научно-практической конференции (6–7 ноября 2018 г.). – М. : ИМГРЭ, 2018. – С. 75–76.
6. Питюлько В. М. Вторичные ореолы рассеяния в криолитозоне. – Л. [СПб.] : Недра, 1977. – 197 с.
7. Рудные узлы России / под ред. Е. В. Плющева. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2001. – 416 с.
8. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А. П. Соловов, А. Я. Архипов, В. А. Бугров [и др.] ; под ред. А. П. Солововой. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
9. Соколов С. В., Глухов А. Н., Макарова Ю. В. Геохимические поиски рудного золота методом анализа сверхтонкой фракции на Шаманихо-Столбовской площади (Магаданская область) // Интерпретация и оценка разноранговых геохимических аномалий в сложных ландшафтно-геологических условиях : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – М. : ИМГРЭ, 2013. – С. 85–86.
10. Соколов С. В., Макарова Ю. В., Юрченко Ю. Ю. Метод анализа сверхтонкой фракции: результаты, эффективность // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 8. – С. 54–58.
11. Соколов С. В., Приходько Е. Ф., Марченко А. Г., Володько С. А. Концептуальная модель формирования наложенных сорбционно-солевых и нанохимических ореолов // Региональная геология и металлогения. – 2015. – № 61. – С. 111–114.
12. Enders S., Saunders C. Discovery, innovation, and learning in the mining business. New ways forward for an old industry // Society of Economic Geologists Newsletter. – 2011. – № 86. – P. 15–23.
13. Levinson A. A. Introduction to exploration geochemistry. Supplement. – USA : Wilmette, 1980. – 924 p.
14. Wang Xueqiu. Leaching of mobile forms of metals in overburden: Development and applications // Journal of Geochemical Exploration. – 1998. – № 61. – P. 39–55.

АРХИПЕЛАГ СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ – МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЙ ФОРПОСТ
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Архипелаг Северная Земля является северо-восточным окончанием Таймыро-Североземельской золотоносной минерагенической провинции, располагаясь в пределах Хутудинско-Большевицкой и Североземельской минерагенических мегазон. В их пределах установлены месторождения и проявления формаций: золотоносных россыпей, золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой, золото-сульфидной, золото-редкометалльной, медно-молибден-порфировой, золото-мышьковисто-медноколчеданной, железозоокисной с редкими землями, медистых песчаников.

Ключевые слова: Северная Земля, минерагенические зоны, потенциальные рудные узлы, россыпи, золото, медь, олово, битумопроявления.

Архипелаг Северная Земля является новым перспективным минерально-сырьевым сухопутным центром на трассе Северного морского пути. Изучение минерагенического потенциала островов – главная геологическая задача для скорейшего их вовлечения в промышленное освоение.

Архипелаг представляет собой крайнее северо-восточное окончание Таймыро-Североземельской золотоносной минерагенической провинции. В соответствии с тектоническим и минерагеническим районированием [4, 6, 7] он располагается в пределах Хутудинско-Большевицкой и Североземельской минерагенических мегазон Северотаймыро-Североземельской минерагенической системы Северо-Карского микроконтинента Арктиды (рисунок).

В пределах *Хутудинско-Большевицкой мегазоны*, охватывающей позднерифейско-вендские (раннекембрийские?) образования тиманид о. Большевик и восточной части о. Октябрьской Революции, установлены месторождения и проявления формаций золотоносных россыпей (Студеная, Голышева, Левая Нора, Лагерная, Скалистая, Логинова и Ковалева, Каменка, Тора), золото-кварцевой (Нижнелиткенское, Грозненское, Лагернинское, Васильевское и др.), золото-сульфидно-кварцевой (Первое, Грязнуха и др.), золото-сульфидной (Голышевское, Ковалевское) в терригенных углеродистых комплексах. Основной контроль золоторудных формаций осуществляется метаморфизмом вмещающих толщ не выше зеленосланцевой фации. В связи с докембрийскими (?) аллохтонными гранитами и лейкогранитами (кропоткинский комплекс) выявлены проявления золото-редкометалльной формации с золотосодержащими минеральными ассоциациями: молибденит-висмутиновой, арсенопиритовой в грейзенизированных гранитах (Мартовское, Никитинское, Мордовинское, мысов Оловянный, Массивный, гор Туманных) и серебро-касситерит-сульфидной на удалении от гранитов (Дайковое, Студенинское, Озернинское и др.). В связи с позднепалеозойскими раннекаменноугольными гранитоидами (солнечнинский, таймырский комплексы), образующими меридиональный пояс в центральной части о. Большевик, установлены проявления золотосодержащей медно-молибден-порфировой формации (мысов Таймыр, Палец и др.). В соответствии с определенным пространственным развитием рудных формаций Хутудинско-Большевицкая мегазона на Северной Земле подразделяется на: Солнечнинскую минерагеническую зону (МЗ) с Таймыромысским потенциальным рудным узлом (ПРУ) (медно-молибден-порфировый тип оруденения); Восточнобольшевицко-Западночелюскинскую МЗ с Лагерно-Голышевским и Подъемнинским потенциальными рудными районами (ПРР) (Лагернинский, Голышевский, Грозненский ПРУ с золото-кварцевым и золото-сульфидным оруденением); Кропоткинскую МЗ с Тора-Каменским (Мартовско-Никитинский ПРУ с золото-редкометалльным оруденением), Студенинским (Озернинский ПРУ с серебро-касситерит-сульфидным), Мушкетовским, Туманнинским ПРР и самостоятельным Оловянинским ПРУ с золото-редкометалльным оруденением. Ресурсный потенциал россыпного золота на о. Большевик оценивается в 34 т, в т. ч. запасы по C_1 , C_2 – 13 770 кг, коренного – 395 т, в т. ч. ресурсы по категории P_2 – 185 т [1, 4, 6].

В пределах *Североземельской минерагенической мегазоны*, охватывающей эпиплатформенные образования от нижнего кембрия до девона, выделяются две МЗ (см. рисунок): Восточно-Октябрьская с рудоносным ранне-среднеордовикским вулcano-плутоническим поясом [2, 3] и Ок-

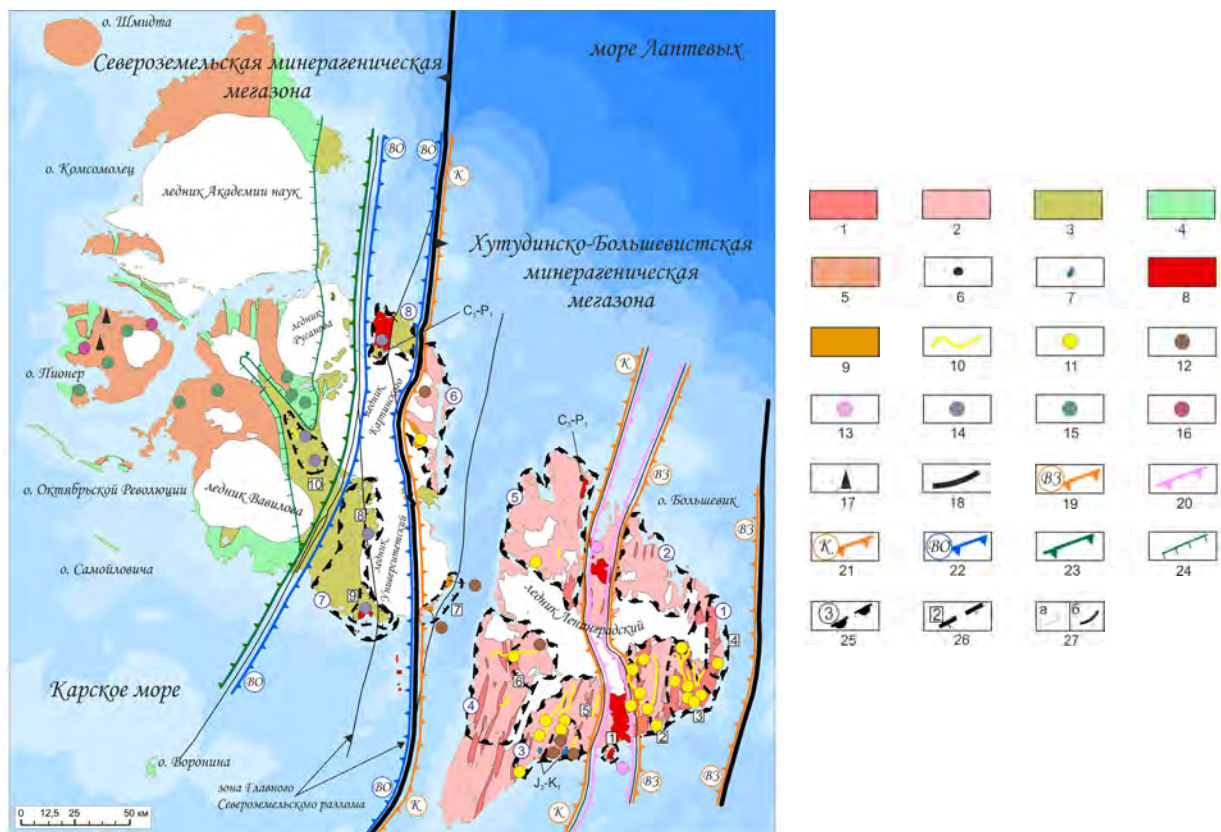


Схема минерагенического районирования архипелага Северная Земля (по В. Ф. Проскурнину, 2008 г.):

1, 2 – складчатый комплекс тиманид с позднерифейско-вендскими турбидитами (1) и вендскими (раннекембрийскими) флишоидами (2); 3 – складчатый комплекс ранних каледонид с кембрийско-среднеордовикскими вулканогенно-сульфатно-карбонатно-терригенными отложениями; 4, 5 – полого-складчатый комплекс ранних герцинид с позднеордовикско-силурийскими терригенно-карбонатными (4) и девонскими сульфатно-карбонатно-терригенными (5) отложениями; 6, 7 – плитные образования позднекаменноугольно-раннепермские (6) и позднеюрско-раннемеловые (7); 8, 9 – гранитоиды диорит-гранодиоритовой (8) и гранит-лейкогранитовой (9) формаций; 10 – россыпи золота; рудопроявления: 11 – золота, 12 – золота и редких металлов, 13 – молибдена, 14 – железа с золотом и платиной, 15 – меди, 16 – марганца, 17 – битумов; 18 – граница Хутундинско-Большевистской золоторудной и Североземельской железо-меднорудной минерагенических мегазон; минерагенические зоны: 19 – Восточнобольшевистско-Западночелюскинская, 20 – Солнечнинская, 21 – Кропоткинская, 22 – Восточнооктябрьская, 23 – Октябрьско-Пионерская; 24 – граница Свердловско-Матусевичской и Октябрьско-Пионерской структурно-минерагенических зон; 25 – потенциальные рудные районы и их номера: Лагерно-Гольшевский (1), Подъемнинский (2), Тора-Каменский (3), Студенинский (4), Мушкетовский (5), Туманнинский (6), Смутнинско-Свердловский (7), Матусевичский (8); 26 – потенциальные рудные узлы и их номера: Таймыромысский (1), Лагернинский (2), Гольшевский (3), Грозненский (4), Мартовско-Никитинский (5), Озернинский (6), Оловянинский (7), Смутнинский (8), Свердловский (9); 27 – границы геологические (а), тектонические (б)

Октябрьско-Пионерская со стратиформным оруденением золота, меди, марганца и перспективными нефтегазоносными площадями [2, 3, 5, 6].

Оруденение Восточно-Октябрьской МЗ связано с широким проявлением продуктов вулканизма основного, среднего и кислого состава умереннощелочного ряда свердловско-смутнинской вулканоплутонической ассоциации, приуроченной к рифтогенной зоне вдоль Главного Североземельского разлома. Золотосодержащая мышьяковисто-медноколчеданная и железистоокисная с редкими землями формации объединяют многочисленные проявления железистоокисных и колчеданных руд на о. Октябрьской Революции, выявленных при проведении поисковых и тематических работ в 1988–1991 гг. [2, 3]. Выявленные рудопроявления группируются в ППР: Матусевичский (проявление р. Ровной), Смутнинско-Свердловский со Смутнинским (проявление оз. Смут-

ного) и Свердловским (Нижне- и Верхнекурчавинские, Свердловское проявления) ПРУ. Содержания Fe_2O_3 общ. – 15–77 %, REE – до 1,17 г/т, Au – 0,1–3,0 г/т, Pt – 0,17–0,47 г/т, Pd – 0,2 до 1,17 г/т, Cu – 0,4–6 %, As – до 2 %.

Октябрьско-Пионерская МЗ характеризуется *стратиформными* типами оруденения, приуроченными к Ушаковско-Озернинской ранне-среднеордовикской и Стройнинско-Малюткинской позднеордовикско-позднедевонской структурно-минерагеническим зонам (СМЗ), отвечающим разным структурным ярусам.

Стратифицированное оруденение первой СМЗ (Книжнинско-Ледниковский ПРУ) приурочено к осадочно-вулканогенной ушаковской свите нижнего ордовика, представляющей собой удаленные фации смутнинско-свердловской вулcano-плутонической ассоциации [3]. Оруденение характеризуется колчеданной минерализацией (сульфидов от 2–10 до 50 %). Содержания Au в скважинах достигает 0,15 г/т, в среднем 0,03–0,08 г/т; содержания в отдельных пробах Pt – 0,27–0,29 г/т, Pd – 0,33–0,36 г/т (Первое россыпепооявление Северной Земли выявлено В. А. Марковским в 1976 г. на р. Книжной).

Стройнинско-Малюткинская СМЗ характеризуется позднеордовикско-девонским сульфатно-карбонатно-терригенным осадочным чехлом мощностью более 6 км, в котором установлены проявления [2, 5, 6]: формации медистых песчаников на о. Пионер (реки Коленчатая, Пионерка), на о. Крупской (мыс. Тонкий), на о. Октябрьской Революции (реки Песчаная, Большая, Ушакова, бух. Красная); полиметаллов на о. Пионер (проявление Прибрежное); марганца на о. Пионер (реки Коленчатая, Побережное), о. Октябрьской Революции (Мыс Камень); нефте- и битумопроявления на о. Пионер (реки Бурная, Пионерка), на о. Длинном. Состав битумопроявлений (мальты, асфальтиты и асфальты) указывает на связь с вероятными малоизмененными залежами нефтяного ряда.

Список литературы:

1. Гавриш А. В., Кузьмин В. Г. Россыпная золотоносность Таймыро-Североземельской провинции // Российская Арктика: геологическая история, минералогия, геоэкология. – СПб. : ВНИИОкеангеология, 2002. – С. 629–640.
2. Кузьмин В. Г., Проскурнин В. Ф., Фокин В. И. Стратифицированное оруденение Северной Земли // Геология, литодинамика и россыпеобразование в прибрежных зонах Арктики. – Л. [СПб.] : ПГО «Севморгеология», 1990. – С. 19–25.
3. Проскурнин В. Ф. Новая вулcano-плутоническая ассоциация Северной Земли и особенности ее металлоносности // Недрa Таймыра : сборник научных трудов. – Норильск, 1995. – Вып. 1. – С. 93–100.
4. Проскурнин В. Ф. Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минералогия» : автореф. дис. на соискание учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Проскурнин Василий Федорович. – СПб., 2013. – 40 с.
5. Сальников В. А. Медистые песчаники архипелага Северная Земля // Геология архипелага Северная Земля. – Л. [СПб.] : ПГО «Севморгеология», 1982. – С. 5–22.
6. Северная Земля. Геологическое строение и минералогия // под ред. И. С. Грамберга, В. И. Ушакова. – СПб. : ВНИИОкеангеология, 2000. – 187 с.
7. Шануренко Н. К. Васильев Б. С. Карская золоторудная провинция (особенности строения и ведущие формационные типы оруденения) // Минералогия Арктики. – СПб. : ВНИИОкеангеология, 1993. – С. 82–90.

НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Вилуйско-Мархинская минерагеническая зона (ВММЗ) – одна из наиболее перспективных территорий Западной Якутии на обнаружение новых месторождений алмазов. В ее пределах открыты Мирнинское, Накынское и Слюдякарское кимберлитовые поля, и прогнозный потенциал ВММЗ далеко не исчерпан. Структурно-тектонический анализ и комплекс прогнозно-поисковых признаков и предпосылок позволяют выделить на флангах ВММЗ Юлэгирскую и Верхнемурбайскую перспективные площади ранга кимберлитового поля.

Ключевые слова: структурно-тектоническое строение, прогнозно-поисковые критерии, алмазы, кимберлитовое поле.

Вилуйско-Мархинская минерагеническая зона (ВММЗ) занимает северо-западное обрамление Вилуйского палеорифта площадью около 70 тыс. км². Протяженность зоны достигает 800 км, а ширина – от 30–50 км на юге до 160 км на северо-востоке. Несмотря на длительную историю поисков, насчитывающую более 60 лет, геологи-алмазники высоко оценивают перспективы этих территорий в отношении коренной алмазности. В настоящее время на площади ВММЗ сосредоточен большой объем поисковых работ ГРК АК «АЛРОСА». Работы ведутся в районах, где породы нижнепалеозойского кимберлитовмещающего комплекса погребены под толщей более молодых отложений, что значительно затрудняет проведение поисковых работ.

На флангах ВММЗ в основании перекрывающего комплекса залегают малоинформативные в шлихо-минералогическом плане нижнеюрские отложения прибрежно-морского генезиса. Это усложняет, а иногда и делает абсолютно неэффективным шлихо-минералогический метод поисков, хорошо зарекомендовавший себя в пределах Накынского кимберлитового поля. Не умаляя значение минералогических признаков, которые могут достоверно свидетельствовать о присутствии коренного алмазносного источника, оценивать перспективность той или иной территории необходимо не по отдельным критериям, а по их совокупности. При этом в сложных геологических условиях, где слабо проявлены либо отсутствуют те или иные прогнозно-поисковые критерии, структурно-тектонические предпосылки имеют решающее значение при определении перспективности площади.

Многочисленными исследованиями доказано, что кимберлитовые поля располагаются в узлах пересечения разнонаправленных разломных зон (линеаментов) [1, 2, 7]. Их характерными признаками являются сложный структурный план кимберлитовмещающих отложений, широкое развитие в их пределах структур среднепалеозойского возраста [2, 4].

С помощью комплекта региональных тектонических карт был выполнен структурно-тектонический анализ территории ВММЗ, в ходе которого на флангах зоны были выделены две площади – Верхнемурбайская и Юлэгирская, тектоническая позиция которых благоприятна для локализации кимберлитовых полей. Площади расположены в узлах пересечения центральной подзоны ВММЗ [3] с секущими зонами, трассирующимися со стороны Патомско-Вилуйского авлакогена, и характеризуются усложнением структурного плана кимберлитовмещающих пород, а также широким развитием в их пределах структур с повышенной мощностью кимберлитовмещающих отложений, что свидетельствует об их среднепалеозойском возрасте, который свойственен для известных кимберлитовых полей ВММЗ [6]. На этих площадях в разной мере проявлены и другие прогнозно-поисковые критерии.

Верхнемурбайская перспективная площадь находится в 35 км к югу от Мирнинского кимберлитового поля на южном фланге ВММЗ. В ее пределах нижнепалеозойский комплекс пород погребен под более молодыми образованиями, которые алмазопромышленным бурением практически не изучены. На площади закартированы туфовые трубки, которые характерны и для Мирнинского кимберлитового поля. При проведении аэромагнитной съемки был выявлен ряд локальных магнитных аномалий, рекомендованных к заверке, которые могут служить геофизическими крите-

риями перспективности Верхнемурбайской площади. Минералогические признаки на площади проявлены слабо, что может быть связано с ее недостаточной изученностью. Но, учитывая направление сноса терригенного материала в раннеюрское время, алмазы, обнаруженные в долине р. Малый Мурбай, могли иметь свои коренные источники в пределах выделенной перспективной площади [5].

Юлэгирская перспективная площадь располагается в междуречье Тюнг–Линде в бассейнах рек Мастах и Аллара-Сала на северо-восточном фланге ВММЗ. В южной части площади по космфотоматериалам дешифрируются Аллара-Сала-Мастахская и Юлэгирская кольцевые структуры, отождествляемые с прогнозируемым кимберлитовым полем. На Юлэгирской площади проявлены и геофизические предпосылки кимберлитового магматизма. Это слабоконтрастные линейные магнитные аномалии, отождествляемые с кимберлитовмещающими нарушениями, а также локальные магнитные аномалии трубчатого типа. Кроме того, здесь установлены многочисленные находки алмазов и их минералов-спутников, в том числе и высокосохранных, что может свидетельствовать о возможности их поступления в осадочные коллекторы из близлежащих неизвестных коренных источников.

Таким образом, на Верхнемурбайской и Юлэгирской площадях, выделенных по структурно-тектоническим критериям, проявлены другие прогнозно-поисковые признаки и предпосылки, что усиливает их перспективы на обнаружение новых кимберлитовых полей и позволяет рекомендовать эти площади для дальнейшего изучения. Помимо ВММЗ в Западной Якутии перспективным представляется южное обрамление Вилуйского палеорифта, осложненное Чаро-Синской зоной глубинных разломов (ЧСЗ). По нашим данным, ЧСЗ является своеобразным аналогом ВММЗ. На ее восточном фланге выявлено Хомпу-Майское кимберлитовое поле [6]. В 2019 г. силами НИГП АК «АЛРОСА» начаты ревизионно-оценочные работы на левобережье р. Лена в бассейнах рек Бирюк, Намана, Марха. Первые минералогические результаты подтверждают перспективность территории на коренную алмазоносность, что позволяет рассматривать ЧСЗ в качестве минерагенической зоны.

Список литературы:

1. Антипин И. Ин., Антипин И. И. Среднемасштабное алмазопрогнозирование на примере Центрально-Сибирской субпровинции // Руды и металлы. – 2018. – № 1. – С. 4–10.
2. Горев Н. И. Тектоническая позиция кимберлитовых районов и полей юга Якутской кимберлитовой провинции // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. – Мирный. – 1998. – С. 249–251.
3. Горев Н. И., Герасимчук А. В., Проценко Е. В., Толстов А. В. Тектонические аспекты строения Вилуйско-Мархинской зоны, их использование при прогнозировании кимберлитовых полей // Наука и образование. – 2011. – № 3. – С. 5–10.
4. Проценко Е. В., Горев Н. И. Тектонические критерии кимберлитовых полей Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – С. 39.
5. Проценко Е. В., Горев Н. И., Граханов О. С. Тектонические предпосылки кимберлитового магматизма на юге Якутской алмазоносной провинции // Наука и образование. – 2014. – № 3. – С. 69–73.
6. Проценко Е. В., Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 14–23
7. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра. – 1998. – 555 с.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ СХЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Цифровизация технологических процессов является неотъемлемой составляющей предприятия, нацеленного на повышение эффективности своей деятельности. Для корректной оценки тех процессов и этапов, которые нуждаются в трансформации, необходимо проведение высокоорганизованных работ, которые позволят выявить слабые места, требующие трансформации. Это касается и процессов, генерирующих геологические данные (нематериальные активы), которые в дальнейшем должны вливаться в единое озеро данных, подвергаться комплексированию и глубокой аналитике высокотехнологичными информационными системами. С этой целью в НИГП «АЛРОСА» проводятся работы по описанию технологических процессов, их оцифровке и анализу.

Ключевые слова: цифровизация, бизнес-процесс, геологические данные, геологоразведка, BPMN, АЛРОСА.

Компания «АЛРОСА» для достижения стратегических целей по сохранению и укреплению лидерских позиций на мировом алмазном рынке активно поддерживает и развивает геолого-информационные технологии, что позволяет двигаться к достижению одной из основных целей – повышению эффективности геологоразведочной деятельности. Достижение поставленной цели невозможно без адаптации (далее – цифровизация) геологических процессов к текущим реалиям рынка [3].

В настоящее время одной из реализуемых в геологоразведочном комплексе задач является обеспечение сбора всей нарабатываемой геологической информации, ее централизация, описание и обеспечение мгновенной доступности. Решение данной задачи может быть достигнуто в том числе за счет цифровизации максимального количества производственных процессов и выстраивания потоков информации таким образом, чтобы вся получаемая в ходе геологоразведочных работ информация поступала в централизованные базы данных в структурированном виде.

В связи с этим необходимо создание цифровых копий процессов (схем технологических процессов), детальное их изучение, анализ степени цифровизации процесса и документационное обеспечение. В конечном итоге это позволит разработать мероприятия по их цифровизации, а в отдельных случаях изменить и трансформировать неэффективные этапы процесса [2].

Ввиду того, что в рамках выполняемых отделом геоинформационных технологий НИГП функций особый интерес представляют геологические данные, способы их накопления, обработки и централизации, производится изучение технологических процессов геологоразведочного комплекса (ГРК), в которых происходит генерация и обработка геологической информации. Для достижения этой цели, а также получения необходимой информации для построения схем технологических процессов ГРК работы состояли из нескольких последовательных этапов.

Таким образом была сформирована команда компетентных специалистов, вовлечены в работу сотрудники всех основных структурных подразделений ГРК. На первом этапе следовало выделить основные процессы подразделений и детализировать их до надлежащего уровня, где производится работа с данными. В процессе работ проведены необходимые интервью и определено, что процессы будут значительно детализированы (до 5–6 уровня).

На втором этапе произведена разработка формы анкеты-опросника, которая позволила собрать необходимую информацию и описать подробно все задачи, работы, процессы, которые выполняются сотрудниками (в рамках компетенции) в структурных единицах подразделений ГРК. Такой подход был обусловлен необходимостью минимизировать отвлечение персонала от основных функциональных обязанностей.

Основными интересующими вопросами являлись: в каких процессах производится генерирование данных, что при этом попадает на вход, как данные трансформируются в ходе движения

по процессу, каким программным обеспечением (ПО) обрабатываются, какие форматы используются, куда попадают на выходе, кто является заказчиком и потребителем.

Третий этап – визуализация всей собранной информации. Необходимо было определиться с системой условных обозначений построения технологических процессов. Так как основной целью является создание стандартного набора условных обозначений, понятных всем бизнес-пользователям, было решено применять нотацию BPMN [4] – систему условных обозначений и их описания в XML для моделирования бизнес-процессов (разработана Business Process Management Initiative и поддерживается Object Management Group). BPMN доступна в программе MS OFFICE VISIO, применяется в других подразделениях компании и является международным стандартом в данной области [1].

В результате проведенных работ были построены десятки схем технологических процессов, определены основные этапы формирования информации в каждом из них. В рамках четвертого этапа работ был проведен предварительный анализ полученной информации, определено, что основной проблемой является неэффективное использование имеющихся ресурсов, устоявшиеся приемы работы с данными. Выявлены процессы, которые должны быть трансформированы для обеспечения единой стратегии ГРК по централизации геолого-геофизической информации.

В настоящий момент работы продолжают, вовлекаются новые структурные единицы подразделений ГРК, производится оценка процессов на предмет необходимости их трансформации с целью автоматизации отдельных этапов, что позволит ускорить обработку данных, стандартизировать подходы к формированию цифровой геологической информации.

Проведенная работа и детальность построенных схем технологических процессов позволили приступить к подготовке единой технической политики для подразделений ГРК «АЛРОСА». Анализ подготовленных схем показал, в каком процессе, какими специалистами и для каких целей используется то или иное ПО, где для выполнения схожих задач используется разное ПО, а где есть возможность его использовать, но работы до сих пор ведутся в ручном режиме. Таким образом, техническая политика позволит задать единые стандарты на этапе формирования данных, унифицировать используемое ПО, подготовить паспорта рабочих мест сотрудников для более эффективного выполнения своих функций.

Список литературы:

1. Ибрагимова Л. А., Бабурина О. Н. Разработка и совершенствование процессов системы менеджмента предприятия с использованием нотации BPMN 2.0. // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 91–99.
2. Куликов В. Что нужно знать о цифровизации промышленности – URL: https://www.cnews.ru/articles/2019-11-25_chto_nuzhno_znat_o_tsifrovizatsii_promyshlennosti (дата обращения: 07.03.2021).
3. Ратьков С. С. Цифровизация производственных процессов геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО) для обеспечения оперативной обработки первичной геологической информации // Конференция «Наука и инновационные разработки – Северу»: сборник материалов конференции в 2-х частях. – 2019. – С. 244–247.
4. Фёдоров И. Г. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN 2.0. – М., 2013.

Рудашевский Н. С., Рудашевский В. Н. (ООО «ЦНТ Инструментс»)

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ И ГИДРОСЕПАРАЦИЯ – ОПТИМАЛЬНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ДЛЯ ОТКРЫТИЯ НОВЫХ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В КОРЕННЫХ ПОРОДАХ

Рассмотрена новая методология – электроимпульсная дезинтеграция руды + гидросепарация материала + высокотехнологические минералогические исследования в однослойных поли-

рованных шлифах «тяжелых» концентратов – применительно к открытиям новых минералов платиновой группы (МПП), содержащихся в коренных породах. Рассмотрены примеры – восемь таких новых МПП.

Ключевые слова: новые минералы платиновой группы из коренных пород, электроимпульсная дезинтеграция, гидросепарация, однослойные полированные шлифы.

Минералы платиновой группы (МПП) относятся к числу наиболее сложных для исследований. В их составах, кроме платиновых металлов, известны еще 23 минералообразующих элемента: Fe, Ni, Cu, Au, Ag, S, As, Te, Se, Sb, Sn, Pb, Bi, Hg, In, Cl, I, Br, Si, Co, Zn, Tl и Mo. Различными элементами МПП реализованы разные их сочетания, стехиометрические соотношения и типы структур.

Проблема определения химического состава МПП была кардинально решена начиная с 1960-х годов широким внедрением локального микрозондового анализа. Сегодня обычно надежное определение химического состава минералов в полированных шлифах для зерен размером > 10 мкм. Число МПП, утвержденных Международной Комиссией по новым минералам и названиям минералов, увеличилось с 1959 г. (только 20) до 109 в 2002 г. и до 135 на сегодня (www.mindat.org).

Принципиальной трудностью для диагностики МПП и, следовательно, обнаружения-характеристики их новых минеральных видов в коренных породах (рудах) являются случайный неравномерный характер распределения и исключительно низкие содержания этих минералов, то есть, в конечном счете, сам факт их обнаружения. Так что исследования МПП обязательно должны включать процесс обогащения материала в десятки–сотни и более раз. И, наконец, в породах и рудах (и в продуктах их обогащения) характерны полиминеральные зерна-сростки разных МПП друг с другом и с различными сопровождающими их минералами (с пороодообразующими, с сульфидами, хромитом и др.). Сами индивиды МПП имеют сложную, обычно неправильную форму и, как правило, очень малые размеры в полированных шлифах, лишь единичные их зерна бывают размером до первых десятков микрометров.

Специально выделим, пожалуй, наиболее труднореализуемое условие для открытия нового минерального вида – получение для него рентгенометрической информации и структурных решений: для этого необходимо использование мономинерального «крупного» зерна как минимум 30–40 мкм, надежно ~ 100 мкм и более (для получения мономинерального порошка или объекта – для монокристалльных измерений). Подчеркнем, что такое зерно еще должно быть отделено от сопровождающих его минералов (извлечено из полированного шлифа – при традиционных исследованиях коренных объектов), что является технически сложной задачей. Неслучайно, что большинство открытий МПП сделаны на материалах россыпей – природных объектах, накапливающих свободные крупные зерна МПП (www.mindat.org).

Нами предложены два оптимальных решения пробоподготовки коренных МПП-содержащих пород, позволяющие получить представительные выборки зерен МПП, включающие, в том числе, и возможные новые их виды – зерна, необходимые для проведения современных высокотехнологичных исследований минералов.

1. Оптимальное измельчение штуфа методом электроимпульсной дезинтеграции (ЭИД) – разрушение образца по границам слагающих его зерен [4], обеспечивающее сохранение первичных (наиболее крупных) зерен МПП; нами реализована на современном уровне электротехники ЭИД-установка CNT Spark-2 [4]. Полученный МПП-содержащий продукт затем разделяется мокрым ситованием на несколько фракций с использованием стандартного набора сит.

2. Получение «тяжелых» концентратов с использованием запатентованной технологии – метод гидросепарации, гидросепаратор CNT HS-11 [1–3, 11] – для различных размерных фракций продукта измельчения руды [4] (www.cnt-mp.com).

3. Для каждого из «тяжелых» концентратов готовятся (термическим прессованием с пластиком) однослойные полированные шлифы, на которых проводится микрозондовое изучение минералов благородных металлов. Таким образом, диагностируются все МПП. Подчеркнем, что в таких полированных шлифах удастся наблюдать максимальные размеры (срединные сечения!) МПП [4]. Отметим, что выбранные зерна затем легко извлекаются с поверхности полированного шлифа.

С 2004 г. открыты восемь новых минералов платиновой группы с использованием предложенной нами методологии – электроимпульсная дезинтеграция + гидросепарация – в коренных об-

**Характеристика минералов платиновой группы, открытых в составе коренных пород
с использованием электроимпульсной дезинтеграции и гидросепарации**

№	Минерал	Формула	Ссылка	Зерна	
				число	размеры, мкм
1	Скаергардит	PdCu	[12]	2054	0,1–93
2	Налдреттит	Pd ₂ Sb	[6]	622	10–239
3	Нельсенит	Pd,Cu ₃	[7]	12	2–50
4	Унгаваит	Pd ₄ Sb ₃	[8]	8	36–116
5	Гарутиит	(Ni,Fe,Ir)	[10]	20	10–110
6	Палладосилицид	Pd ₂ Si	[5]	13	0,7–39
7	Колдвеллит	Pd ₃ Ag ₂ S	[9]		0,5–75
8	Заккаринит	RhNiAs	[13]		0,9–40

разцах руд различных месторождений мира, что составляет 1/4 от числа всех МПГ, открытых после 2002 г. (таблица).

В таблице видно, что представленные МПГ контрастно разделяются на две группы; 1) относительно широко распространенные, доминирующие в рассматриваемом месторождении среди других МПГ – скаергардит PdCu и налдреттит Pd₂Sb; 2) редкие и ультраредкие – другие шесть новых минералов (см. таблицу).

Минералы первой группы МПГ ранее определялись в нескольких месторождениях как неназванные фазы составов PdCu и Pd₂Sb [6, 12]. Тогда как при использовании наших методов подготовки МПГ-концентратов (наличие в них, по крайней мере, нескольких «крупных» однородных мономинеральных зерен скаергардита и налдретита) задача определения необходимых параметров для этих новых минералов становится тривиальной.

Для второй группы редких и ультраредких новых МПГ, открытых в составе коренных пород (см. таблицу), задача получения их необходимых констант (обнаружение пригодных для таких измерений зерен) в полированных шлифах, приготовленных по традиционным схемам исследования руд, является практически неразрешимой.

Список литературы:

1. Патент № 216530 РФ. Гидравлический классификатор / Н. С. Рудашевский, С. Д. Лупал, В. Н. Рудашевский. – М., 2001.
2. Патент № 2281808 РФ. Гидравлический классификатор / Н. С. Рудашевский, В. Н. Рудашевский. – М., 2006.
3. Патент № 69418 РФ. Гидравлический классификатор, полезная модель / Н. С. Рудашевский, В. Н. Рудашевский. – М., 2007.
4. Рудашевский Н. С., Рудашевский В. Н., Антонов А. В. Универсальная минералогическая технология исследования пород, руд и технологических продуктов // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 73. – С. 88–102.
5. Cabri L. J., McDonald A. M., Stanley C. J., Rudashevsky N. S., Poirier G., Wilhelmij H. R., Zue W., Rudashevsky V. N. Palladosilicide, Pd₂Si, a new mineral from the Kapalagulu Intrusion, western Tanzania and the Bushveld Complex, South Africa // Mineralogical Magazine. – 2015. – V. 79, № 2. – P. 295–307.
6. Cabri L. J., McDonald A. M., Stanley C. J., Rudashevsky N. S., Poirier G., Durham B. R., Mungall J. E., Rudashevsky V. N. Naldrettite, Pd₂Sb, a new palladium antimonide from the Mesamax Northwest deposit, Ungava region, Québec, Canada // Mineralogical Magazine. – 2005. – V. 69, № 1. – P. 89–97.
7. McDonald A. M., Cabri L. J., Rudashevsky N. S., Stanley C. J., Rudashevsky V. N., Ross K. C. Nielsenite, PdCu₃, a new platinum group intermetallic mineral species from the Skaergaard intrusion, Greenland // Canadian Mineralogist. – 2008. – V. 46. – P. 709–716.
8. McDonald A. M., Cabri L. J., Stanley C. J., Rudashevsky N. S., Poirier G., Ross K. C., Mungall J. E., Durham B. R., Rudashevsky V. N. Ungavaite, Pd₄Sb₃, a new intermetallic mineral from the Mesamax

- Northwest deposit, Ungava region, Québec, Canada: Description and genetic implications // Canadian Mineralogist. – 2005. – V. 43. – P. 1735–1744.
9. McDonald A. M., Cabri L. J., Stanley C., Good D., Redpath J., Lane G., Spratt J., Ames D. Coldwellite, $\text{Pd}_3\text{Ag}_2\text{S}$, a new mineral species from the Marathon deposit, Coldwell, Ontario, Canada // Canadian Mineralogist. – 2015. – V. 53. – P. 845–857.
 10. McDonald A. M., Proenza J. A., Zaccarini F., Rudashevsky N. S., Cabri L. J., Stanley C. J., Rudashevsky V. N., Melgarejo J. C., Lewis J. F., Longo F., Bakker R. J. Garutiite, $(\text{Ni}, \text{Fe}, \text{Ir})$, a new hexagonal polymorph of native Ni from Loma Peguera, Dominican Republic // European Journal of Mineralogy. – 2010. – V. 22. – P. 293–304.
 11. Method for separating granular materials and device for carrying out said method; Patent Cooperation Treaty PCT/RU01/00123 / N. S. Rudashevsky, V. N. Rudashevsky, S. D. Lupal. Moscow, 20 April 2001, 10 May 2001.
 12. Rudashevsky N. S., McDonald A. M., Cabri L. J., Nielsen T. D. F., Stanley C. J., Kretser Yu. L. Rudashevsky V. N. Skaergaardite, PdCu , a new platinum-group intermetallic mineral from the Skaergaard intrusion, Greenland // Mineralogical Magazine. – 2004. – Vol. 68. – P. 603–620.
 13. Vymazalova A., Laufek F., Drabek M., Stanley C., Baker R., Bermejo R., Garuti G., Thalhammer O. Zaccarinite, RhNiAs , a new platinum-group mineral from Loma Peguera, Dominican Republic // Canadian Mineralogist. – 2012. – V. 50. – P. 1321–1329.

Саблуков С. М., Саблукова Л. И. (ООО ИНПК «РУСГЕО»)

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВОГО И БАЗАЛЬТОВОГО МАГМАТИЗМА НАКЫНСКОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ) И ИХ ПОИСКОВАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Разновозрастные вулканические породы трубки Нюрбинская (докимберлитовые базиты – кимберлиты – посткимберлитовые базиты) фиксируют временную эволюцию мантийных источников основных и ультраосновных магматических расплавов с позднего рифея до раннего карбона. Необычные физические, геохимические и минералогические особенности кимберлитов из зоны экзоконтакта с базитами нужно учитывать при поисковых работах.

Ключевые слова: Накын, кимберлиты, базиты, термальный метаморфизм, поиски.

По данным большинства исследователей, проявления базальтового и кимберлитового (уникального для Якутской провинции) магматизма Накынского поля приурочены к единой среднепалеозойской эпохе активизации и образовались в четыре последовательные стадии: 1-я – докимберлитовые толеитовые базиты, 2-я – кимберлиты, 3-я – посткимберлитовые щелочные базиты, 4-я – эксплозивные брекчии [2].

При этом все известные типы магматизма Накынского поля проявились на крайне небольшом пространстве трубки Нюрбинская, что делает эту трубку **эталонным объектом** изучения взаимоотношений всех типов магматических проявлений Накынского поля и для разработки косвенных структурно-тектонических критериев прогноза и поисков кимберлитовых тел (*крайне слабо проявленных в геофизических полях*).

За время работы в 2006–2014 гг. нами с разной степенью детальности изучен керн 50 скважин по трубке Нюрбинская, в том числе керн 14 скважин, вскрывших и базальтовые породы. Характер всех изученных нами контактов *тел* базитов и кимберлитов однозначно определяет более позднее образование первых по отношению ко вторым.

Комплексное изучение всех вулканических тел трубки Нюрбинская (29 ксенолитов докимберлитовых базитов, разные тела кимберлитов и посткимберлитовых базитов) показало резкие различия их по времени внедрения, типу и модельному возрасту мантийного источника, изотопно-геохимическим характеристикам.

Кимберлиты трубки имеют значительно более древний возраст внедрения (D_{ems} , $399,6 \pm 4,6$ млн лет) и более древний модельный возраст мантийного источника ($T_{\text{Nd}}(\text{DM}) = 1100$ млн лет

при $eNd = +1,0$ и $eSr = +25,2$) по сравнению с другими алмазоносными кимберлитами Якутской провинции.

Ксенолиты докимберлитовых базитов овальной, реже угловатой формы и размером от 4 до 20 см, представлены в основном массивными среднезернистыми долеритами.

Посткимберлитовые базиты в трубке представлены в направлении от контакта с кимберлитами к край-центру штока базитов в следующей последовательности: *базальтовое стекло – гиа-лобазальты – тонкозернистые долериты – среднезернистые долериты – среднезернистые лей-кократовые кварцевые долериты*. Гетерогенные брекчии представлены **в средней части кровли интрузии базитов – кластолавами, гиалокластитам и метасоматизированными лавокластитам базальтов, в краевой части кровли интрузии – туфами и ксенотуфами базальтов, «обломочными» и «лапиллиевыми» эруптивными брекчиями базитов, брекчиями осадочных пород с апофизами базальтовых стёкол.**

По данным K-Ar и Rb-Sr анализа, наиболее вероятным возрастом докимберлитовых базитов является поздний рифей (656 ± 15 млн лет), а посткимберлитовых базитов – поздний девон – ранний карбон (357 ± 14 млн лет). Источником расплавов докимберлитовых базитов была древняя обогащённая литосферная мантия с вероятным участием древнего нижнекорового вещества ($EM II$, $eNd = -12,2$, $eSr = +54,6$; $T_{Nd}(DM) = 2450$ млн лет). Источником расплавов посткимберлитовых базитов была деплетированная мантия с вероятным участием вещества молодой верхней коры ($eNd = +4,7$, $eSr = +43,7$; $T_{Nd}(DM) = 770$ млн лет). В геохимическом отношении докимберлитовые базиты соответствуют высокоглиноземистым известково-щелочным базальтам вулканических поясов активных континентальных окраин и зрелых островных дуг зон субдукции, а посткимберлитовые базиты – резко геохимически обогащенным высокожелезистым и высокотитанистым внутриплитным толеитовым базальтам. Поскольку докимберлитовые базиты имеют докембрийский возраст и вряд ли развиты на доступной для бурения глубине, предполагаемый в большинстве опубликованных источников. **«Накынский квартал»** магматитов, развитых в Накынском поле: *толеит-базальты – кимберлиты – щелочные базиты – взрывные брекчии* [2], по результатам наших исследований, вероятно, является **«накынским дуэтом»**: *кимберлиты – толеитовые базальты (включая их производные – гетерогенные брекчии базальтов)*.

Область экзоконтакта базитового штока, т. е. область прямого давления интрузирующей базальтовой магмы на литифицированные кимберлиты, имеет общую мощность около 30 м и разделяется на три зоны, различающиеся по характеру и степени «пропарки», изменения кимберлитовых пород по мере приближения к базитам: *зона пропарки внешняя (слабая), зона пропарки средняя (умеренная) и зона пропарки внутренняя (сильная)*.

Основным процессом преобразования кимберлитовых пород в этих зонах были «закалка» и термальный метаморфизм (перераспределение и перекристаллизация вещества вплоть до образования агрегатов магнетита), в то время как собственно метасоматические процессы проявлены крайне слабо. При этом развитие высокотемпературных минеральных новообразований, таких как редкая вкрапленность мельчайших идиоморфных кристаллов амфибола и единичные микроагрегаты зерен клинопироксена или граната, является экзотическим признаком («минералогическим курьезом»), никак не влияющим на общий петрографический состав кимберлитовых пород. Это резко отличает кимберлитовые породы трубки Нюрбинская от кимберлитов трубки Краснопресненская в аналогичной ситуации.

Процесс преобразования кимберлитов в зоне экзоконтакта штока базитов имел практически изохимический характер, происходило лишь экстрагирование базальтовым расплавом из кимберлитов наиболее подвижных элементов (K, Rb, Cs, Ba, Sr), а также развитие типичной гидротермальной сульфидной жильной минерализации (минералы Cu, Zn, Pb, Ni).

Необычные физические свойства (повышенная прочность и резко повышенная магнитная восприимчивость) позволяют выделять блок кимберлитовых пород, включающий породы внутренней и нижней части средней зоны пропарки общей мощностью 7–9 м как отдельный технологический тип руд, требующий особого подхода при добыче и обогащении.

Резкое повышение магнитной восприимчивости кимберлитов в зоне экзоконтакта штока базитов может давать магнитную аномалию, фиксируемую на поверхности, что, в свою очередь, может быть использовано при поисковых работах [1], так же как и экстрагирование базальтовым

расплавом из кимберлитов калия может быть использовано при гамма-спектрометрических поисках проницаемых зон глубинных рудоконтролирующих разломов.

Резкое отличие морфологии пиропов в верхней части трубки (пирамидально-черепитчатый микрорельеф зерен) и в зоне экзоконтакта штока базитов (гребенчато-волнистый микрорельеф зерен и развитие мощных магнитных келифитовых кайм) необходимо учитывать при проведении шлихо-минералогических поисковых работ в районе.

Работа выполнена при финансовой поддержке АК «АЛРОСА» (ПАО), договора № 11/07, № 12/09 и № 01-НИР-В/14.

Список литературы:

1. Зинчук Н. Н., Бондаренко А. Т., Гарат М. Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. – М. : Недра ; Бизнесцентр, 2002. – 695 с.
2. Томшин М. Д., Фомин А. С., Корнилова В. П., Чёрный С. Д., Яныгин Ю. Т. Особенности магматических образований Накынского кимберлитового поля Якутской провинции // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 12. – С. 1693–1703.

**Саблукова Л. И., Саблуков С. М. (ООО ИНПК «РУСГЕО»),
Стегницкий Ю. Б. (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО))**

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ

Изучено более 1000 мантийных ксенолитов из кимберлитовых трубок Нюрбинская, Ботуобинская, Майская. Строение и состав глубинных пород указывает на образование их из мантийных выплавов при важной роли процессов субдукции, а также на редуцированный характер астеносферного воздействия и важную роль Cr-Ca мантийного метасоматоза. Необычный состав пикроильменита, широкое развитие хром-омфацита и зеленого граната подчеркивает уникальность кимберлитов Накына и в Якутии, и в мире.

Ключевые слова: Накын, мантийные ксенолиты, субдукция, Cr-Ca метасоматоз.

Детальное изучение мантийных ксенолитов трубки Нюрбинская (~ 1000 образцов) и предварительное, рекогносцировочное изучение мантийных ксенолитов трубок Ботуобинская (~ 50 образцов) и Майская (~ 70 образцов), а также дотрубочной дайки Нюрбинская (три образца) позволяет сделать некоторые выводы об особенностях строения и состава мантийного субстрата Накынского поля в целом.

В трубке Нюрбинская преобладают разнообразные гранатовые перидотиты и клинопироксениты, а также хромшпинелевые, реже шпинелевые перидотиты и эклогиты групп А и В (редко С), а также алькремиты. Отмечаются мегакристы оранжевого граната титанистой ассоциации, макрокристы оранжевого и красного гранатов эклогитового, реже перидотитового, парагенезиса. Мантийные ксенолиты имеют зернистое строение, катаклазированные перидотиты редки, в то же время широко распространены породы с ориентированными текстурами и полосчатые (расслоенные) породы. Характер изменения T - P параметров образования изученных нодулей соответствует кондуктивной геотерме 41 mW/m².

Большая часть мантийных ксенолитов трубки Нюрбинская принадлежит очень ограниченному числу видов, при этом резко преобладающие виды мантийных ксенолитов (хром-омфацитовые породы – гранатовые и хромшпинель-гранатовые перидотиты, в том числе катаклазированные, гранатовые клинопироксениты и эклогиты) расположены совместно на узком интервале глубин (в основном 75–115 км) в зоне пород гроспидитовой субфации С2, гораздо меньше – в зоне коэситовой субфации глубинности С3. Эти породы чаще всего характеризуются ориентированными,

плоскопараллельными, «цепочечными» текстурами и аллотриоморфными, иногда гранобластовыми структурами. Клинопироксен этих пород имеет совершенно необычный для перидотитов состав, он представлен хром-омфацитом – минералом, характерным для коровых метаморфизованных расслоенных базит-гипербазитовых комплексов (например, массивов Полярного Урала и др.). Для этих пород характерен и акцессорный пикроильменит совершенно необычного для кимберлитов состава (практически без гематитового компонента). Структурно-текстурные особенности и особенности состава минералов позволяют предположить, что эти породы образуют единую расслоенную пачку метаморфизованных базит-гипербазитовых пород, образовавшихся в том числе и в результате воздействия субдукционных процессов.

Глубже этой расслоенной пачки преобладающих хром-омфацитовых пород залегают «нормальные» ультрамафиты с хромдиопсидом (а не с хром-омфацитом) – первично-магматические гранатовые перидотиты протогранулярной структуры. На этом же уровне развиты также «нормальные» гранатовые клинопироксениты титановой (собственно «мегакристовой») ассоциации, то есть, по сути, гранат-ильменитовые ультрамафиты, но *без ильменита*. В образовании этого типа пород, как пород интрузивных, предполагается участие астеносферного вещества (мантийного диапира или плюма). С метасоматизирующим воздействием астеносферного источника, вероятно, связано и образование широко распространенных в трубке Нюрбинская мегакристов граната титановой, собственно «мегакристовой» ассоциации, причём эти мегакристы граната не сопровождаются обычными для кимберлитов других районов мегакритами пикроильменита, клино- и ортопироксена. Это может свидетельствовать о незаконченном, неполноценном характере воздействия железо-титанистого мантийного метасоматоза на соответствующие уровни верхней мантии в районе трубки Нюрбинская. Другой особенностью кимберлитов Накынского поля является заметное развитие процессов хром-кальциевого мантийного метасоматоза, проявленное в присутствии макрокристов зеленых гранатов пироп-гроссуляр-уваровитового состава.

Мантийные ксенолиты в трубках Ботуобинская и Майская в целом близки по строению и составу мантийным ксенолитам хорошо изученной трубки Нюрбинская.

Мантийный субстрат Накынского поля не имеет аналогов в других кимберлитовых районах Якутии и Архангельской провинции (может быть, и в других регионах мира).

От кимберлитов группы 1 Южной Африки, Якутии и Архангельска трубка Нюрбинская отличается резко редуцированным набором мантийных ксенолитов мегакристовой ассоциации (только гранатовые разновидности) при полном отсутствии «нормального» пикроильменита. Но трубка Нюрбинская отличается по набору и составу мантийных пород и от трубок месторождения им. М. В. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция), с которыми часто сопоставляют трубки Накынского поля. Помимо гораздо большего содержания, размера и разнообразия мантийных ксенолитов для трубки Нюрбинская характерно резкое преобладание гранатовых разновидностей всех типов мантийных пород, тогда как для трубок месторождения им. М. В. Ломоносова типична прямо противоположная картина – с таким же резким преобладанием хромшпинелевых разновидностей мантийных пород над гранатовыми при крайнем однообразии типов мантийных пород.

Мантийный субстрат Накынского поля в значительной степени образован метасоматизированными и метаморфизованными породами расслоенных базит-гипербазитовых комплексов с отчетливо проявленными признаками процессов субдукции. Минералы подобных расслоенных комплексов, образованных в *коровых* условиях (прежде всего хром-омфацит), близки по составу минералам-спутникам алмаза, но не связаны с кимберлитами и отбраковываются при шлиховых поисках на севере Европейской части России. В Накынском поле присутствие в шлиховых пробах подобных минералов-спутников, напротив, может являться признаком ореола ближнего сноса коренного кимберлитового источника.

В Накынском поле в направлении юго-запад – северо-восток не только закономерно усиливается степень воздействия железо-титанистого мантийного метасоматоза на состав мантийных пород и ослабляется степень проявления процессов хром-кальциевого мантийного метасоматоза, но закономерно меняются и некоторые другие характеристики кимберлитовых трубок. Учитывая эти обстоятельства, можно предположить, что возможные новые, пока не открытые трубки Накынского поля, расположенные на северо-восточном продолжении поля, могут характеризовать-

ся большей степенью воздействия астеносферного интрузива на мантийный субстрат, а значит, и на вещественный состав кимберлитов этих трубок вплоть до появления в них пикроильменита, типичного для кимберлитов состава. Находки в россыпи трубки Нюрбинская типичного кимберлитового ильменита, железистого оливина и высокотитанистого оранжевого пироба (не встречаемых в кимберлитах трубки Нюрбинская) не противоречит такому предположению.

В целом, проведенные работы позволили подтвердить уникальность трубки Нюрбинская и других трубок Накынского поля по особенностям мантийных ксенолитов как среди других трубок Якутской алмазоносной провинции, так и среди кимберлитовых трубок мира.

Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Конкина А. А. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ЗОЛОТО- И СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Рассмотрены золото-серебросодержащие колчеданно-полиметаллические месторождения основных минерогенических зон (Рудноалтайской, Салаирской, Улугуйской и Приаргунской) Российской Федерации и технология их прогноза и поисков. Показано, что большинство месторождений содержит промышленные содержания благородных металлов, а ряд из них обладает уникальными запасами полиметаллических руд с золотом и серебром.

Ключевые слова: полиметаллические месторождения, VMS, золото, серебро, свинец, цинк.

Полиметаллические месторождения Российской Федерации представлены следующими основными типами: SEDEX – 39 %, VMS – 34 % (в этой группе выделяются так же месторождения жильного Нойон-Тологойского типа (VMS_G), доля которых – 3 % от общих запасов), MVT – 23 %. По суммарной добыче свинца и цинка они распределяются следующим образом: 49 % – MVT, 30 % – VMS, 16 % – жильные. Некоторые месторождения в карбонатных и терригенных толщах (типы SEDEX и MVT) характеризуются переменным количеством серебра. Повышенные содержания золота отмечаются лишь в месторождениях типа VMS (в вулканогенных ассоциациях).

Месторождения VMS расположены в таких регионах Российской Федерации, как Алтайский край (Рудноалтайская минерогеническая зона), Кемеровская область (Салаирская минерогеническая зона), Республика Тыва (Улугуйская минерогеническая зона) и Забайкальский край (Приаргунская минерогеническая зона) [1]. В настоящее время в распределенном фонде недр находится около 10 полиметаллических месторождений, в которых отмечаются повышенные содержания золота и серебра. Запасы золота в этих месторождениях варьируют от 6 до 30 т, серебра – от 263 до 3500 т. Содержания золота в этих месторождениях составляют от 0,6 до 2 г/т, серебра – от 31 до 121 г/т. Наиболее крупным по запасам золота является Ново-Широкинское месторождение (30 т), а по запасам серебра – Нойон-Тологойское (3500 т). Эти месторождения расположены в Забайкальском крае. Также среди полиметаллических месторождений РФ есть уникальное по средним содержаниям золота (12 г/т) и серебра (595 г/т) Зареченское месторождение (Алтайский край).

В ЦНИГРИ за долгие годы накоплен богатый опыт прогноза, поиска и оценки золото-серебро-полиметаллических месторождений. Методика прогноза, поиска и оценки таких месторождений базируется на системном анализе обширного геологического материала. Системный подход позволяет конкретнее определить понятия, связанные с объектами прогноза и возможностями выявления объектов при различной степени изученности и опробования. Это обусловило создание систем прогноз–поиск–оценка и разработку рациональных прогнозно-поисковых комплексов применительно к различным обстановкам поисков.

Данная методика была эффективно применена ЦНИГРИ в перспективных регионах Российской Федерации по развитию минерально-сырьевой базы золото-серебро-полиметаллических руд: Рудный Алтай, Забайкалье и Салаир [2]. В пределах Рудноалтайской минерогенической зоны в нераспределенном фонде недр находятся 8 золото-серебро-полиметаллических месторождений и 4 перспективных площади с прогнозными ресурсами высоких категорий, в пределах Салаир-

ской – 4 месторождения и 3 площади, а в пределах Приаргунской – 7 месторождений и 1 площадь. Суммарные запасы золота в месторождениях нераспределенного фонда по регионам составляют от 7 до 38 т, серебра – от 580 до 1800 т. Содержание золота в этих месторождениях варьирует от 0,4–0,7 до 2–2,5 г/т, серебра – от 12 до 240 г/т.

Из изложенного материала можно сделать ряд выводов.

1. Полиметаллические месторождения РФ в вулканогенных ассоциациях (VMS) обладают уникальной золото-сереброносностью и существенными запасами золота (до 30 т) и серебра (до 3500 т). Месторождения SEDEX и MVT богаты серебром, с незначительными концентрациями золота. Исключением являются объекты Приаргунской минерагенической зоны в терригенно-карбонатных отложениях, в которых содержания золота достигают 4 г/т.

2. В ЦНИГРИ накоплен многолетний опыт по прогнозу и поискам месторождений VMS, SEDEX и MVT в Алтайском крае (Рудноалтайская минерагеническая зона), Кемеровской области (Салаирская минерагеническая зона), Республике Тыва (Улугойская минерагеническая зона), Забайкальском крае (Приаргунская минерагеническая зона), Красноярском крае (Ангари-Большепитская минерагеническая зона) и других регионах. Технология прогнозно-поисковых работ заключается в построении моделей эталонных рудных полей и месторождений и, на их основе, в количественной оценке поисковых критериев и признаков. Цифровая картография позволяет анализировать комплекты прогнозных карт (геологических, литолого-фациальных, формационных, геохимических, геофизических, дистанционных и других) и выделять площади для проведения поисковых работ.

3. Уже завершённые поисковые работы позволили выявить ряд новых проявлений со значительными содержаниями золота и серебра: Петровское, Западно-Захаровское (Рудноалтайская минерагеническая зона), Огнево-Заимковская (Салаирская минерагеническая зона) и другие. Проведённая переоценка ряда известных полиметаллических месторождений нераспределённого фонда недр показала, что средние содержания золота в них варьируют от 0,7 до 2,5 г/т, а серебра достигают 240 г/т. Таким образом, с учётом стратиформного характера оруденения увеличиваются перспективы рентабельной отработки этих месторождений.

Список литературы:

1. Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Прогноз и поиски месторождений свинца и цинка в вулканогенных (VMS) и терригенно-карбонатных ассоциациях (SEDEX) // материалы XIV международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М. : РГГРУ, 2019. – Т. 2. – С. 173–176.
2. Серавина Т. В., Кузнецов В. В. Опыт и результаты прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений 2009–2017 гг. // Руды и металлы. – 2018. – № 3. – С. 16–25.

Серов И. В., Кошкарёв Д. А., Стегницкий Ю. Б. (УМСБ АК «АЛРОСА» (ПАО))

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР С ЦЕЛЬЮ ВОСПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АЛМАЗОВ В СРЕДНЕСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

Рассматриваются актуальные задачи постановки региональных геологических работ стадии регионального геологического изучения недр и прогнозирования коренных месторождений алмазов на Восточно-Европейской и Сибирской платформах.

Ключевые слова: месторождение алмазов, прогнозные ресурсы, минерагеническое районирование.

Совокупный объём минерально-сырьевой базы алмазов на территории РФ, вовлечённый в отработку действующими производственными мощностями, оценивается примерно в 500 млн

карат. Это позволит алмазодобывающим предприятиям поддерживать алмазодобычу на уровне 40 млн кар/год на протяжении ближайших 12 лет. Соответственно, в предстоящее десятилетие имеющаяся сырьевая база отрасли может быть исчерпана на 80 %. Оценивается, что к 2035 г. запасы эксплуатируемых месторождений алмазов будут практически полностью отработаны (Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году», 2020). Балансовые запасы алмазов, которые не вовлечены в эксплуатацию, распределены в месторождениях, отработка которых экономически нецелесообразна при текущей рыночной ситуации. В этой связи перед отраслью стоит весьма острая проблема воспроизводства в РФ выбывающих запасов алмазов.

Отмечается невыполнение показателя (индикатора) государственной программы РФ «Воспроизводство и использование природных ресурсов» по наращиванию ресурсов алмазов по категориям $P_1 + P_2$ (приложение 1 к Постановлению правительства РФ № 347 от 28.03.2019, пункт 1.30), по ресурсам алмазов на 25 %, согласно которому суммарное количество указанных ресурсов к 2020 г. должно составлять 338 млн карат против апробированных в настоящее время 254 (-84 млн карат), а к 2024 г. этот показатель должен достичь 452 млн карат. Одновременно прирост запасов по категории $C_1 + C_2$ должен к 2024 г. составить 225 млн карат.

По опыту прошлых лет этот прирост может обеспечить только открытие нового крупного алмазного месторождения (трубка-лидер) в принципиально новом районе. Известно, что основную долю прироста запасов алмазов в исторической ретроспективе создают новые открытия трубок-лидеров в новых рудных/рудно-россыпных районах (например, Зимнебережный и Среднемархинский). Последующая разведка и эксплуатация вносят уже дополнительный эффект от открытия, приумножая и уточняя запасы в ходе жизни месторождения.

Основным результатом поисковых работ является наращивание ресурсов алмазов по категориям $P_1 + P_2$ за счет нелокализованных ресурсов категории P_3 . Решение вопроса лежит в двух плоскостях: обоснованности P_3 на ранг «кимберлитовое поле» и эффективным комплексированием современных технологий поисков. При этом на фоне сокращающейся МСБ алмазов наблюдается дефицит локализованных площадей для постановки поисковых работ, что значительно снижает вероятность открытия коренных алмазных месторождений с запасами не менее 300–400 млн карат (трубка Мир – 497 млн карат), достаточными для решения вопроса *простого воспроизводства* МСБ алмазов РФ в ближайшем будущем.

Основное мероприятие 1.6 «Воспроизводство минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых» Перечня ведомственных целевых программ государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (приложение 3 к Постановлению правительства РФ № 347 от 28.03.2019, пункт 6), включающего локальный и региональный прогнозы перспективных участков в части проведения таких работ на алмазы, не реализуется. Последнее делает достижение целевых показателей программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» по пункту 1.30 приложения 1 в ближайшей перспективе маловероятным.

Геологические службы алмазодобывающих компаний в основном ведут свою геологоразведочную деятельность в районах действия производственных мощностей для обеспечения горно-обогатительных комбинатов запасами алмазов промышленных категорий на заведомо перспективных (с региональной точки зрения), но уже известных площадях, реализуя остаточные перспективы районов (Мирнинский, Накынский, Далдыно-Алакитский, Мунский). С 2000 г. открыто около 200 кимберлитовых тел, среди которых только одно является месторождением (Майское), а запасы, вовлеченные в эксплуатацию, и запасы в инвестиционной стадии имеют тенденцию к сокращению. При этом полномасштабно реализовывать работы регионального характера, направленные на формирование поискового задела на перспективу, не представляется возможным в силу разных причин (долгосрочные горные отводы УВС, ООПТ или Программы являются затратными по ресурсам).

Таким образом, при постоянном погашении запасов, разведкой глубоких горизонтов известных месторождений достичь параметров простого воспроизводства не получится. При этом опережающих работ под постановку общих поисков не проводится. В рамках ФЗ-44 выставляются участки под ведение поисковых работ с целевой задачей – оценкой P_2 , которые редко где обеспечены современной геологической основой масштаба 50 000. Это отражается в низкой степени

обоснованности нелокализованных ресурсов категории P_3 (обоснованности выставляемых площадей), которые по своей сути охватывают территории ранга «алмазоносный» район и требуют современного взгляда на известные территории с учетом новой геолого-геофизической информации, получаемой, например, в ходе изысканий недропользователей УВС-сектора (Сибирская платформа). На фоне усложнения геологического строения территорий, концентрации поисковых работ в условиях третьего и преимущественно четвертого–пятого геотипов требуется наличие современной геолого-геофизической основы в целях уточнения локализации площадей ранга «кимберлитовое поле»/«куст». При этом не на все рудные районы и перспективные площади имеются современные карты семейства ГСР-200, что сдерживает постановку поисковых работ. Например, открытие трубки Нюрбинская осуществлялось при постановке ГДП-50 с попутными общими поисками коренных месторождений алмазов.

Такие работы целесообразно инициировать под эгидой Минприроды профильным институтам, имеющим опыт в выполнении работ по подготовке карт семейства ГСР-200 нового поколения на перспективные алмазоносные районы с оценкой их минерагенического потенциала, с оперативным выходом на съемки масштаба 1 : 50 000 с попутными общими поисками алмазных месторождений.

Сегодня в северо-западной части РФ основные перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов связаны с Архангельской областью. Для выполнения минерагенического картирования (районирования) масштаба 1 : 500 000 предлагается юго-восточное Беломорье, включающее в себя Зимний берег с известными месторождениями алмазов, Онежский полуостров и прилегающие к югу районы с северо-востоком Ветреного пояса (лист Q-37, за исключением акватории Белого моря, западная часть листа Q-38 и северо-восточная часть листа P-37). Перспективы коренной алмазоносности данной территории базируются главным образом на факторах глубинного строения, геотектонического положения относительно структур кристаллического фундамента, а также магматических признаков и особенности минералогической обстановки в перекрывающих промежуточных коллекторах. Апробированные ресурсы алмазов по категории P_3 оцениваются здесь в 742 млн карат. Требуется актуализация легенд по стратиграфии и магматическим образованиям района, а также формационная типизация имеющихся проявлений щелочно-ультраосновного магматизма и анализ степени достоверности их парагенетической связи с промышленно-алмазоносными кимберлитами. Это работы регионального плана.

В Республике Саха (Якутия) к постановке ГСР-200 предлагаются листы Q48 – XVII, XVIII; Q48 – XXIII, XXIV; Q49 – XIII, XIV; Q49 – XIX, XX (Далдыно-Алакитский алмазоносный район, Томбинская площадь,); Q50 – XVII, XVIII; Q50-XXIII, XXIV; Q51 – XIII, XIV; Q51-XIX, XX (Муно-Тюнгский алмазоносный район, Юлэгирская площадь). В настоящее время на перспективные к изучению площади доступны листы государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000 первого поколения, которые не содержат актуальные данные по геологическому строению недр. Площади листов охватывают Томбинское, Алара-Делингдинское, Салакутское, Юлэгирское кимберлитовые поля с общими апробированными ресурсами категории P_3 200 млн карат. В пределах листов Q-48, Q-49 также выявлены проявления меди, никеля и железа, предполагается платиновая рудоносность некоторых трапповых силлов.

Также являются перспективными прилегающие к Якутии территории Иркутской области и Красноярского края. Результаты прошлых лет не позволяют локализовать территории детальнее рангов «алмазоносный район»/«минерагеническая зона».

Для выправления ситуации необходимо инициировать на уровне Роснедр вопрос по разработке и реализации Ведомственной программы по подготовке современной геолого-геофизической основы по воспроизводству минерально-сырьевой базы алмазов силами подведомственных федеральных бюджетных учреждений Минприроды: Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ»), а также институтов Минобрнауки и Академии наук РФ.

В 2021–2024 гг. по направлению «Алмазы» усилить целевые индикаторы и показатели подпрограммы «Воспроизводство минерально-сырьевой базы, геологическое изучение недр» Государственной программы Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных

ресурсов» в части количества выявленных перспективных площадей на коренную алмазоносность для постановки поисковых работ (единиц) в пределах Центрально-Сибирской субпровинции.

Несомненно, результаты работ регионального геологического доизучения недр и прогнозирования полезных ископаемых позволят создать полноценный поисковый задел для обнаружения новых месторождений алмазов в РФ с соответствующим приростом прогнозных ресурсов алмазов высоких категорий.

Сильянов С. А., Сазонов А. М. (ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»)

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ Au-Sb МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛИМПИАДА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

Рассмотрено распределение элементов-примесей в разновозрастных сульфидных месторождениях. От ранних ассоциаций к поздним уменьшается доля «невидимого» и увеличивается количество свободного золота. Развитие рудного процесса привело к перекристаллизации ранних сульфидов, ремобилизации и переотложению золота в самородной форме. Ранние сульфиды характеризуются As-Au-W-Se-Te геохимической ассоциацией; сульфиды полиметаллов – Cu-Zn-Pb-Cd-In; поздние сульфиды – Sb-Co-Ni-Te-Bi-Pb-Hg-Ag.

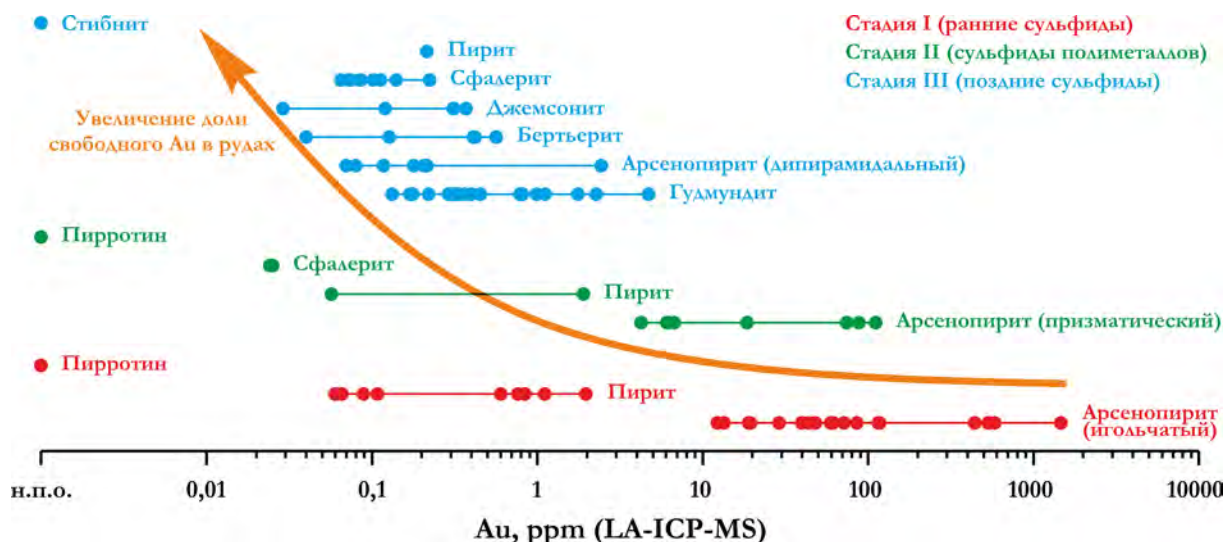
Уникальное по запасам золото-сульфидное Олимпиадинское месторождение расположено в центре Енисейского кряжа. Рудные тела представлены окварцованными и сульфидизированными милонитами силикатно-карбонатных пород кординской свиты сухопитской серии рифея в замке и на крыльях антиклинали [1, 3].

Золото-сульфидные комплексы формировались в три главные стадии в широком временном интервале, неоднородных термодинамических условиях и геохимической специализации рудородного флюида. Ранний (~ 803–795 млн лет) вкрапленный сульфидный комплекс золото-мышьяковых руд месторождения представлен игольчатым арсенопиритом, пиритом, пирротинотом стадии ранних сульфидов (I). Следующий по возрасту (~ 757–718 млн лет) минеральный комплекс сформировался в стадию сульфидов полиметаллов (II). А поздний (~ 615–605 млн лет) золото-сурьмяный комплекс – в стадию поздних сульфидов (III). Геохимическая эволюция гидротермального процесса рассмотрена на результатах LA-ICP-MS изучения арсенопирита, пирита, пирротина, сфалерита, халькопирита, ульманита, тетраэдрита, бертьерита, стибнита, гудмундита и джемсонита, отобранных из руд глубоких горизонтов месторождения.

Преобладающая часть золота в минеральных агрегатах ранних сульфидов находится в «невидимой» форме, связанной в игольчатом арсенопирите, с содержаниями Au 12,5–1512,0 ppm (рисунки). Об этом свидетельствует ровный характер сигнала ^{197}Au на графиках LA-ICP-MS. При этом наличие единичных пиков и «пилообразный» профиль сигнала указывают на присутствие нановключений Au^0 .

Игольчатый арсенопирит-I характеризуется сернистым составом ($\text{S}/\text{As} \sim 1,12$; $(\text{S} + \text{As})/\text{Fe} \sim 2,05$) и низким количеством атомов Fe, находящихся в стехиометричном окружении $\{\text{S}_3\text{As}\}$, до 65 % [2]. Снижение структурной и химической стехиометрии сопровождается увеличением количества «невидимого» Au [2]. Пирит-I отличается незначительными содержаниями «невидимого» Au (~ 0,6 ppm). Максимальное количество Au в арсенопирите, коррелирующее с содержанием W (до 15,4 ppm), а также повышенные содержания Se и Te в арсенопирите-I (до 127,0 и 379,0 ppm) и пирите-I (до 143,9 и 40,0 ppm) определяют As-Au-W-Se-Te минерало-геохимическую специализацию стадии.

Наложение минерального комплекса сульфидов полиметаллов на ранние парагенезисы приводит к перекристаллизации игольчатого арсенопирита, высвобождению и сегрегации части «невидимого» Au. Призматический арсенопирит-II стадии сульфидов полиметаллов содержит меньше «невидимого» Au (4,3–114,0 ppm). Арсенопирит-II структурно и химически стехиометричен ($\text{S}/\text{As} \sim 1,01$; $(\text{S} + \text{As})/\text{Fe} \sim 2,03$), а доля Fe в позиции $\{\text{S}_3\text{As}\}$ повышается до ~ 74 % [3]. Содержание



Содержание золота в разновозрастных сульфидах месторождения

структурно связанного золота в минерале резко уменьшается. Пирит-II содержит низкие концентрации Au ($\sim 0,9$ ppm); единичные анализы устанавливают присутствие благородного металла в сфалерите ($\sim 0,03$ ppm). В сульфидах стадии также отмечено появление примеси Ag до ~ 3 ppm (халькопирит). Сфалерит стадии характеризуется высокими содержаниями Hg (до 1 690,0 ppm), Cd (до 290,7 ppm) и In (до 18,5 ppm). Наличие сульфидов полиметаллов и их микроэлементный состав позволяют обозначить **Cu-Zn-Pb-Cd-In** минералого-геохимическую специализацию стадии сульфидов полиметаллов.

Стилбит-бертьеритовая минерализация сопровождалась образованием сульфосолей, Co-Ni минералов, теллуридов, дипирамидального арсенопирита-III, пирита-III и пирротина-III. Здесь преобладают видимые выделения Au в трещинах и гнездах совместно с минералами сурьмы и теллуридами. Главным минералом-концентратором «невидимого» Au в этой ассоциации является гудмундит (~ 1 ppm). Содержания золота определены почти во всех анализируемых зернах джемсонита (0,03–0,40 ppm) и сфалерита (0,07–0,20 ppm), реже устанавливается его примесь в бертьерите (до 0,6 ppm), единично в тетраэдрите (0,2 и 4,4 ppm) и пирите-III (0,2 ppm). Перекристаллизация арсенопирита-I и II сопровождалась высвобождением Au и его переотложением в металлической форме, а также выравниванием химического состава минерала ($S/As \sim 0,99$; $(S + As)/Fe \sim 2,03$) и упорядочением его структуры. Только в половине проанализированных зерен дипирамидального арсенопирита выявлено наличие «невидимого» Au в концентрациях 0,07–2,40 ppm. Особенности стадии являются максимальные концентрации (ppm) Ag – 3811 (тетраэдрит), Pb – 4310 (бертьерит), Bi – 3262 (джемсонит), Te – 882 (джемсонит) и повышенные Hg – 1123 (сфалерит). Это вместе с минералогическими особенностями определяет **Sb-Co-Ni-Te-Bi-Pb-Hg-Ag** геохимическую специализацию стадии.

Таким образом, промышленные концентрации золота в рудах образовались на стадии ранних сульфидов в структурно-связанной и наноразмерной металлической форме в игольчатом арсенопирите. Развитие гидротермального процесса с формированием полиметаллической и стилбит-бертьеритовой минерализации привело к перекристаллизации ранних сульфидов и индивидуализации золота в виде самостоятельных частиц.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90017\19.

Список литературы:

1. Сазонов А. М., Звягина Е. А., Сильянов С. А. [и др.]. Рудогенез месторождения золота Олимпиада (Енисейский край, Россия) // Геосферные исследования. – 2019. – № 1. – С. 17–43.

2. Sazonov A. M., Silyanov S. A., Bayukov O. A. [et al.]. Composition and Ligand Microstructure of Arsenopyrite from Gold Ore Deposits of the Yenisei Ridge (Eastern Siberia, Russia) // Minerals. – 2019. – № 9. – 737.
3. Sazonov A. M., Lobanov K. V., Zvyagina E. A. [et al.]. Olympiada Gold Deposit, Yenisei Ridge, Russia // Geology of the world's major gold deposits and provinces / eds. R. H. Sillitoe, R. J. Goldfarb, F. Robert, S. F. Simmons : Society of Economic Geologists. Spec. Publ., № 23. – 2020. – P. 203–226.

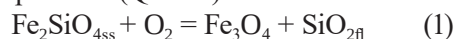
**Симакин А. Г.^{1,2}, Шапошникова О. Ю.¹, Салова Т. П.¹, Некрасов А. Н.¹,
Покровский Г.³, Борисова А. Ю.³ (¹ ФГБУН «Институт экспериментальной
минералогии РАН», ² ФГБУН «Институт Физики Земли РАН»,
³ Géosciences Environnement Toulouse, GET - CNRS, France)**

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭПГ КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФЛЮИДА СИСТЕМЫ С-О-Н И ОЛИВИНСОДЕРЖАЩЕГО КУМУЛУСА МАГМАТИЧЕСКИХ ИНТРУЗИЙ

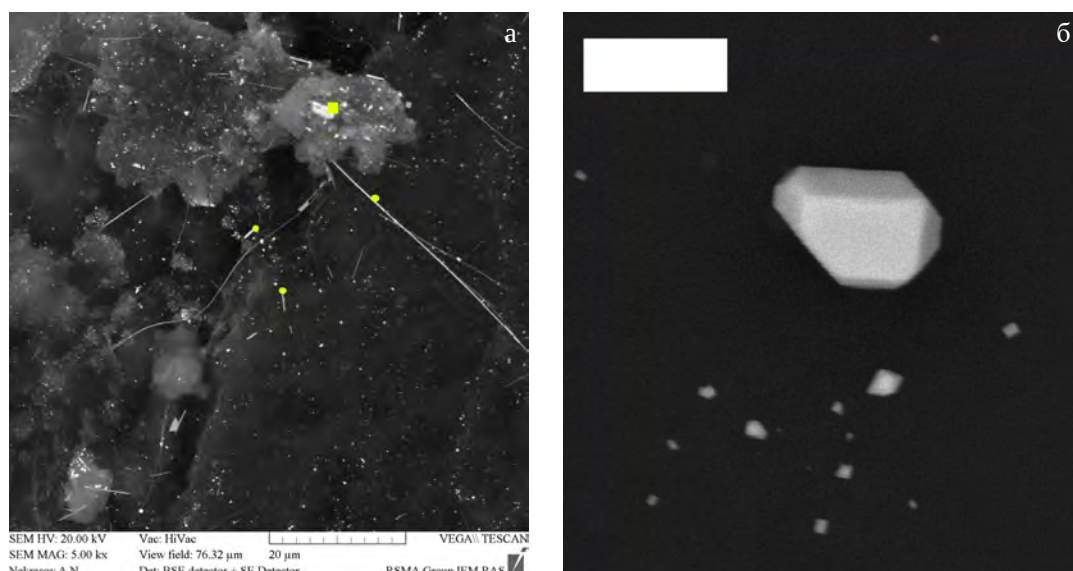
*Интерметаллиды платины и железа преобладают в некоторых типах месторождений ЭПГ, связанных с ультрабазит-базитовыми и ультрабазит-щелочными интрузивными комплексами. Эти парагенезисы характеризуются низкими летучестями кислорода на уровне, близком к буферу ССО (около QFM-2). Экспериментальными исследованиями при $P = 200$ МПа и $T = 950$ °С показано, что при реакции оливина с существенно углекислым флюидом происходят окисление фаялитового минала и восстановление флюида с обогащением его СО. ЭПГ растворяются в таком флюиде в субсолидусных условиях в виде карбониллов. Изоферроплатина и сплавы платины с меньшим содержанием железа получены экспериментально при кристаллизации из флюида СО-СО₂. ЭПГ также могут быть мобилизованы при реакции окисления *mss* углекислым газом и переотложены на геохимических барьерах в магматическом кумулусе с образованием месторождений типа рифа Меренского.*

Ключевые слова: платина, карбонил, оливиновый кумулус, изоферроплатина.

При плавлении в зонах субдукции максимальные содержания благородных металлов в магме обеспечиваются высокой летучестью кислорода, исключающей образование сульфидной фазы. Кристаллизация окисленной ультрабазитовой магмы ведет к образованию дунит-габбровых комплексов с ЭПГ, рассеянными в виде микровключений металлов. Важным фактором, ведущим к локализации благородных металлов, является постмагматическое взаимодействие флюида и оливина магматического кумулуса. В субсолидусных высокотемпературных условиях ($T \approx 900$ – 1000 °С) при реакции окисления фаялитового компонента оливина летучесть кислорода во флюиде падает вплоть до уровня буфера ССО (QFM-2)



Магнетит может образовывать самостоятельную фазу или минал шпинели. Реакция (1) сдвигается вправо при понижении активности кремнезема. Активность кремнезема особенно понижается на контакте с магматическими скарнами (буферируется равновесиями MgO-Ol , Mtch-Di) и с щелочными породами (магмами). Параметры реакции (1) для водно-углекислого флюида рассчитаны термодинамически [1], а для углекислого флюида реакция исследована экспериментально. Установлено, что при реакции с СО₂ магнезиальность оливина растет, а окисленное железо образует твердый раствор магнетита и магнезиоферрита. В восстановленном существенно углекислом флюиде при $P = 200$ – 300 МПа и $T = 900$ – 1000 °С содержание СО растет вплоть до 10–15 мол. %. В природе в восстановительных условиях ЭПГ растворяются во флюиде преимущественно в виде карбониллов, а возможно, и смешанных карбонил-галогенных комплексов. По нашим экспериментальным данным, растворимость платины в виде карбонила $P = 200$ МПа и $T = 950$ °С составляет от 15 [2] до 150 ppm (последние данные) в зависимости от содержания СО. Золото также растворяется в этом флюиде [3]. При кристаллизации из флюида образуются сплавы платины и же-



Закалочные кристаллы интерметаллидов платины и железа, осажденные из флюида состава CO-CO₂:

а – на поверхности платиновой ампулы (кружками обозначены проанализированные частицы – среднее атомное отношение Pt/Fe = $4,2 \pm 0,6$, квадратом отмечена частица платины, механически отделенная от стенки Pt/Fe = 208). Поверхность ампулы покрыта пленкой аморфного стеклогуглерода с мельчайшими частицами платины; б – во флюидной ловушке, ширина масштабного прямоугольника 2 мкм

леза вплоть до Pt₃Fe. Также наблюдается активная адсорбция карбонила на углероде с ростом содержания платины в углеродном агрегате до 2000–3000 ppm в форме, растворимой в ацетоне (после закалки) (рисунок).

При образовании сульфидного расплава содержащиеся в магме ЭПГ практически полностью концентрируются в нем. Нами исследовано окисление FeS, составляющего основу mss, углекислым флюидом. При реакции окисления в субсолидусных условиях ($T = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$) образуются магнетит, COS и CO. В эксперименте низкая летучесть серы обеспечивается платиной ампулы. COS разлагается с образованием PtS, компонента твердого раствора с FeS, и CO. В природе низкая летучесть серы обеспечивается присутствием меди – элемента более халькофильного, чем железо. Сера связывается в халькопирите, а CO обогащает флюид, активно растворяющий и переотлагающий ЭПГ. С предложенными механизмами могут быть связаны основные стадии формирования многих магматических месторождений ЭПГ с преобладанием самородной формы металлов.

Работа была поддержана грантами РФФИ № 18-05-00597 и Metchnikov program, France.

Список литературы:

1. Simakin A. G., Kislov E. V., Salova T. P., Shaposhnikova O. Yu., and Nekrasov A. N. Reduced CO₂ Fluid as an Agent of Ore-Forming Processes: A Case Study of Dolomite-Replacement Skarns at the Yoko-Dovyren Massif // *Petrology*. – 2019. – V. 27, № 1. – P. 1–16.
2. Simakin A. G., Salova T. P., Gabitov R. I., Isaenko S. I. Dry CO₂–CO fluid as an important potential deep Earth solvent // *Geofluids*. – 2016. – V. 16. – P. 1043–1057.
3. Simakin A. G., Salova T. P., Gabitov R. I., Kogarko L. N., Tyutyunnik O. A. Gold Solubility in Reduced Carbon-Bearing Fluid // *Geochemistry International*. – 2019. – V. 57, № 4. – P. 400–406.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

Показаны возможности использования геоэлектрохимической съемки по наложенным ореолам рассеяния при поисках не выходящего на поверхность золотого оруденения. В качестве примера приведены результаты комплексной геохимической съемки на одной из площадей Бодайбинского золоторудного района.

Ключевые слова: геоэлектрохимическая съемка, наложенные ореолы рассеяния, Бодайбинский золоторудный район, золото-кварц-сульфидное оруденение в черносланцевых толщах.

Геоэлектрохимическая съемка позволяет регистрировать концентрации легкоподвижных форм химических элементов, образующиеся за счет гальванических процессов, происходящих в геологической среде, что отражено в названии метода. Многие рудные тела являются природными гальваническими элементами. Такая модель демонстрируется на примере сульфидной рудной залежи.

Подвижные формы элементов обладают способностью проникать сквозь перекрывающие толщи пород и накапливаться в природных сорбентах почвенного слоя. Модель формирования струйных ореолов подвижных форм имеет теоретическое обоснование [3] и подтверждена полевыми и лабораторными экспериментами [2].

Наложённые ореолы, возникающие в почвенном слое, характеризуются очень низкими значениями концентраций. Приводятся значения концентраций для некоторых рудных элементов и пределы их обнаружения современными лабораторными средствами.

Для селективного извлечения подвижных форм из почв существуют различные полевые и лабораторные методы [1]. Нами в практике работ используются метод диффузионного извлечения (МДИ) и термомагнитный геохимический метод (ТМГМ), которые были разработаны во Всесоюзном научно-исследовательском институте разведочной геофизики (ВИРГ) в конце 1980-х и начале 1990-х годов.

При проведении полевых работ геохимические пробы МДИ и ТМГМ отбираются из того же почвенного слоя, что и при традиционной литогеохимической съемке по вторичным ореолам рассеяния. Однако в отличие от нее этими методами фиксируются не только объекты, выходящие на поверхность (первичные и вторичные ореолы), но и «слепые» рудные тела, залегающие на глубинах 100–200 м.

В докладе приводятся результаты комплексной геохимической съемки по наложенным (МДИ, ТМГМ) и вторичным (ВОР) ореолам рассеяния, проведенной на одной из площадей в Бодайбинском золоторудном районе. Площадь включает проявление с непромышленной золото-кварц-сульфидной минерализацией в черносланцевой толще.

Список литературы:

1. Ворошилов Н. А., Алексеев С. Г., Штокаленко М. Б. Поиски рудных месторождений по наложенным ореолам рассеяния // Российский геофизический журнал. – 2016. – № 55–56. – С. 10–38.
2. Духанин А. С., Алексеев С. Г., Сенчина Н. П. Структура струйных ореолов рассеяния глубокозалегающих месторождений Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 80. – С. 75–94.
3. Путиков О. Ф. Основы теории нелинейных геоэлектрохимических методов поисков и разведки. – СПб. : СПбГУ, 2009. – 534 с.

Скопенко Н. Ф., Красоткин С. И., Зуйкова Ю. Л., Алексеев С. Г. (ЗАО КЦ «РОСГЕОФИЗИКА»),
Иванов А. И. (ООО «Полевая геофизика»)

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Геоэлектрохимическая съемка позволяет регистрировать концентрации легко подвижных форм химических элементов, образующиеся за счет гальванических процессов, происходящих в геологической среде, что отражено в названии метода. Многие рудные тела и нефтяные залежи являются природными гальваническими элементами. Демонстрируется пример природного химического гальванического элемента на примере сульфидной рудной залежи.

Подвижные формы обладают способностью проникать сквозь перекрывающие толщи пород и накапливаться в природных сорбентах почвенного слоя. Модель формирования струйных ореолов подвижных форм имеет теоретическое обоснование [1] и подтверждена полевыми и лабораторными экспериментами [2].

Наложенные ореолы, возникающие в почвенном слое, характеризуются очень низкими значениями концентраций. Приводятся значения концентраций для некоторых рудных элементов и пределы их обнаружения современными лабораторными средствами.

Для селективного извлечения подвижных форм из почв существуют различные полевые и лабораторные методы [3]. Дается презентация двух лабораторных методов, которые используются нами в практике работ: метод диффузионного извлечения (МДИ) и терромагнитный геохимический метод (ТМГМ).

Эти методы были разработаны во Всесоюзном научно-исследовательском институте разведочной геофизики (ВИРГ) и в конце 80-х и начале 90-х годов начали активно внедряться в практику поисковых работ, но в период экономической перестройки этот процесс резко затормозился. Сейчас интерес к ним растет в связи с необходимостью поиска скрытого и глубокозалегающего оруденения.

В докладе приводятся примеры обнаружения рудных залежей некоторых видов полезных ископаемых на глубинах до 100–200 м.

Список литературы:

1. Путиков О. Ф. Основы теории нелинейных геоэлектрохимических методов поисков и разведки. – СПб. : СПбГУ, 2009. – 534 с.
2. Духанин А. С., Алексеев С. Г., Сенчина Н. П. Структура струйных ореолов рассеяния глубокозалегающих месторождений Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 80. – С. 75–94.
3. Ворошилов Н. А., Алексеев С. Г., Штокаленко М. Б. Поиски рудных месторождений по наложенным ореолам рассеяния // Российский геофизический журнал. – 2016. – № 55–56. – С. 10–38.

Специус З. В., Бардухинова А. В. (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО))

ДАННЫЕ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МИНЕРАЛОВ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ КАК ПОКАЗАТЕЛИ ГЕТЕРОГЕННОСТИ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ

Представлены результаты газохроматографического анализа минералов мантийных ксенолитов из кимберлитов (> 160 образцов), полученные с помощью хроматографа GC-2010 (SHIMADZU, Япония). Наиболее высокое содержание CO₂ и различных гомологов углеводородов установлено

в ортопироксенах и флогопитах. Высокие содержания газовых компонентов установлены в гранате, который принят в качестве реперного минерала. В гранатах ксенолитов доминирует содержание H_2O (4–80 ppm), которое выше (1,5–2 раза) количества CO_2 , содержание которого (16–28 ppm) почти на порядок превышает суммарное содержание всех других компонентов. Обсуждена флюидонасыщенность гранатов в эклогитах с алмазами из трубок Интернациональная, Мир, Удачная и Комсомольская.

Ключевые слова: газовая хроматография, мантийные ксенолиты, гранаты, кимберлиты.

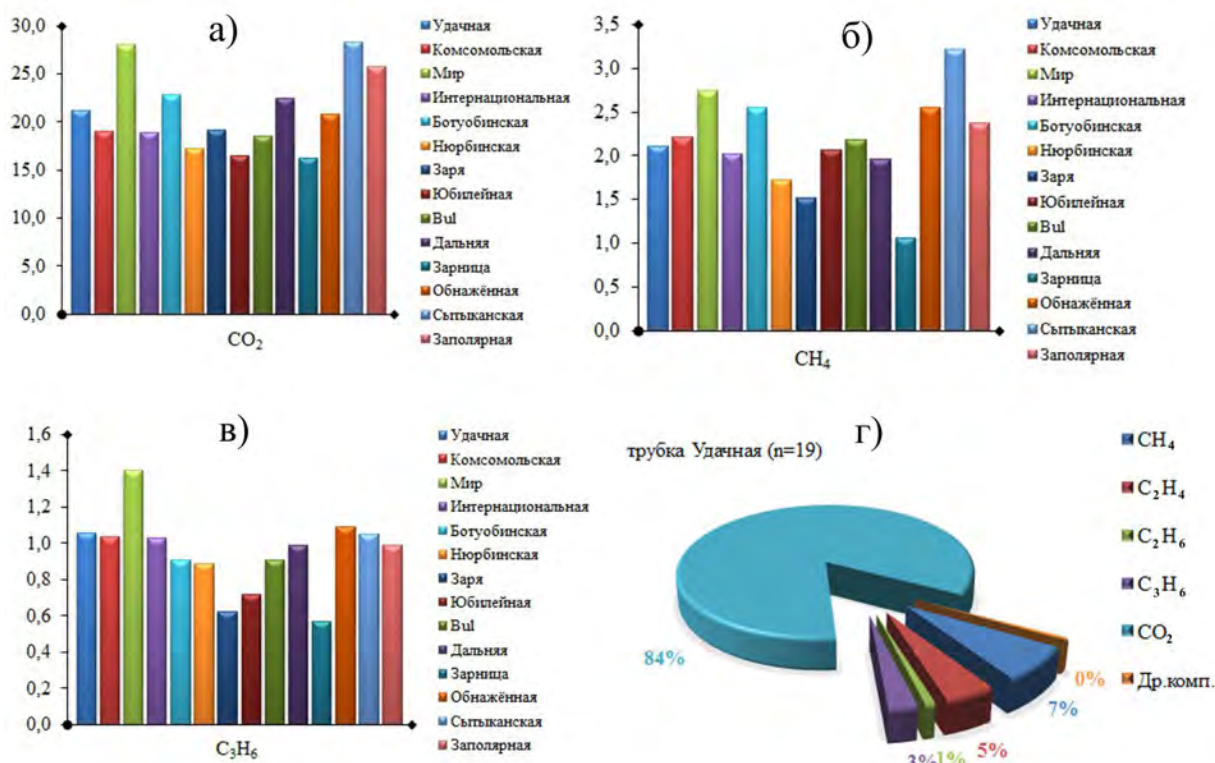
В контексте латеральной геохимической неоднородности субконтинентальной литосферной мантии (СКЛМ) предпринята попытка оценки флюидного режима при формировании и последующей эволюции мантийных пород в процессе метасоматоза с использованием метода газовой хроматографии. В результате многочисленных экспериментов была разработана специализированная методика определения содержания газов в минералах мантийных и отдельных коровых ксенолитов. Определение состава и количества газовой фазы проводилось на газовом хроматографе GC-2010 Plus series (SHIMADZU, Япония), укомплектованном двумя детекторами: пламенно-ионизационным (FID) и катарометром (TCD). Для анализа использовалась навеска $m = 0,02$ г, крупностью менее $-0,1$ мм с предварительной очисткой минералов от примесей в течение 2 часов 30%-ной неорганической кислотой HCl. Корректность данных обеспечена качеством отбора монофракций минералов и единообразием процесса газохроматографического анализа, что позволило осуществить сравнение содержания газовой фазы в минералах мантийных пород различных полей СКЛМ ЯАП.

Газо-хроматографические данные как показатели неоднородности СКЛМ. Оценена насыщенность флюидами всех порообразующих минералов ксенолитов мантийных пород, а также большинства акцессорных минералов. Наиболее высокое содержание CO_2 и различных гомологов углеводородов установлено в ортопироксенах и флогопитах. Достаточно высокие содержания газовых компонентов установлены в гранатах, акцессорных шпинелях и рутиле, наименее низкие содержания газовых компонентов характерны для кианита и корунда.

В качестве реперного минерала для оценки газовой-флюидного режима принят гранат, который является наиболее устойчивым минералом и присутствует практически во всех типах мантийных пород. Обобщенные усредненные результаты содержаний газовых компонентов в гранатах ксенолитов, преимущественно мантийных пород из кимберлитовых трубок различных полей приведены на рисунке. По результатам анализов в гранатах из всех ксенолитов доминирует содержание H_2O (4–70 ppm), которое всегда выше (в 1,5–2 раза) количества CO_2 , содержание которого (16–28 ppm) почти на порядок превышает суммарное содержание всех других компонентов. Это соответствует условиям образования ксенолитов и сопоставимо с содержанием флюидов в алмазах [1]. Третье место по распространённости в составе газов занимает метан, количество которого варьирует от 1 до 4 ppm в гранатах различных трубок. Относительно повышены также содержания C_3H_8 . Остальные гомологи менее распространены и менее информативны. Поэтому при сравнительном анализе газовой составляющей гранатов в ксенолитах различных трубок и, соответственно, различных полей на гистограммах нами используются только три основных компонента.

Из приведенных построений очевидно существенное различие в газовой-флюидном режиме образования гранатов в ксенолитах различных трубок. Повышенные содержания O_2 , C_2H_4 и C_3H_8 фиксируются в гранатах из ксенолитов трубок Ботубинская и Нюрбинская, что согласуется с петрологическими данными по составу мантийного субстрата СКЛМ этого поля. Неожиданно высоким оказалось содержание всех вышеперечисленных компонентов в гранатах из ксенолитов трубок Мир. Естественно, отмечено высокое содержание газовых компонентов в гранатах из трубок Удачная, Комсомольская и Юбилейная, в связи с развитием метасоматоза и частичного плавления в ксенолитах [2].

Целесообразно обсудить флюидонасыщенность гранатов из эклогитов с алмазами, поскольку в данном случае для анализов были использованы идентичные породы, которые образовались на одинаковых уровнях мантии и при сходных P - T параметрах. Флюидонасыщенность гранатов



этих эклогитов близка ксенолитам из трубки Удачная. Наиболее высокие количества CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆ и CO₂ установлены в гранате эклогитов из трубки Комсомольская; сходные содержания всех компонентов отмечены в гранатах эклогитов с алмазами из трубок Мир и Интернациональная, за исключением более высокого содержания C₂H₄ в гранатах эклогитов из трубки Мир.

Список литературы:

1. Navon O., Hutcheon I. D., Rossman G. R., Wasserburg G. J. Mantle-derived fluids in diamond micro-inclusions // Nature. – 1988. – V. 335. – P. 784–789.
2. Spetsius Z. V., Taylor L. A. Partial Melting in Mantle Eclogite Xenoliths: Connection with Diamond Paragenesis // Geology Review. – 2002. – V. 44. – P. 973–987.

Спирина А. В., Викентьев И. В.

(ФГБУН ИГЕМ РАН; Инженерная академия, Российский университет дружбы народов)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЧЕДАННЫХ РУД НОВО-УЧАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

В работе рассмотрены особенности рудообразования Ново-Учалинского колчеданного месторождения, которое залегает на глубине – от поверхности от 550 м на севере до 1300 м на юге и относится к существенно цинковому подтипу уральского типа. Традиционно Ново-Учалинское месторождение описывалось как слабопреобразованный рудный объект. В результате проведения детализационных разведочных работ были выявлены признаки, указывающие на значительное преобразование первичных сульфидных руд под действием контактового и динамического метаморфизма.

Ключевые слова: Ново-Учалинское колчеданное месторождение, метаморфизм, минеральный состав руд.

Руды колчеданных месторождений являются источником меди, цинка, реже свинца; попутно из них добывают Au, Ag, Cd, In, Co, Ni, Se, Te и некоторые другие редкие и рассеянные элементы. Крупное Ново-Учалинское месторождение является представителем колчеданных месторождений уральского типа и основой минерально-сырьевой базы Учалинского ГОКа, одного из крупнейших горнодобывающих предприятий страны. Оно было открыто в 1986 году геологами треста Уралцветметразведка при проведении детальных поисков на южном фланге соседнего Учалинского месторождения. Изучалось сотрудниками ИГ УНЦ РАН, ЦНИГРИ, ИГЕМ РАН, ИМин УрО РАН. Однако некоторые аспекты рудообразования столь крупного объекта остались неясны. В связи с детальной разведкой месторождения (с помощью подземных горных выработок и веером скважин) появилась возможность доисследования особенностей его формирования.

На сегодняшний день гипотеза А. Н. Заварицкого о связи колчеданных месторождений с вулканизмом считается общепризнанной. Однако далее, в деталях, мнения исследователей относительно условий формирования колчеданных руд расходятся. Сторонники гидротермально-осадочного генезиса [3] считают их субмаринными отложениями, сформированными на морском дне. Другая же часть исследователей придает большее значение гидротермально-метасоматическому минералообразованию [7] или указывает на важное значение в преобразовании руд метаморфизма [11]. Большинство склоняется к комбинированному механизму образования колчеданных залежей: часть вещества (в основном верхи сульфидных построек) откладывалась гидротермально-осадочным способом, а внутри него и в зоне рудоподводящих каналов, то есть, по сути, преобладающая масса сульфидного вещества – гидротермально-метасоматическим [5, 9]. Для многих колчеданных залежей, прежде всего для крупных (например, Иберийский Пиритовый пояс, Урал, Рудный Алтай), предполагается двухстадийное образование залежей, где в первую стадию рудоотложение происходило гидротермально-осадочным способом, а во вторую стадию, после перекрытия ранних, существенно пиритовых руд вулканическими породами или осадками – более эффективным гидротермально-метасоматическим [2, обсуждение].

Детали рудообразования медно-цинково-колчеданного Ново-Учалинского месторождения остаются спорными. Оно приурочено к крылу антиклинальной складки и залегает среди вулканитов риолито-базальтовой толщи среднедевонского возраста (D_{2ef}) [4]. Среди субвулканических и интрузивных образований месторождения закартированы серии силлов и даек долеритов и микрогаббро, а также габбро-диоритов, предположительно датированных в интервале D_3-C_1 . Месторождение представлено крупной линзой, осложненной раздувами и пережимами, и перекрыто мощной толщей базальтов – от 550 м на северном фланге до 1600 м на юге. Большинство исследователей считают, что рудная залежь месторождения формировалась в субмаринных условиях – гидротермально-осадочным способом, а после перекрытия ее мощной толщей базальтов гидротермально-метасоматическим способом, а далее было деформировано в антиклинальную складку [6, 8]. Г. Н. Пшеничный с соавторами высказали мнение, что колчеданные руды месторождений Южного Урала, и Ново-Учалинского месторождения в частности, являются полигенными и полихронными образованиями с дискретностью процессов минералообразования и большой продолжительностью их во времени [7].

В формировании руд месторождения выделяются два крупных этапа: синвулканический и метаморфический. В первый этап рудоотложение происходило комбинированно: гидротермально-осадочным и метасоматическим способами. Синвулканический этап рудообразования характеризуется последовательной сменой процессов вулканизма и рудоотложения, что обуславливает стадийность данного этапа. Этот этап связан с завершением формирования вулканитов рудовмещающей толщи и на ранней стадии выражен в образовании ранних, существенно пиритовых (пропиритовых, по [7]) руд; по сути, это серноколчеданные руды с низкой долей полисульфидной минерализации, и встречаются они довольно локально. Типичные признаки первичного гидротермально-осадочного рудообразования: агрегаты колломорфного строения, фрамбоиды, почки, образования радиально-лучистого строения. Вторую стадию данного этапа мы считаем главной рудообразующей, а соответствующие руды рассматриваем вслед за Г. Н. Пшеничным [7] как эпигенетические по отношению к «раннепиритовым» рудам. Эта стадия синвулканического этапа характеризуется формированием основной массы медно-цинковых, цинковых и редких медистых руд. Не исключено, что по времени завершение первого этапа сопряжено с началом масштабных

деформаций колчеданной залежи. Таким образом, мы, как и авторы работы [6], выделяем синвулканический этап колчеданообразования, происходивший гидротермально-осадочным и гидротермально-метасоматическим способами.

В последующий метаморфический этап происходили преобразования, связанные с тектоническими деформациями [6], а также контактовым метаморфизмом, то есть руды месторождения были преобразованы под воздействием динамометаморфизма и даек. Благодаря проведению детализационных эксплуатационно-разведочных работ были выявлены изменения в морфологии залежи, осложненной раздувами и пережимами, и в поперечном разрезе она нередко имеет «причудливую» форму.

Руды месторождения преимущественно сплошные (90 %), имеют массивную текстуру; в приконтактных частях с дайками и вмещающими породами развиты полосчатые и гнейсовидные руды; в висячем боку встречаются брекчиевидные; в лежащем боку залежи наблюдается постепенный переход сплошных руд во вкрапленные, далее сменяющихся кварц-серицитовыми метасоматитами. Среди структур руд преобладают кристаллически-зернистые разности; в участках, испытавших значительный динамометаморфизм, наблюдается укрупнение агрегатов главных минералов (пирит, халькопирит, сфалерит) и увеличение частоты встречаемости второстепенных минералов (блеклой руды, галенита, магнетита); здесь появляется видимое самородное золото.

Особое внимание было уделено взаимоотношениям руды и крупной дайки габбро-диоритов. Было выявлено 2 типа приконтактных зон, как и на соседнем Учалинском месторождении [1] преобразованию здесь подвергались не только руды, но и сами дайки. В одном случае значительных изменений не наблюдалось, происходило брекчирование руды, а иногда и дробление приконтактной части самой дайки. Вследствие закалки ближе к контакту с рудой уменьшался размер зернистости габбро-диоритов. В зоне контакта в дайке наблюдались окварцевание, гематитизация и хлоритизация; здесь встречены мелкие (доли мм) округлые агрегаты сульфидов, окруженные кварц-карбонатной зонкой. Микроскопически в руде была установлена цементация обломков пирита халькопиритом, блеклой рудой, и появляется галенит. Близ контакта в руде происходит укрупнение агрегатов халькопирита, блеклой руды; здесь чаще наблюдаются структуры распада твердого раствора в виде закономерно распределенных эмульсиевидных включений халькопирита в сфалерите. Другой тип контакта характеризуется появлением поздней полиминеральной ассоциации: крупные (до первых мм) агрегаты магнетита в ассоциации с блеклой рудой, галенитом и сфалеритом, иногда они развивались на видимом расстоянии до 1,5–2 м от дайки.

Авторами была предложена схематическая реконструкция месторождения, демонстрирующая последовательность стадий его деформирования и становления современной складчатой структуры. В результате латерального сжатия и соскладчатых деформаций произошло «выжимание» сульфидов в замковую часть крупной антиклинальной складки с образованием раздува, что сопровождалось слабым перераспределением химических элементов, а руды приобретали гнейсовидную и полосчатую текстуру в зонах выклинивания и вдоль контактов с вмещающими породами [10]. Локальная миграция химических элементов проявлена и на контакте с крупной дайкой.

Все вышеперечисленные признаки характеризуют заметное преобразование руд месторождения под воздействием динамометаморфизма и локального контактового метаморфизма. Таким образом, месторождение имеет более сложное строение и историю рудообразования, чем это предполагалось ранее.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 20-05-00849.

Список литературы:

1. Бородаевская М. Б., Пирожок П. И., Курбанов Н. К., Нафиков У. С. Возрастные соотношения даек и колчеданных руд в Учалинском рудном поле (Южный Урал) // Труды ЦНИГРИ. – 1967. – Вып. 67. – С. 119–141.
2. Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М. : Научный мир, 2004. – 344 с.
3. Масленников В. В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей. – Миасс : Геотур, 1999. – 348с.

4. Маслов В. А., Артюшкова О. В. Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии. – Уфа : ИГ УфНЦ РАН, 2000. – 140 с.
5. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологические условия размещения / В. А. Прокин, И. Б. Серавкин, Ф. П. Буслаев [и др.]. – Екатеринбург : УрО РАН, 1992. – 307 с.
6. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината / Серавкин И. Б., Пирожок П. И., Скуратов В. Н. [и др.]. – Уфа : Башкирское книжное изд-во, 1994. – 328 с.
7. Ново-Учалинское медно-цинковоколчеданное месторождение Южного Урала / Пшеничный Г. Н., Волькинштейн М. Я., Николайченков Ю. С. [и др.]. – Уфа : УНЦ РАН, 1999. – 420 с.
8. Пирожок П. И. Геологическое строение, зональность и генезис Новоучалинского колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – № 3. – С. 7–12.
9. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. – М. : Недра, 1989. – 326 с.
10. Спирина А. В., Макаров В. В., Моисеев И. Б., Викентьев И. В. Детализация морфологии рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2020. – № 2. – С. 35–46.
11. Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 85. – P. 30–63.

Старостин И. А., Гирфанов М. М., Андреев А. В., Авилова О. В. (ФГБУ «ЦНИГРИ)

ОСОБЕННОСТИ РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ И МОРФОЛОГИИ РУДНЫХ ТЕЛ ЗОЛОТО-МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

Рассмотрена зональность метасоматических изменений и морфология рудного тела золото-молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр, расположенного в пределах Верхне-Енисейской субпровинции Алтае-Саянской минерагенической провинции. Отмечен ряд основных особенностей элементов строения, которые отличают данный объект от типовой модели медно-порфировых месторождений.

Ключевые слова: Ожинский рудный район, Алтае-Саянская минерагеническая провинция, месторождение Кызык-Чадр, медно-порфировое оруденение, рудно-метасоматическая зональность.

Среднее по масштабам золото-молибден-медно-порфировое месторождение Кызык-Чадр расположено в пределах Ожинского рудного района Алтае-Саянской минерагенической провинции. Месторождение локализовано в краевой части интрузивного палеоподнятия, образованного полиформационным батолитоподобным плутоном, в зоне влияния субширотного глубинного разлома. Оруденение пространственно и генетически связано с полифазным массивом рудоносного габбро-диорит-гранодиорит-гранитового кызык-чадрского интрузивного комплекса (C_{2-3}), прорывающего метаморфизованную вулканогенно-осадочную толщу ($\text{V}-\text{C}_1$) [3].

Штокверковое золото-молибден-медно-порфировое оруденение месторождения локализовано в экзо-эндоконтактной зоне вытянутого в субширотном направлении крутопадающего пластинообразного интрузива гранодиорит-порфиров и контролируется зонами трещиноватости и расщеливания в гранитоидах главных фаз продуктивного комплекса [1].

Оруденение представлено пиритовой, магнетитовой, борнит-халькопиритовой, пирит-молибденит-халькопиритовой, халькопирит-блеклорудной и золото-полисульфидно-кварцевой минеральными ассоциациями. Концентрически зональный ореол метасоматических изменений, сопровождающих прожилково-вкрапленную сульфидную минерализацию, в пределах месторождения образован телескопированием кремне-щелочных (калиевых), пропилитовых и филлизитовых изменений [4].

Калиевые изменения ограниченно распространены в центральной (осевой) части комплексного метасоматического ореола месторождения и проявлены в виде окварцевания, калишпатизации и хлоритизации. В отличие от типичных медно-порфировых месторождений, вторичный биотит (либо его достоверно определяемые реликты) в пределах калиевой зоны месторождения не установлен.

Пропилитовые изменения представлены двумя зонами – внешней и внутренней. Зона внутренних пропилитов представлена окварцеванием, хлоритизацией и альбитизацией. В подчиненных количествах могут присутствовать эпидот, серицит, карбонат. Данная зона достаточно определенно выделяется как визуально, так и по результатам петрографических исследований. Изменения внешней пропилитовой зоны развиты на периферии рудно-метасоматического ореола месторождения, представлены следующими типоморфными минералами: хлорит, минералы эпидот-цоизитового ряда, альбит, иногда кальцит, редко серицит. С удалением от рудоносной зоны пропилиты переходят в зону слабых гидротермальных изменений, трудноотличимых от продуктов регионального метаморфизма.

Филлизитовые изменения являются ведущим типом метасоматических изменений в пределах месторождения и на его флангах. Они выражены интенсивно проявленными серицитизацией, окварцеванием и хлоритизацией; иногда присутствуют карбонатизация и альбитизация. Филлизитовые изменения сопровождаются штокверком кварцевых и карбонат-кварцевых прожилков и маломощных жил. Большинство пород, в которых проявлены филлизитовые изменения, подверглось интенсивно тектонической проработке – катаклазу, брекчированию, милонитизации. К филлизитовым изменениям приурочен основной объем сульфидной минерализации рудопоявления и его флангов. Широкое развитие филлизитовых изменений на месторождении Кызык-Чадр, как и редуцированное развитие калиевых изменений, является характерной особенностью данного объекта.

Тело золото-молибден-медно-порфировых руд месторождения представляет собой крутопадающий линейный штокверк (1700×100–300×300–500 м), который располагается внутри поля распространения молибденит-пирит-халькопиритовой минеральной ассоциации и приурочен к областям сопряжения калиевой, филлизитовой и внутренней пропилитовой зон метасоматических изменений. Полиметаллическая минерализация распространена фрагментарно в узких крутопадающих линейных зонах, контролируемых разрывными нарушениями. К ним же приурочены и локально проявленные участки развития блеклорудной минерализации. Золотая минерализация развита неравномерно, фиксируется как в связи с полисульфидной и мышьяковистой минерализацией в зонах тектонических нарушений, так и в сочетании с максимумами проявления молибденит-пирит-халькопиритовой ассоциации. В пределах внешних частей филлизитовой и внешней пропилитовой зон развита прожилково-вкрапленная минерализация существенно пиритового состава («пиритовый ореол»). На периферии рудного тела присутствуют золото-сульфидные минерализованные зоны мощностью до 14 м и протяженностью 40–170 м с осевыми кварцевыми жилами.

Основные элементы строения месторождения Кызык-Чадр в целом отвечают типовой модели медно-порфировых месторождений [2]. Однако отмечается ряд особенностей морфологии рудных тел и вещественного состава этого месторождения: лентовидная в плане и поперечном сечении форма минерализованной зоны, редуцированное распространение калиевой зоны с практически полным отсутствием реликтов вторичного биотита и резкое преобладание филлизитовых изменений. Эти особенности могут быть обусловлены формированием оруденения в пределах долгоживущей разломной зоны, экранирующим эффектом вмещающей интрузив метаморфизованной толщи и преимущественно кислым составом вмещающих оруденение интрузивных пород.

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 : сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 166–167.
2. Медно-порфировые месторождения / под ред. А. И. Кривцова // Модели месторождений благородных и цветных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 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., Гирфанов М. М. Рудно-метасоматическая зональность медно-порфирового рудопроявления Кызык-Чадр (Республика Тыва) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 200.

Столяренко В. В.¹, Минаков А. В.², Алферова В. А.¹, Рябошапка А. Г.¹, Минаева С. В.¹
(¹ ФГБУ «ЦНИГРИ», ² АО «Якутскгеология» Алданское ОП)

**ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ,
СЛОЖЕННОГО ТЕРРИГЕННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ
(НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕ-ЯКОКУТСКОЙ ГРАБЕН-ВПАДИНЫ)**

На примере Верхне-Якутской грабен-впадины в пределах Центрально-Алданского района рассмотрены особенности строения, взаимосвязь оруденения с тектоническими, магматическими и гидротермально-метасоматическими образованиями в пределах терригенных отложений вмещающих пород. Определен комплекс поисковых критериев и признаков золоторудных объектов различных морфологических типов. Установлено что, мезозойские магматические образования в пределах грабен-впадины отличаются разнообразием состава, интенсивным проявлением гидротермально-метасоматических процессов и исключительностью своей роли – выступать в качестве одного из важнейших факторов рудоконтроля. На основе вышеперечисленного разработана прогнозно-поисковая модель.

Ключевые слова: рудное поле, геолого-поисковая модель, зона разломов, разрывные нарушения, каркасно-блоковое строение, Верхне-Якутская грабен-впадина.

Актуальность создания прогнозно-поисковой модели золоторудного поля в пределах грабен-впадин, выполненных терригенными отложениями определяется:

- связью эндогенной золотоносности с мезозойским магматизмом, проявленным помимо крупных магматических узлов, в мезозойских впадинах, в пределах которых широко развиты малые интрузии и дайковые поля щелочных-субщелочных пород;
- широким развитием подобных впадин в пределах Центрально-Алданской металлогенической зоны.

Модель рудного поля характеризует его геологическую позицию, особенности строения, взаимосвязь оруденения с тектоническими, магматическими и гидротермально-метасоматическими образованиями в пределах вмещающих пород.

Анализ структуры рудного поля связан с определением его геологической позиции и соотношением региональных структур различного ранга. Блоковое строение рассматриваемой площади определяется сочетанием иерархически соподчиненных разнопорядковых блоковых структур отрицательного и положительного знака, развивающихся в течение длительного периода тектономагматической активизации мезозоя. При этом от этапа к этапу, в ходе реализации тектонических движений и сопутствующих им проявлений магматизма, происходило усложнение структурного плана.

Площадь рудного района, характеризующаяся широким распространением субщелочных интрузий, связана с крупной орогенной структурой I-го порядка – Центрально-Алданским магма-тектонотеном.

В качестве блоковых структур II-го порядка, осложняющих Центрально-Алданский магма-тектонотеном, в пределах площади рудного района выделяется Верхне-Якутская грабен-впадина, *соответствующая рудному полю*.

Строение грабен-впадины определяется наличием двух структурных этажей – докембрийских сложнодислоцированных образований кристаллического фундамента и субгоризонтально залегающих на них осадочных пород платформенного чехла, который, в свою очередь, делится на венд-нижекембрийский карбонатный и юрский терригенный.

Впадина имеет в основном тектонические границы, амплитуды перемещений отдельных ее блоков относительно окружающей рамы изменяются в пределах 0–300 м.

Границами Верхне-Якутской грабен-впадины (точнее ее наиболее опущенной части) являются региональные зоны дофанерозойских разломов первого порядка: диагональной системы (Юхтинский и Верхнеыллымахский) – северо-западного простирания, Ыллымахский – юго-восточного простирания, субмеридиональный Джекондинский и юго-восточный фрагмент Якутского разлома, сопряженный с Томмотской (Томмот-Эльконской) зоной разломов северо-восточного простирания (Власов А. Н., 2008).

Современный дизъюнктивный план площади был сформирован в течение эпиплатформенной активизации, в которую были вовлечены практически все зоны древних разрывных нарушений. Последние не только определяли блоковое строение района, но и имели важное магмоконтролирующее значение.

В узлах сопряжения региональных разломов образуется зона трещиноватости с каркасно-блоковым строением повышенной «проницаемости», ограниченная в пределах рудного поля региональными разломами различного простирания. На площади рудного поля подобных зон с каркасно-блоковым строением может быть несколько. Следует отметить, что подобные узлы сопряжения региональных структур наиболее благоприятны для их многократного подновления.

Связь оруденения со всякими региональными разломами, проявляется в разном строении участков, в пределах которых могут формироваться рудные тела различного морфологического типа и состава, представленные: кварцевыми жилами и окварцованными зонами дробления; зонами оруденелых тектонических брекчий; метасоматически измененными дайками и пластовыми телами субщелочного состава; зонами метасоматитов, развивающихся по зонам дробления осадочных пород и даек; углистыми алевролитами, часто окварцованными и пиритизированными. На различных участках могут преобладать тела различной морфологии, что *определяет латеральную зональность рудного поля*.

Зоны разломов более высоких порядков в юрских терригенных отложениях фиксируются в виде зон различной мощности, выполненных трещиноватыми породами, катаклазитами, тектоническими брекчиями, милонитами, в ряде случаев проявлениями гидротермально-метасоматической минерализации (в основном кварцевыми жилами). Зоны трещиноватости (растяжений), залеченные многочисленными дайками, образуют дайковые поля. Зоны повышенной проницаемости обуславливают также большое количество субщелочных малых интрузивных тел в виде штоков и силлов, которые зачастую являются золотоносными. Поэтому Верхне-Якутскую грабен-впадину часто рассматривают как гигантский штокверк, насыщенный дайками и мелкими интрузивными телами.

Разрывные деформации в подстилающих карбонатных породах, на границе с терригенной толщей, фиксируются, как правило, интенсивно закарстованными зонами дробления и трещиноватости.

Локальное распространение на площади имеют горизонтальные зоны дробления, приуроченные к зонам межслоевых разрывов в разрезах рудовмещающих пород, обусловленных литологическими неоднородностями среды. Такие зоны играют важную роль в размещении золотого оруденения в пределах рудного поля, а также контролируют размещение пирит-калишпатовых, пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов (гумбеитов) в породах чехла. Повторение литолого-стратиграфических неоднородностей разреза – причина многоярусного размещения оруденения.

Локализация оруденения в области структурных и литолого-структурных переходов *определяет вертикальную зональность* рудного поля.

Изучение типоморфных особенностей золота из различных типов рудопроявлений показало большой разброс пробности золота от низкопробного до весьма высокопробного, на основании чего можно предположить неоднократное подновление золоторудных зон начиная со средней юры до раннего мела.

Учитывая все вышеизложенное модель рудного поля этого типа включает следующие компоненты:

- грабен-впадина, ограниченная региональными разломами;
- двухчленный разрез осадочных пород платформенного чехла – подстилающий венд-нижне-кембрийский карбонатный и рудовмещающий ниже-среднеюрский терригенный;
- зоны субвертикальных и субгоризонтальных рудовмещающих разрывных дислокаций;
- проявление гидротермально-метасоматических процессов в виде образования лимонит-кварц-калишпат-карбонатных, сульфидно-кварцевых метасоматитов и окварцевания, развивающихся как по зонам дробления и брекчирования, так и по интрузивным породам и вмещающим песчанникам;
- тектонические брекчии (в том числе с кварцевым цементом);
- пояса и серии даек, малых интрузивных тел в виде штоков и силлов, которые зачастую золотonosны и являются одним из факторов рудоконтроля;
- развитие разнообразной кварцевой минерализации, в том числе наличие кварцевых золотonosных жил;
- карстовые полости, локализованные на стратиграфическом контакте карбонатных пород нижнего кембрия и песчано-алевролитовой толщи нижней юры, группирующиеся в цепочки вдоль рудо- и магмоконтролирующих структур различного простирания и выполненные золотonosными корами выветривания;
- наличие шлиховых ореолов (россыпей) золота;
- развитие геохимических ореолов золота, серебра, меди, вольфрама свинца, мышьяка.

Столяренко В. В.¹, Минаков А. В.², Двуреченская С. С.¹, Шатилова Л. В.¹, Алферова В. А.¹, Рябошапка А. Г.¹, Минаева С. В.¹ (¹ ФГБУ «ЦНИГРИ», ² АО «Якутскгеология» Алданское ОП)

ОСОБЕННОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ, РАЗВИТОГО В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕ-ЯКОКУТСКОЙ ГРАБЕН-ВПАДИНЫ

В работе описаны геолого-структурные особенности строения Верхне-Якутской грабен-впадины, приведены данные, полученные в ходе исследования типоморфных и структурных особенностей рудного золота (рентгеноспектральный микроанализ и структурное травление), отображенного из рудопроявлений различных морфологических типов. На основании проведенных работ были сделаны выводы о наличии четырех генераций золота, связанных с различными этапами формирования субщелочных пород, а также о неоднократном подновлении зон региональных разломов с образованием разнонаправленных разрывных нарушений более высоких порядков и многостадийность золото-сульфидной кварцевой минерализации.

Ключевые слова: типоморфные особенности золота, пробность, структурное травление, Верхне-Якутская грабен-впадина, разнонаправленные разрывные нарушения.

Строение характеризуемой площади определяется наличием двух структурных этажей – докембрийских сложнодислоцированных образований кристаллического фундамента и субгоризонтально залегающих на них осадочных пород платформенного чехла – венд-нижнекембрийского карбонатного и ниже-среднеюрского терригенного.

Тектоническое строение площади определяется ее расположением в узле пересечения зон глубинных разломов: Юхтинской северо-западной, Якокутской субмеридиональной и Томмот-Эльконской северо-восточной. Последняя является главной рудоконтролирующей структурой Центрально-Алданского района. К ней приурочено большинство известных в данном регионе месторождений рудного золота.

В зонах сопряжения региональных разломов возникает большое количество разнонаправленных разрывных нарушений второго и более высоких порядков, которые часто фиксируются дайками, зонами катаклаза и брекчирования, рассланцевания и трещиноватости.

Специфический магматизм грабена проявился в исключительно широком распространении разнообразных по составу жильных и пластовых тел субщелочных пород мезозойского возраста. Последние представлены штоками, силлами и дайками лампрофиров и лампроитов, сиенитами лебединского комплекса и меловыми сиенит-порфирами. Их исключительная роль проявляется как один из важнейших факторов рудоконтроля. По степени насыщенности малыми интрузиями центральная часть грабена напоминает гигантский штокверк интрузивных жил.

Таким образом, геолого-структурная позиция золоторудного поля в пределах Верхне-Якокутской грабен-впадины определяется его приуроченностью к площади с проявлением очагов разновозрастных (от юры до мела) полей даек и мелких интрузивных тел субщелочного состава в зонах сопряжения разломов глубинного заложения с неоднократно подновлявшимися системами дизъюнктивных разрывных нарушений, способствовавших миграции гидротермальных рудоносных растворов.

Анализ собранной и вновь полученной информации о критериях и признаках золотоносности в пределах Верхне-Якокутской грабен-впадины показал, что в ее пределах проявлены как прямые, так и косвенные поисковые признаки, отражающие закономерности размещения золоторудной минерализации различных морфологических типов, относящихся к золото-сульфидно-кварцевой формации, представленной двумя типами.

1. Субвертикальными зонами прожилково-вкрапленной минерализации, представленными лимонит-кварц-калишпат-карбонатными метасоматитами, которые развиты по зонам дробления, часто сопряженными с оруденелыми дайками; кварцевыми жилами и окварцованными зонами дробления; зонами оруденелых тектонических брекчий; пластовыми телами на различных уровнях разреза терригенных толщ, представленными лимонит-кварц-калишпат-карбонатными метасоматитами и метасоматически измененными пластовыми интрузиями субщелочного состава, а также углистыми алевролитами, часто окварцованными и пиритизированными, сульфидизированными окварцованными песчаниками.

2. Гипергенно-измененными и переотложенными в карстовых полостях корами выветривания.

По вещественному составу, геохимической специализации, связи с определенными магматическими породами данные рудопоявления относятся:

- к лебединскому типу, проявленному в специфических условиях юрской терригенной толщи;
- к куранахскому типу в карстовых полостях.

Проявления золота связаны с четырьмя этапами формирования субщелочных пород на этой площади, которые представлены:

- средне-позднеюрским этапом, к которому относится верхнеселигдарский комплекс щелочноземельных и умеренно-щелочных сиенитов;
- позднеюрско-раннемеловым этапом (во время которого сформировался основной объем мезозойских магматитов), представленным лебединским монцонит-сиенитовым комплексом;
- раннемеловым этапом, представленным колтыконским гипабиссальным сиенит-порфировым комплексом;
- среднеюрским—позднемеловым полихронным и наиболее глубинным комплексом малых интрузий щелочных лампроитов и лампрофиров.

Но эта последовательность соблюдается только в общем виде, т.к. внутри каждой фазы, как и внутри отдельных массивов и интрузий, в свою очередь, выделяются свои ряды формирования горных пород, крайние члены которых перекрываются разновидностями соседних фаз.

Так, только лебединский комплекс расчленен на три фазы в следующем составе (от ранних к поздним):

- первая фаза – щелочноземельные сиениты, сиенит-порфиры, монцониты, шонкиниты;
- вторая фаза – мезо-, меланократовые сиениты, кварцевые сиениты и сиенит-порфиры.
- третья фаза – щелочно-полевошпатовые сиениты и сиенит-порфиры, щелочно-полевошпатовые граносиениты и граносиенит-порфиры [1].

Изучение типоморфных особенностей золота, отобранного из рудопроявлений различных морфологических типов, показало большой разброс пробности от низкопробного, вплоть до электрума, до высокопробного (далее пробность указывается в промилле, ‰).

В золоте участка Юрбет пробность в пределах отдельных золотин варьирует от 696 до 986. Характерна постоянная примесь Те, спорадически отмечаются Cu, Zn, Pd, Sb, Bi, Pb, Hg. По данным структурного травления выделяются две генерации золота: раннее относительно низкопробное зональное (676–760) и более позднее средней пробности (801–876) с проявленной тонкой фазовой неоднородностью, образующее нарастания на низкопробном.

В золоте участка Южный Юрбет пробность в пределах золотин варьирует от 412 до 993. Характерна постоянная примесь Те, спорадически встречаются Cu, Zn, Pd, Sb, Bi, в отдельных случаях отмечается As. По данным структурного травления, также как и на участке Юрбет, выявляется обрастание относительно низкопробного (707–774) золотом средней (800–908) пробности. Отмечено срастание относительно низкопробного золота 725 с электрумом (412–560) [2].

В золоте участка Якокутский пробность в пределах золотин варьирует от 487 до 993. Постоянной примесью является Те, спорадически отмечаются Cu, Zn, Pd, Sb, Pb, Hg. По данным структурного травления преобладают относительно низкопробные (714–784) выделения пятнисто-неоднородного и зонального строения, а также золото средней пробности (822–856) с проявлением тонкой фазовой неоднородности. Эти две генерации золота отмечаются как в виде самостоятельных выделений, так и в виде нарастания позднего золота средней пробности на раннем низкопробном. Также часто встречаются выделения электрума (487–670) зонального строения.

Гипергенные преобразования в золоте всех участков проявляются редко в виде тонких единичных межзерновых высокопробных (977–985) прожилков, кайм и обособлений. Возможно, в единичных случаях высокопробные обособления имеют гипогенное происхождение.

На основании изучения типоморфных признаков золота из протоочных проб можно сделать вывод о наличии здесь золота *четырёх генераций*, связанных с различными этапами формирования субщелочных пород на этой площади.

Таким образом, в течении мезозойской ТМА происходило неоднократное подновление зон региональных разломов предшествующих этапов с формированием системы разнонаправленных разрывных нарушений более высоких порядков, которые, в свою очередь, интродуцированы потенциально золотоносными разновозрастными комплексами малых интрузий и даек с формированием многостадийной золото-сульфидно-кварцевой минерализации.

Список литературы:

1. Бирюков Е. И. Информационный отчет о результатах поисково-оценочных работ на рудное золото в пределах Нимныр-Якокитской площади (бассейн рек Пурикан, Селигдар, Якокит) за 2005–2007 гг. – Алдан, 2007.
2. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н., Яблокова С. В., Шатилова Л. В. Типоморфизм самородного золота. – 2-е изд., доп. / под ред. А. И. Кривцова, С. С. Варгана. – М. : ЦНИГРИ, 2010. – 66 с.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИСИХОГИ КАК ИСТОЧНИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ В ПО MICROMINE

Рассмотрено использование базы данных системы ИСИХОГИ и её полевой версии как источника первичных геолого-геофизических данных при формировании 3D-моделей геологических тел с использованием горно-геологической информационной системы Micromine и перечня специализированных представлений в СУБД Oracle.

Ключевые слова: ИСИХОГИ, геоинформационные системы, базы данных, Micromine, моделирование.

В современном мире IT-технологий, когда совместно функционирует множество информационных систем, баз данных или различных сервисов, одним из главных показателей эффективности такого взаимодействия является быстроедействие процесса запрос – ответ, от этого напрямую зависит оперативность в принятии решений.

При проведении геологоразведочных работ проходит значительный период времени с момента получения геологической информации до ее вовлечения в процесс аналитической обработки, что в целом сказывается на увеличении времени получения конечного результата. Замедление этого процесса зависит от множества причин: неэффективности процессов получения данных, использования устаревших методик, значительной удаленности участков полевых работ, отсутствия централизованного доступа к данным и т. д. Сотрудники геологоразведочного комплекса «АЛРОСА» понимают, насколько важно оперативное получение такого рода данных и постоянно ведут мониторинг современных и эффективных методов оперативной доставки информации в центральные базы данных.

Для обеспечения сбора практически всей первичной геологической информации в ГРК компании используется собственная разработка «Информационная Система Интеграции, Хранения и Обработки Геолого-геофизической Информации» (ИСИХОГИ). ИСИХОГИ является основным средством для внесения и хранения первичной геологической информации, богатый функционал позволяет хранить все необходимые атрибуты и описание по проходке скважин, документированию, опробованию, результатам аналитических исследований. Таким образом, ИСИХОГИ является централизованным источником геологической информации, который может использоваться в любом специализированном программном обеспечении, мониторинговых сервисах, отчетах и т. д.

В БД ИСИХОГИ имеются все необходимые данные для аналитической обработки, построения графических приложений и 3D-моделей, и эти данные могут быть предоставлены непосредственно из СУБД с использованием «горячей» связи. Такой подход позволяет сохранить связь с источником информации и обеспечить ее постоянную актуализацию по мере поступления новых данных в БД. В ГРК компании в последнее время активно применяется программное обеспечение по моделированию и 3D-визуализации геологической информации, одним из них является программный продукт Micromine.

Возможность использования информации, хранящейся в БД ИСИХОГИ в ПО Micromine для решения геологических задач, путем прямого доступа к данным через ODBC-связь позволяет формировать модели геологических тел, месторождений, производить их оценку, разведку рудных тел, формировать геологические разрезы и многое другое. Для обеспечения такой связи были созданы специализированные представления в СУБД Oracle, которые соответствуют необходимому перечню таблиц для работы в Micromine, сведениям о скважинах, опробованию, инклинометрии и т. д. К каждой из таблиц настраивается специальная связь, синхронизация данных обеспечивается при каждом обновлении ODBC-связи. Такой подход к получению информации повышает эффективность работы при интерпретации данных. При этом для обеспечения оперативности получения новой информации используется полевая версия системы ИСИХОГИ, которая обеспечивает геологам возможность оперативно вносить данные описания горных выработок (скважин,

шурфов) и опробования в БД непосредственно в полевых условиях. Однократная настройка связи с представлениями из БД ИСИХОГИ для получения необходимой информации обеспечивает оперативное поступление всех данных непосредственно в ПО Micromine без использования промежуточных инструментов обработки и загрузки информации.

Список литературы:

1. Басаргин А. А. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы MICROMINE // Интерэкспо Гео-Сибирь : сборник материалов Международной научной конференции. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 15–20.
2. Информационная система интеграции, хранения и обработки геолого-геофизической информации (ИСИХОГИ) / разработчики Е. М. Гончаров, К. Н. Темчук, В. А. Зарочинцева, С. С. Ратьков, Ю. В. Суслонов, М. Б. Гальперин, А. В. Чуркин. – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015619159, 25.08.2015. – Заявка № 2015615797 от 30.06.2015.
3. Орешкин С. А., Корнилов М. Ф., Кадыров Э. Д., Данилова Н. В. Анализ интеграции информационных систем в горно-перерабатывающей промышленности // Записки Горного института. – 2008. – Т. 177. – С. 17–22.
4. Осипов В. Л. Определение рудных интервалов при подсчете запасов в программе MICROMINE // Горные науки и технологии. – 2018. – № 2. – С. 23–31.
5. Программа управления полевой версией информационной системы интеграции, хранения и обработки геолого-геофизической информации (ИСИХОГИ) / разработчики В. А. Зарочинцева, С. С. Ратьков, Ю. В. Суслонов, М. Б. Гальперин. – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019614783, 12.04.2019. – Заявка № 2018664239 от 11.12.2018.
6. Ратьков С. С., Суслонов Ю. В. Структурированное хранение первичной геологической информации для возможности оперативного вовлечения в аналитическую обработку // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (08–10 апреля 2020 г.) / Отв. ред. В. Ю. Фридовский. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2020. – С. 393–396.

Таймасов Д. В. (АО «Русская медная компания»)

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛМЫЖСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЧЕТЫРЕХ РАЗВЕДОЧНЫХ УЧАСТКОВ НА ОСНОВАНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Приводятся уточненные данные о геологическом строении Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения и особенностях строения четырех основных участков, на основании предварительных результатов разведочных работ. Малмыжское месторождение находится на Дальнем Востоке России в 220 км северо-восточнее г. Хабаровск. В геологическом строении площади Малмыжского месторождения принимают участие осадочные терригенные отложения раннемелового возраста, прорванные альб-сеноманскими интрузивными породами диорит-гранодиоритового состава

Ключевые слова: Малмыжское золото-медно-порфировое месторождение, геологоразведочные работы, глубинное бурение, рудоносные штокверки, прожилково-вкрапленный, вкрапленный, гнездовой, рудоподводящий канал.

В административном отношении Малмыжское рудное поле расположено в Амурском и Нанайском районах Хабаровского края. В геологическом отношении Малмыжское рудное поле сложено толщей интенсивно дислоцированных терригенных, существенно, песчаниковых морских

отложений мелового возраста, прорванных многочисленными интрузивами среднего и средне-кислого состава: диоритов, диоритовых порфиров, кварцевых диоритовых порфиров, реже гранодиоритов. Интрузивные образования рудного поля занимают до 20–25% его площади, размещение их контролируется, главным образом, разломами СВ направления [1].

Стратифицированные образования на площади рудного поля представлены меловыми морскими терригенными отложениями ларгасинской свиты и рыхлыми четвертичными отложениями различного состава и генезиса.

Интрузивные образования на Малмыжском рудном поле, как уже было сказано, занимают до 20–25% его площади и относятся к Нижнеамурскому интрузивному комплексу позднемелового возраста. По глубинности формирования это преимущественно гипабиссальные образования. Размещение их четко контролируется Малмыжской зоной разломов северо-восточного простирания. Морфология выходов интрузивных пород весьма разнообразна: от крупных штокообразных массивов различной формы до мелких изометричных штоков и дайкоподобных трещинных тел. Нередко конфигурация интрузивных образований определяется трещинной тектоникой.

По предварительным результатам разведочных работ и с учетом материалов предшественников выделяются три фазы становления интрузивных образований: 1-я фаза – кварцевые диориты порфировидные, диориты порфировидные, диоритовые порфириды, кварцевые диоритовые порфириды; 2-я фаза – гранодиорит-порфиры, гранодиориты, гидротермально-магматические и эруптивные брекчии; 3-я фаза – диоритовые порфириды (дайки, мелкие штоки) [2].

Золото-медно-порфировое оруденение генетически связано с формированием порфировых штоков и представлено в виде наложенных на метасоматиты изометричных, либо линейных минерализованных штоков двух основных типов: магнетит-сульфидный (существенно медный) и кварц-сульфидный (золото-медный) [3].

Всего на месторождении выделено 4 крупных участка (Центральный, Равнина, Долина и Свобода), по которым ведутся разведочные работы.

Центральный участок в геологическом отношении сложен песчаниками и алевролитами ларгасинской свиты, прорванными позднемеловыми гипабиссальными интрузивными образованиями первой фазы (кварцевые диоритовые порфириды, кварцевые диориты) и в меньшей мере второй фазы (гранодиорит-порфиры). В экзоконтактах интрузий широко развиты роговики, переходящие по мере удаления от интрузива в ороговикованные породы.

Участок Равнина сложен песчаниками и алевролитами ларгасинской свиты, прорванными штоком кварцевых диоритовых порфиров. На поверхности участка шток представлен двумя изолированными выходами. Между этими выходами установлен провес кровли штока, глубиной до 240 м. В пределах провеса осадочные породы ороговикуются и претерпели интенсивные метасоматические изменения. Шток характеризуется сложной морфологией, содержит ксенолиты осадочных пород и сопровождается многочисленными дайками, апофизами.

Участок Долина сложен ороговикованными песчаниками и алевролитами ларгасинской свиты, которые прорываются штоком кварцевых диоритовых порфиров, участками переходящими в порфировидные диориты. В своей верхней части, ближе поверхности земли, шток «разветвляется» на многочисленные субпараллельные апофизы (мощностью 5–60 м) с падением их на северо-запад по слоистости осадочных образований. В центральной части участка кварцевые диоритовые порфириды образуют три изолированных выхода на поверхность изометричной формы размером от 150×180 м до 250×500 м. В целом шток характеризуется достаточно сложной морфологией, слабо вытянут в северо-восточном направлении и имеет общее падение на северо-запад (50–70°). Восточный и западный его контакты более крутые.

Участок Свобода в геологическом отношении приурочен к Свободненскому интрузивному массиву, практически полностью охватывая его. Массив прорывает осадочные породы (песчаники, алевролиты) ларгасинской свиты и ороговиковывает их. В юго-западном направлении он расщепляется на две расходящиеся ветви: северная ветвь имеет ЮЗ (235–240°) простирание и прослежена на 2,5 км при ширине от 0,6 до 1,0 км; южная ветвь имеет ЮЗ (200–205°) простирание и прослежена на 1,0–1,5 км и далее на юго-запад перекрыта мощным чехлом рыхлых четвертичных образований. Падение обеих ветвей на СЗ под углами 60–80°. Зачастую контакты тектонические, крутопадающие. Массив содержит многочисленные ксенолиты ороговикованных осадочных пород.

Подводя итог можно сказать, что в целом тип оруденения на всех участках преимущественно один – золото-медно-порфировый, прожилково-вкрапленный и вкрапленный, реже гнездовый. Благодаря глубинному бурению выявлено простираание рудоносных штокверков на глубоких горизонтах с выдержанными содержаниями меди, но с уменьшением мощности и расчленением основных штокверков на несколько так называемых «рудоподводящих» каналов.

Список литературы:

1. Васькин А. Ф., Дымович В. А., Атрашенко А. Ф., Григорьев В. Б., Зелепугин В. Н., Опалихина Е. С., Шаров Л. А., Леонтьева Л. Ю. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист М-53 – Хабаровск. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 376 с.
2. Иванов В. В., Кононов В. В., Игнатьев Е. К. Минералого-геохимические особенности рудной минерализации в метасоматитах золотомедного рудного поля Малмыж (Нижнее Приамурье) // VIII Косыгинские чтения «Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии» : материалы Всероссийской конференции. – 2013. – С. 258–261.
3. Ханчук А. И., Иванов В. В., Игнатьев Е. К., Коваленко С. В., Семенова Д. В. Альб-сеноманский гранитоидный магматизм и медный рудогенез Сихотэ-Алиня // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 488, № 3. – С. 298–302.

**Тарасов А. С., Голенев В. Б., Александрова А. Е., Куликов Д. А., Фролова А. С., Карпухина М. В.
(ФГБУ «ЦНИГРИ»)**

ИТОГИ АПРОБАЦИИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ (ЗОЛОТО, СЕРЕБРО, МПГ) И ЦВЕТНЫХ (МЕДЬ, НИКЕЛЬ, СВИНЕЦ, ЦИНК) МЕТАЛЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ЗАВЕРШЕННЫХ В 2020 ГОДУ

По результатам апробации, проведенной ФГБУ «ЦНИГРИ» в 2020 г., выполнен анализ количественного изменения состояния прогнозных ресурсов (ПР) алмазов, благородных (золото, серебро, МПГ) и цветных (медь, свинец, цинк, никель, кобальт) металлов (АБЦМ), их территориального размещения, распределения по геолого-промышленным типам, вовлеченности в геолого-разведочные работы.

В 2020 году из девяти изучаемых в ЦНИГРИ видов твердых полезных ископаемых изменения произошли по шести видам ТПИ в 76 объектах учета ПР, в т.ч. на 46 объектах – по результатам завершающих ГРР. В нераспределенном фонде изменения зафиксированы по 76 объектам, в распределенном фонде изменений не было. Прогнозные ресурсы собственно кобальтовых объектов на апробацию в отчетный период не представлялись.

Из поступивших на апробацию материалов по оценке ПР значительная часть подверглась корректировке. Корректировка и отклонение ПР по поступившим объектам были связаны с недостаточной полнотой предоставленных материалов, качественными недостатками проведенных ГРР, а также методическими ошибками в авторских оценках, среди которых имели место:

- ошибки категоризации ПР и их кондиционной принадлежности;
- интерпретационные ошибки геологических особенностей локализации полезного ископаемого, включающие в себя неудачный выбор прогнозно-поисковой модели, геолого-промышленного типа, металлогенического таксона-аналога;
- ошибки количественной оценки ПР;
- ошибки определения оценочных параметров (кондиций) и геолого-экономической оценки по укрупненным показателям.

По результатам количественных изменений прогнозных ресурсов по каждому из шести видов ТПИ за отчетный период можно сделать следующие выводы: увеличение состояния ПР категории Р₃ зафиксировано для золота и меди; уменьшение характерно для свинца, цинка и серебра; для ни-

келя, МПГ и алмазов изменений не произошло. Ресурсы категории P_2 увеличились по серебру, меди, свинцу и цинку, уменьшились – по золоту, не изменились – по никелю, МПГ и алмазам. Увеличение ПР категории P_1 зафиксировано по серебру, меди, свинцу и цинку, уменьшение – по золоту, остальные виды ПИ остались без изменений.

В общей оценке состояния и количественных изменений ПР на 01.01.2021 г. учтено 2158 кондиционных объектов. В нераспределенном фонде числится 1547 объектов (71,7 %), в распределенном фонде 611 (28,3 %). Вовлеченность ПР в лицензирование (по количеству объектов, переданных в распределенный фонд недр) составляет по благородным металлам: МПГ – 55,0 %, коренное золото – 31,3 %, серебро – 23,7 %. Из цветных металлов наибольшей востребованностью у недропользователей пользуются никель и медь – 61,4 и 21,4 % соответственно, наименьшей – цинк (16,6 %) и свинец (9,9 %). По алмазам в распределенном фонде числится 31,3 % объектов.

Анализ распределения ресурсов АБЦМ по категориям учета, их изменения за анализируемый период и уровень вовлеченности в ГРР показывает:

- наибольшей вовлеченностью в ГРР традиционно характеризуется золото. Изменения за рассматриваемый период имели место на 21 объекте в двух субъектах Российской Федерации – Красноярском крае и Якутии. Состояние ПР кат. P_1+P_2 изменилось по 36 объектам, незначительно увеличилось суммарно по РФ на 6,4 т по отношению к началу 2020 г. Ресурсы золота новых рудоносных площадей, оцененных по кат. P_3 , изменились по 11 объектам, увеличившись на 480,1 т (1,02 %);
- по серебру ПР увеличились по кат. P_1+P_2 на 10 726 т (1,08 %), по кат. P_3 уменьшились на 2558,4 т (1,03 %). Поставлено на учет 15 новых объектов в шести субъектах РФ;
- ПР меди увеличились по кат. P_1+P_2 на 948,3 тыс. т (1,03 %), по кат. P_3 прирост составил 730 тыс. т (1,02 %);
- ПР свинца и цинка увеличились по кат. P_1+P_2 на 981,4 тыс. т (1,07 %) и 5064,6 тыс. т (1,13 %); по кат. P_3 уменьшились на 3244,9 тыс. т (1,18 %) и 7103,6 тыс. т (1,12 %) соответственно;
- прогнозные ресурсы алмазов, никеля и МПГ остались без изменений.

Томшин М. Д., Гоголева С. С. (ИГАБМ СО РАН)

ПОИСК КИМБЕРЛИТОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОХИМИИ ДОЛЕРИТОВ

Приведено обобщение исследований химических составов долеритов Вилуйско-Мархинского дайкового пояса в восточной части Сибирской платформы. Выявлено, что в магматитах, расположенных в контурах кимберлитовых полей, установлено их существенное геохимическое отличие от типичных среднепалеозойских долеритов даек, находившихся вне контура. Данные выводы могут быть использованы в качестве поисковых признаков для выделения перспективных на кимберлиты участков.

Ключевые слова: долериты, высокотитанистые базиты, Вилуйско-Мархинский дайковый пояс, Сибирская платформа.

Сибирская платформа в среднепалеозойское время отличалась активной магматической деятельностью, связанной с заложением в раннем девоне серии палеорифтовых структур [7]. Одной из них является Вилуйская палеорифтовая система, вдоль северо-западного борта которой формировался Вилуйско-Мархинский (ВМДП), а по юго-восточному – Чаро-Синский дайковые пояса (ЧСДП) [1, 5, 6, 9]. В пределах первого располагаются Мало-Ботубинское, Накынское, а также открытое в 2015 г. Сюльдюкарское кимберлитовые поля. Поэтому взаимоотношение базитов ВМДП и кимберлитов постоянно вызывают определенный интерес у исследователей. В свое время [3, 4, 8] при изучении долеритов даек Вилуйско-Мархинского пояса, расположенных в контурах Накынского кимберлитового поля, было установлено их существенное геохимическое отличие от типичных долеритов даек ВМДП. Прежде всего это касается увеличения доли TiO_2 (в 2 ра-

за – до 4–5 % против 2,2–2,5 %) и тяжелых редкоземельных элементов, таких как Th, Hf, Y, Nd. Изучение долеритов даек, расположенных в Мало-Ботуобинском (ВМПД) и Куойкском (Молодинский дайковый пояс) кимберлитовых полях, показало аналогичное поведение названных элементов, то есть вблизи кимберлитов в долеритах резко увеличивается содержание TiO_2 и HREE. Чтобы проверить возможность использования этого факта в поисковых целях, были проведены работы по изучению базитов ВМПД в пределах Ыгыаттинской площади. В результате было установлено, что в долеритах даек, располагающихся вблизи ручья Холомох-Юрях, содержание тестовых элементов увеличивается, в частности, содержание TiO_2 достигает 4,7 %. Полученные результаты были переданы в Ботуобинскую ГРЭ с определением перспективной на поиски кимберлитов территории. В ходе заверочных работ на одной из геофизических аномалий геологами этой экспедиции было открыто новое алмазоносное кимберлитовое тело и позже Сюльдюкарское кимберлитовое поле. В ксенолите долерита, извлеченного из кимберлитов трубки Сюльдюкарская, содержание TiO_2 достигает 7,2 %. Проанализировав весь имеющийся у нас материал по базитам ВМПД, мы выделили еще два перспективных участка: один на ручье Тенкелях (в 30 км северо-восточнее от Накынского кимберлитового поля) [2]; второй на р. Орто-Кюлюнке (в 100 км западнее с. Жиганск). В ближайшей перспективе компания «АЛРОСА» включает в область своих интересов территории, приуроченные к ЧСДП (средняя Лена). Согласно имеющимся у нас данным по долеритам ЧСДП содержание TiO_2 в них типично для среднепалеозойских пород, то есть колеблется от 2,2 до 2,7 %. Но есть отдельные объекты, где его количество увеличивается до 4,7 %, как и в случае с долеритами ВМПД вблизи кимберлитов.

Предлагается установленный факт использовать как поисковый критерий на кимберлиты. Он заключается в проведении по среднепалеозойским дайкам опережающих, менее закрытых исследовательских работ с выделением геохимически аномальных зон с повышенными содержаниями TiO_2 и HREE, на которых впоследствии можно будет ставить уже тяжелые высокозатратные горно-поисковые работы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-45-140043 р_а «Траппы востока Сибирской платформы» и в рамках плана НИР ИГАБМ СО РАН.

Список литературы:

1. Гайдук В. В. Вилуйская среднепалеозойская рифтовая система. – Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1988. – 122 с.
2. Гоголева С. С., Копылова А. Г. Базиты Тенкеляхской площади (Вилуйско-Мархинский дайковый пояс) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, № 1. – С. 33–41.
3. Земнухов А. Л., Зайцев А. И., Копылова А. Г., Томшин М. Д., Яныгин Ю. Т. Базитовый магматизм Ханнья-Накынского междуречья // Геология алмаза – настоящее и будущее. – Воронеж : ВГУ, 2005. – С. 482–494.
4. Копылова А. Г., Земнухов А. Л., Томшин М. Д. Петрохимические особенности щелочных базитов Накынского кимберлитового поля // Отечественная геология. – 2005. – № 5. – С. 65–73.
5. Левашов К. К. Среднепалеозойская рифтовая система востока Сибирской платформы // Советская геология. – 1975. – № 10. – С. 49–58.
6. Масайтис В. А., Михайлов М. В., Силивановская Т. В. Вулканизм и тектоника Патомско-Вилуйского авлакогена. – М. : Недра, 1975. – 184 с.
7. Олейников Б. В., Шпунт Б. Р., Томшин М. Д. Геодинамические обстановки проявлений базитового магматизма на Сибирской платформе в неогее // Магматические формации в геологической истории и структуре Земли. – Свердловск [Екатеринбург], 1989. – С. 86–109.
8. Томшин М. Д., Зайцев А. И., Земнухов А. Л., Копылова А. Г. Характер становления базитов в Накынском кимберлитовом поле // Отечественная геология. – 2004. – № 5. – С. 39–43.
9. Томшин М. Д., Копылова А. Г., Константинов К. М., Гоголева С. С. Базиты Вилуйского палеорифта. Геохимия и последовательность становления // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 10. – С. 1503–1518.

СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрены вопросы формационной типизации раннегерцинских вулканических образований юго-восточного Беломорья (ЮВБ), тектонического районирования фундамента, рифея–раннего венда и плитного этапа развития. Выработан авторский вариант минерагенического районирования с выделением Архангельской алмазоносной области как составного таксона ранне-герцинской Кольско-Двинской субпровинции кимберлитов и карбонатитов. Обозначены актуальные направления минерагенических построений и прогноза алмазоносности.

Ключевые слова: Архангельская алмазоносная область, формационная типизация, вулканический комплекс, геотектоническая позиция, коллизионный ороген, рифтогенная зона, минерагеническое районирование, алмазоносный район, кимберлитовое поле, прогноз алмазоносности.

В отличие от других алмазоносных провинций для ЮВБ весьма характерно чрезвычайно сильно выраженное разнообразие индикационных критериев раннегерцинских вулканических образований, которые установлены в районах Кулойского плато и Онежского полуострова, где они образуют территориально-сближенные сообщества тел с присущими им типоморфными признаками (степень алмазоносности, вещественный состав, геологическое строение, возрастная позиция) и приурочены к различным структурам фундамента и платформенного чехла. В свою очередь это предопределяет необходимость выработки системного подхода по выделению основных факторов минерагенического районирования и прогноза алмазоносности территории, которыми, по мнению автора [5, 6], являются формационная типизация вулканических образований, особенности их геотектонической позиции, а также наличие или отсутствие информативных ореолов ИМК и алмазов в промежуточных коллекторах при надлежащей оценке палеогеографических условий их формирования.

Формационная типизация. Рассматривать вопросы формационной типизации вулканитов ЮВБ мы должны исходя из общепринятых основ формационного анализа магматических и вулканических образований, что в соответствии с Петрографический кодексом [3] предопределяет необходимость выделения здесь ряда таких таксонов, как вулканическая формация – субформация (мегакомплекс) и вулканический комплекс как таксон более низкого ранга.

При этом согласно Кодексу вулканический комплекс – это конкретная ассоциация пород, слагающих геологические тела и их совокупности, составляющих закономерную ассоциацию с общими чертами вещественного состава, морфологии, строения и указывающими на их образование в течение единого этапа эволюции вулканического процесса в ограниченный отрезок времени. Важнейшим признаком вулканического комплекса следует считать устойчивость его структурно-вещественных параметров. Границами комплекса следует считать резкие нарушения этого признака, которые совпадают с перерывами в вулканическом процессе и изменениями в его характере. Комплексы выделяются как совокупность тел, в нашем случае территориально-сближенных ассоциаций вулканических пород, которые с присвоением индивидуального названия следует использовать как основу при формационной характеристике региона.

В данной формулировке определение вулканического комплекса достаточно близко к сути такого минерагенического таксона, как кимберлитовое (пикритовое) поле. Следуя, главным образом, В. А. Милашеву, под термином «кимберлитовое поле» мы понимаем «обособленный, ограниченный по площади блок земной коры с пространственно-сближенной группой достаточно схожих по особенностям вещественного состава и степени эрозионного среза вулканических тел, формирование которых происходило при близких термодинамических и тектонических условиях в узком возрастном диапазоне; который в иерархии системного подхода является самостоятельным таксоном и занимает промежуточное положение между районом и трубкой (кустом, цепочкой трубок)».

Учитывая имеющиеся различные подходы к классификационной терминологии щелочно-ультраосновных образований, отметим, что автором она приводится в соответствии с рекоменда-

ми Петрографического комитета ОГГТ АН СССР [2]. Согласно им типоморфные признаки раннегерцинских щелочно-ультраосновных пород ЮВБ указывают на принадлежность их к семейству щелочных пикритов с выделением в его составе собственно кимберлитов, беспироксеновых щелочных пикритов, фельдшпатоидных пикритов и оливиновых мелилититов, что не исключает правомочность выделения здесь кимпикритов и киммелилититов. В свою очередь, вышеуказанные рекомендации исключают отнесение к оливиновым мелилититам, а тем более к мелилититам пород Чидвинско-Ижмозерской группы, трубки Суксома, а также Верхотинских трубок и части Кепинских тел, в составе которых отсутствуют вкрапленники клинопироксена. Кроме этого, вряд ли правильно на основании только петрогеохимических показателей относить к щелочным пикритам и кимпикритам все Кепинские тела, часть из которых характеризуется высокими концентрациями пиропов и пикроильменитов, а также находками алмазов.

В соответствии с вышеприведёнными положениями Петрографического кодекса и по совокупности базовых петрологических критериев основных сообществ раннегерцинских вулканических образований ЮВБ в качестве наиболее крупных региональных формационных таксонов здесь выделяются щелочно-ультраосновная формация ЮВБ в составе Зимнебережного и Ненокско-Чидвинского мегакомплексов и Сояна-Пинежский долерит-базальтовый комплекс как составной кластер долерит-базальтовой формации Восточно-Европейской платформы.

Выделенные формационные таксоны различаются по целому ряду основополагающих индикационных параметров, которые в свою очередь определяют степень их алмазоносности. Основными из них являются: особенности индикаторных аксессуаров, типы мантийного субстрата; количественные соотношения фенокристов оливина и клинопироксена; геохимические характеристики (содержание магния, глинозёма, силикатной извести, железа, титана, щелочей, ниобия, циркония, параметры изотопных систем); типоморфизм микрооксидов связующей массы. Важнейшими параметрами являются возраст вулканических комплексов и специфика их геологического строения [5, 6].

Зимнебережный мегакомплекс кимберлитов – беспироксеновых щелочных пикритов – объединяет глинозёмистые кимберлиты и кимпикриты Золотицкого и Верхотинского комплексов, а также железо-титанистые кимберлиты и кимпикриты Черноозёрского (трубка им. В. Гриба), Кепинского, Мегорского, и Мельского комплексов; которые расположены в центральной части Зимнего берега.

Алмазоносные кимберлиты включают в себя низкотитанистый Золотицкий (месторождение им. М. В. Ломоносова) и умеренно-титанистый Черноозёрский (месторождение им. В. Гриба) комплексы, глубинный этап формирования которых происходил при умеренном воздействии расплавленного мантийного метасоматоза на фоне восстановительных условий их становления в рамках наиболее позднего этапа становления (375–340 млн лет) [1, 4, 5, 6].

Неалмазоносные и весьма убогоалмазоносные высокотитанистые кимберлиты и кимпикриты Кепинского и Мегорского комплексов, а также глинозёмистые кимпикриты Верхотинского комплекса характеризуются высокой интенсивностью процессов расплавленного мантийного метасоматоза и окислительным режимом становления [1, 4, 5, 6].

Ненокско-Чидвинский мегакомплекс глинозёмистых фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов состоит из неалмазоносных вулканических образований Чидвинско-Ижмозёрского, Ненокского и Суксомского комплексов, которые расположены главным образом в южной части Зимнего берега и в районе Онежского полуострова [5, 6].

Геотектоническая позиция. Выделенные мегакомплексы занимают резко различное положение по отношению к структурам фундамента и платформенного чехла. При этом определяющее значение следует придавать новым данным по геодинамике структур кристаллического фундамента, рифея–раннего венда, а также плитного этапа развития [5].

Алмазоносные кимберлиты Золотицкого и Черноозёрского комплексов контролируются главным образом структурами сжатия, сжатия – растяжения: в палеопротерозое – осевой ортогнейсовой зоной коллизионного Лапландско-Кольско-Двинского орогена (1,8–2,0 млрд лет, исключение из правила Клиффорда); в рифее–раннем венде – Зимнебережно-Полтинской зоной краевых дислокаций внешней зоны Притиманского перикратона; на раннегерцинском плитном этапе – осевой зоной Кольско-Кулойско-Вычегодского валообразного поднятия.

Неалмазные фельдшпатоидные пикриты и оливиновые мелилититы Ненокско-Чидвинского мегакомплекса приурочены к палеопротерозойскому парагнейсовому юго-западному фолланду Лапландско-Кольско-Двинского орогена, который в рифее–раннем венде был унаследован Кандакшско-Двинской рифтогенной зоной. Относительно Кольско-Кулойско-Вычегодского валлообразного поднятия это западный фланг.

Минерагеническое районирование. Исходя из базовых минерагенических принципов блок земной коры с раннегерцинскими щелочно-ультраосновными вулканитами ЮВБ определён в ранге Архангельская алмазоносная область как составной таксон раннегерцинской Кольско-Двинской субпровинции кимберлитов и карбонатитов, которая рассматривается в рамках щелочно-ультраосновной Скандинавско-Кольской Двинской региональной провинции. Выделение таксонов рангов район и поле основывается на их соответствии выделенным мегакомплексам и комплексам, при этом контуры районов определяются главным образом границами основных структур кристаллического фундамента и рифея–раннего венда, а также наличием или отсутствием информативных ореолов ИМК в промежуточных коллекторах при надлежащей оценке палеогеографических условий их формирования. Выделенные поля соответствуют характерным морфоструктурам каменноугольного палеорельефа кимберлитовмещающего цоколя.

Следуя данным посылам в пределах Архангельской алмазоносной области, качеству основных минерагенических районов, выделяются высокоперспективный Зимнебережный алмазоносный район, включающий в себя Золотицкое, Черноозёрское, Кепинское, Верхотинское, Мегорское и Мельское поля, и проблемноалмазоносный Архангельский район фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов с Чидвинско-Ижмозерским, Суксомским и Ненокским полями [5].

Список литературы:

1. Каргин А. В., Носова А. А., Сазонова Л., Пересецкая Е., Голубева Ю. Ю., Третьяченко В. В. [и др.] Состав ильменита как индикатор условий формирования промышленно алмазоносных кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции // Петрология. – 2020. – Т. 28, № 4. – С. 341–369.
2. Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография. Часть 1. – М. : Наука, 1983. – 368 с.
3. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2008.
4. Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Гриффин В. Л. Распределение редких элементов в глубинных минералах кимберлитов как признак плюмовых процессов на севере Русской платформы // Труды IX Международного семинара «Глубинный магматизм, его источники и плюмы». – Миасс : Институт географии СО РАН, 2009. – С. 135–170.
5. Третьяченко В. В. Основные аспекты минерагенического районирования Архангельской кимберлит-пикритовой области // Смирновский сборник-2017. – М. : МГУ, 2017. – С. 288–321.
6. Tretyachenko V. V., Garanin V. K., Bovkun A. V., Garanin K. V. Formational typification of Early-Hercynian volcanic complexes in Archangelsk kimberlite-picrite province // Proceedings of XXXII International Conference «Alkaline Magmatism of the Earth and Related Strategic Metal Deposits» (Apacity, 7–14 august, 2015) / ed. by L. N. Kogarko. – Moscow : GEOKHI RAS, 2015. – P. 133–135.

Трусов А. А., Бабаянц П. С., Контарович О. Р. (АО «ГНПП «Аэрогеофизика»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ И СВЕРХЛЕГКОЙ АВИАЦИИ ПРИ ПОИСКАХ И ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В последние годы активно развивается направление в аэрогеофизике, связанное с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и сверхлегких пилотируемых носителей,

что позволяет в большинстве случаев удешевить решение задачи оперативной оценки перспектив лицензированной территории. Однако каждый из этих типов носителей имеет свои слабые и сильные стороны.

Ключевые слова: аэрогеофизические съемки, детальные работы, беспилотные летательные аппараты, сверхлегкие самолеты.

Преимущества и ограничения съемок с БПЛА и сверхлегкими пилотируемыми носителями.

Сегодня активно используются БПЛА мультироторного и самолетного типов, реже встречаются системы с вертикальным взлетом и посадкой (например, конвертопланы). Широкое распространение находят носители с электродвигателями благодаря простоте эксплуатации, однако БПЛА с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) или гибридными установками позволяют существенно увеличить продолжительность полета.

Используемые на сегодняшний день БПЛА с взлетной массой до 30 кг накладывают жесткие ограничения на массу полезной нагрузки и, соответственно, набор геофизической аппаратуры, доступной к установке.

В последние годы появились дополнительные возможности выполнения детальных аэрогеофизических съемок, связанные с разработкой сверхлегких пилотируемых летательных аппаратов. Их использование не лимитируется такими жесткими ограничениями, как БПЛА, они имеют гораздо более высокую грузоподъемность и энерговооруженность, при этом не требуют использования специальных взлетно-посадочных полос, легко транспортируются к месту работ и обладают высокими летными качествами.

В качестве примера можно привести один из легких самолетов, доступный к использованию в настоящее время, который в сложенном состоянии размещается в прицепе, буксируемом легковым автомобилем, может летать без дозаправки до 6 часов со скоростью 100 км/ч и способен выполнять съемки на малых высотах.

Пилотируемые сверхлегкие самолеты сопоставимы с беспилотными носителями с ДВС по допустимой высоте полета, скорости и продолжительности полета. Однако превосходят их по скороподъемности, что позволяет их использовать в холмистой и слаборасчлененной местности. Но наиболее важное преимущество заключается в массе полезной нагрузки, которая позволяет устанавливать целый комплекс геофизических методов, – набор геофизической аппаратуры, позволяющей за один пролет получать информацию о различных свойствах горных пород.

В качестве важных преимуществ съемок с легкими БПЛА выдвигаются возможность выполнения измерений на сверхнизких высотах и полеты с максимально детальным огибанием рельефа, что позволяет поддерживать постоянную высоту измерительных датчиков над земной поверхностью. Выполнение аэромагнитных съемок на предельно низких высотах действительно позволяет максимально приблизить их результаты к данным наземной съемки и исключить тем самым возможность пропуска слабых магнитных аномалий. Однако влияние приповерхностных магнитных образований (например, моренные отложения) во многих случаях просто вредит, затушевывая и искажая аномалии от целевых объектов. Подъем же на большую высоту позволяет заметно снизить их влияние.

Таким образом, выбор оптимальной высоты полета должен осуществляться осознанно, с учетом особенностей геологического строения территории и характеристик целевого объекта. Важно отметить также, что при всем желании выполнять полеты ниже уровня вершин деревьев, растущих в районе работ, не удастся, а это зачастую 25–30 м.

Доступные аэрогеофизические методы. Магнитная съемка является наиболее простым и доступным геофизическим методом. Для получения высококачественных материалов используются квантовые датчики как зарубежного, так и отечественного производства. Современные их версии при тех же высоких характеристиках чувствительности обладают более компактными размерами и имеют меньший вес. Сейчас используются различные аппаратно-технические средства выполнения таких съемок со всеми видами носителей (самолеты, вертолеты, мультироторные БПЛА).

С учетом технических особенностей БПЛА (ограниченная грузоподъемность и малая энерговооруженность), адаптация гамма-спектрометрии к съемкам с дронов основывается на исполь-

зовании детекторов гамма-излучения существенно меньших (по сравнению с традиционной аэрогамма-спектрометрией) размеров. При этом снижение скоростей счета, связанное с малым объемом детектора, частично компенсируется снижением высоты наблюдений, уменьшением скорости полета вплоть до измерения с зависанием. В большинстве случаев на БПЛА используются детекторы объемом 0,4–0,6 л, в то время как на легкомоторные самолеты можно устанавливать блоки с объемом кристаллов 16 л. Небольшая статистическая представительность данных, полученных с помощью детекторов малого объема (0,4 л), вынуждает выполнять осреднение измерений вдоль маршрута, что существенно снижает детальность итоговых моделей содержаний естественных радионуклидов. Выполнение же съемки с зависанием при использовании в качестве носителя мультироторных систем очевидно резко снижает производительность работ.

Автономные аэроэлектроразведочные системы (без наземных установок) доступны пока только в пассивных модификациях – вариант VLF, который в России известен как радиокип или СДВР. В качестве источника используются навигационные и широкополосные сверхдлинноволновые радиостанции. Современная реализация данного метода достаточно компактна и позволяет использовать оборудование как на БПЛА любого типа, так и с пилотируемыми носителями. Этот метод позволит в большинстве случаев выделить приповерхностные тектонические зоны.

Наиболее перспективными, по нашему мнению, являются направления, связанные с размещением источника поля в форме замкнутого или линейного проводника на дневной поверхности, и измерением компонент вторичного поля с воздуха. В такой форме можно реализовать метод переходных процессов и незаслуженно забытые в последние годы технологии низкочастотной индуктивной электроразведки (методы незаземленной петли и бесконечно длинного кабеля) с измерениями в т.ч. в зарамочном пространстве.

С появлением беспилотных гравиметров нового поколения, обладающих компактными размерами, стало возможно выполнение аэрогравиметрии с использованием сверхлегких самолетов и вертолетов. Поскольку отличительной особенностью данного класса приборов является сохранение работоспособности при больших вертикальных ускорениях, появляется возможность более точного обтекания рельефа и одновременного выполнения аэрогамма-спектрометрии и магнитометрии. Получаемые в результате модели поля силы тяжести помогают картировать интрузивные комплексы, дизъюнктивные и блоковые структуры.

Дополнительная аэрофотосъемка позволяет получать ортофотопланы местности, которые могут быть использованы при планировании поисковых маршрутов, проектировании наземных геофизических и геохимических работ, дешифрировании геологических объектов. Кроме этого, в последние годы активно развиваются алгоритмы фотограмметрии, которые дают возможность строить достаточно точные модели рельефа местности.

Заключение. Комплекс аэрогеофизических методов необходимо выбирать, исходя из эффективности решения поставленной геолого-поисковой задачи. При этом имеющиеся на сегодняшний день сверхлегкие летательные аппараты имеют ряд особенностей и ограничений, которые необходимо учитывать при проектировании аэрогеофизических работ. Выбор оптимального носителя должен определяться не только выбранным комплексом, но и размерами и конкретными геоморфологическими условиями исследуемой площади.

Фирсов А. П.^{1,4}, Эпов М. И.^{1,2,4}, Савлук А. В.^{1,2}, Василевский А. Н.^{1,2}, Шуляк Г. Б.³
(¹ НГУ, ² ИНГГ СО РАН, ³ ПАО «Норд Голд», ⁴ ООО «СКАН АЭРО»)

АЭРОМАГНИТНАЯ ТОМОГРАФИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА, ГРАНИТНОЕ (Au), ВОСТОЧНЫЙ САЯН

В 2013 г. была обоснована возможность применения БПЛА для аэромагнитной съемки, способной заменить проведение наземных работ, используя инновационный высокочастотный магнитометр с низким уровнем собственных шумов. На примере работ в Восточном Саяне показана

на возможность обнаружения тел с аномальным полем 1–1,5 нТл. Дальнейшее развитие низко-высотной разноуровневой съемки связано с развитием томографического формата описания аномального поля. В практически изотропной по магнитным свойствам среде выявлены структуры, контролирующие золоторудное оруденение.

Ключевые слова: высокочастотная аэромагнитометрия, аэротомография, БПЛА, БВС, геофизическая съемка.

В 2013 году в ИНГГ СО РАН был создан аэромагнитный комплекс на основе беспилотного летающего аппарата (БПЛА) и высокочастотного векторного магнитометра собственной конструкции. В течение 2014–2016 гг. проводились опытные работы, отрабатывались техника, технологии съемки магнитного поля, учета помех, математической обработки получаемого сигнала (Эпов М. И., Фирсов А. П., Злыгостев И. Н. и др., 2015). В конце 2016 г. появилась возможность магнитной съемки в томографическом формате.

В 2017 г. были проведены опытные работы на флангах Гранитного золоторудного месторождения в Восточном Саяне для поиска структур, контролирующих золотоносные кварцевые жилы. Работы выполнялись на высоте 2200–3000 м над уровнем моря в условиях сильно расчлененного рельефа с перепадами высот до 500 м. Основным методом работ – низковысотная разноуровневая магнитная съёмка с БПЛА масштаба от 1 : 1000 до 1 : 5000.

Рудные тела месторождения представлены сульфидно-кварцевыми жилами в пределах рудных зон № 1 и № 2. Гидротермальный метаморфизм и околорудные изменения пород на месторождении широко развиты в зонах рассланцевания и катаклаза: хлоритизация, серицитизация и пиритизация. По минералогическому составу руды месторождения Гранитного относятся к типу малосульфидных золото-кварцевых руд.

Особенностями изучаемой площади являются ее геологическая однородность по вещественному составу вмещающих пород, очень слабый околорудный метасоматоз и вследствие этого практическая «изотропность» магнитного поля на исследуемой площади. Работы выполнялись с применением аэромагнитного комплекса собственной конструкции.

Предварительная обработка полевых данных измерений магнитного поля проводится в оригинальной программе. Камеральная обработка включает в себя: преобразование координат наблюдаемых данных, вычисление аномального поля, вычисление локального аномального поля, осреднение и прореживание данных, построение регулярных сеток по нерегулярным данным, изменение нормального магнитного поля с высотой. На последнем этапе проводилось сведение данных магнитного поля со всех уровней, заполнялись пропуски в значениях данных из-за ошибок пилотирования или некорректности данных по каким-либо другим причинам. Восстанавливался весь объём данных по магнитному полю в верхнем полупространстве, и после этого проводилась интерпретация полученных данных.

В качестве примера приведены результаты работ на участке № 1. В геологическом отношении участок сложен гнейсогранитами и плагиогранитами гарганского метаморфического комплекса. В гнейсогранитах выделяются два крупных разрывных тектонических нарушения, между которыми прослеживается мощная зона катаклаза и грубого рассланцевания, а непосредственно к тектоническим нарушениям приурочены зоны тонкого рассланцевания и милонитизации.

Аномальное магнитное поле на участке малоконтрастное, в основном значения поля колеблются в диапазоне от 0 до $\pm 1,5$ нТл, его крайние значения достигают $-2,5 \dots 3$ нТл и $+2,5 \dots 4$ нТл. На рис. 1 показана структура магнитного поля в верхнем полупространстве, полученная при обобщении данных с разных уровней съемки, а на рис. 2 – геомагнитный разрез, на котором отчетливо видно погребенное аномальное тело. На всех высотах отмечается аномальная зона на северо-востоке (Рудная зона № 1), но вновь открытая аномальная зона на юго-западе (Рудная зона № 3) на высоте 60 м уже не видна.

Бурение подтвердило существование нового рудного тела.

На других участках также были выявлены новые рудоконтролирующие структуры, и определена более точная структура уже известных, в том числе погребенных под долиной реки. В результате проведенных работ на всей изученной территории выделены низкоконтрастные ано-

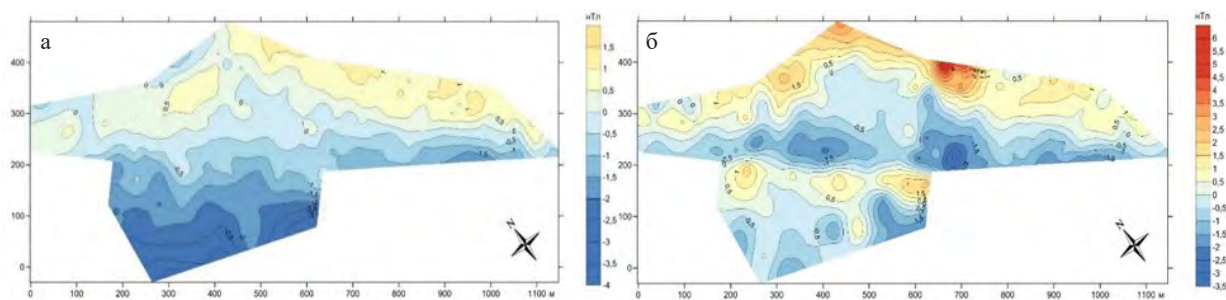


**Рис. 1. Карты магнитного поля на участке № 1 на двух уровнях съёмки:
а – 60 м, б – 30 м**

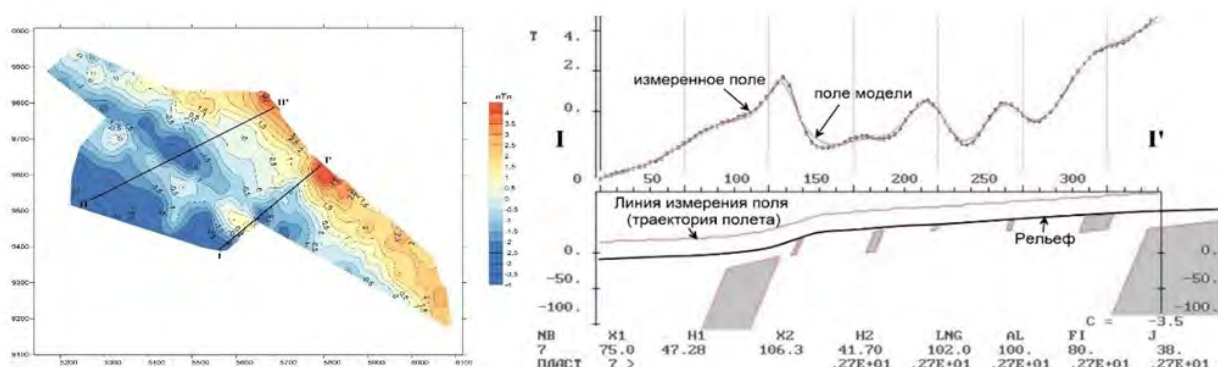


Рис. 2. Карта магнитного поля участка № 1, высота 30 м. Геомагнитный разрез (справа) по линии I-I'

мальные зоны северо-западного простирания, которые коррелируются на детально изученных с помощью горных работ участках с рудоконтролирующими зонами. Известные в районе работ рудопроявления «укладываются» во вновь выделенные по низковысотной аэромагнитной съемке зоны. Выявлены новые геологические объекты малой мощности. Таким образом, установлена возможность получения в ходе низковысотной разноуровневой съемки с БПЛА данных высокой детальности и точности, а также нахождения и оконтуривания геологических тел, формирующих аномальное магнитное поле величиной в первые нанотеслы. Все работы в Восточном Саяне выполнены за счет средств ПАО «Бурятзолото» (ПАО «Норд Голд»), и результаты публикуются с его согласия, за что авторы работы благодарны.

Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЗОТА В АЛМАЗАХ ИЗ ТРУБОК АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕГО ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ

С применением метода ИК-спектроскопии изучены 850 кристаллов алмаза из 12 кимберлитовых трубок Золотицкого, Черозерского и Верхотинского полей Зимнебережного района Архангельской области. Алмазы каждой из трубок Золотицкого поля индивидуальны по распределению азотных центров в кристаллах. Выявленные типоморфные свойства алмазов могут быть использованы при шихо-минералогических исследованиях в Зимнебережном районе.

Ключевые слова: алмаз, азотные центры, тип популяций.

Поисковое значение алмаза, который наиболее устойчив в экзогенных условиях по сравнению с его минералами-спутниками, возрастает на территориях, где кимберлитовые трубки перекрыты терригенными отложениями или траппами, а также в районах распространения трубок с низким содержанием этих минералов, например, в Архангельской области. По сравнению с другими индикаторными минералами кимберлитов, типоморфные особенности алмаза и вопросы их применения для решения поисково-прогнозных задач изучены недостаточно.

Концентрации и формы вхождения азота в структуру алмазов, представленного преимущественно парами, тетраэдрическими кластерами и одиночными замещающими углерод атомами, служат чувствительными индикаторами химизма среды и температурного режима алмазообразования. Этим обусловлена возможность использования параметров распределения азотных центров в качестве типоморфных характеристик алмаза при прогнозе и поисках его коренных месторождений.

На представительном материале (более 5,5 тыс. образцов) установлены закономерности распределения структурных примесей азота в выборках алмаза из месторождений кимберлитов и лампроитов и связанных с ними россыпей главных алмазоносных провинций мира. Для характеристики кристаллов разных объектов использовались два генетически информативных параметра кристалла алмаза: общее содержание азота (N_{tot}) и относительное содержание его тетраэдрически сгруппированных атомов ($\%N_B$). По ним были выделены группы кристаллов – популяции, доминирующие среди индивидов каждой трубки или россыпи. На основе обобщения этих данных среди алмазов земного шара, вынесенных из недр кимберлитами и лампроитами, выявлены шесть типов популяций (I–VI), характеризующихся различной температурой и составом среды кристаллизации. Установлено, что температура алмазообразования в ряду популяций последовательно уменьшается от типа I к типу V. Популяции типа VI – специфические и, вероятно, сформировались в результате отжига алмазов популяций типа IV.

На примере Сибирской провинции показано, что типы алмазных популяций могут использоваться при прогнозе неизвестных коренных источников в районах и полях проявления коренной и россыпной алмазоносности. Применение этого подхода в Зимнебережном алмазоносном районе Архангельской области осложняется из-за незначительного эрозионного среза трубок, большой мощности перекрывающих их палеозойских отложений и существенной роли ледников в переносе материала на фоне слабой динамической активности современных водотоков. Кроме того, в Зимнебережном районе на сравнительно небольшой площади сосредоточены десятки тел кимберлитов и родственных им пород, содержащих алмазы с очень разнообразными типоморфными свойствами. Это обуславливает необходимость надежной паспортизации алмазов каждой из трубок и их групп, относящихся к разным кустам и полям.

По данным Т. Е. Щербаковой (2005), ореолы рассеяния индикаторных минералов кимберлитов установлены в аллювиальных и дельтовых отложениях среднего карбона, моренных четвертичных отложениях и современном аллювии. Среди них наиболее изучены ореолы рассеяния ближнего сноса, расположенные к западу и юго-западу от трубок Пионерская, им. Карпинского, Архангельская и Снегурочка Золотицкого поля.

С применением метода ИК-спектроскопии определено содержание азотных центров в 850 кристаллах алмаза различных классов крупности из 12 кимберлитовых трубок Зимнебережного района. ИК-спектры записывались на Фурье-спектрометре Nicolet 380, Thermo, USA с разрешением 4–6 см⁻¹.

Наиболее детально проанализированы алмазы Золотицкого поля из трубок им. М. В. Ломоносова, Пионерская, Поморская, им. Карпинского-1 и Архангельская месторождения им. М. В. Ломоносова, а также из убогоалмазоносных трубок Снегурочка Первомайская, Кольцовская. Кроме того, исследованы алмазы из месторождения им. В. Гриба Черноезерского поля и трубок Степная и ЦНИГРИ-Архангельская Кепинского поля.

Алмазы каждой из трубок Золотицкого поля индивидуальны по характеру распределению азотных центров, что может быть использовано для идентификации кристаллов в ореолах рассеяния. При этом алмазы из трубок им. М. В. Ломоносова и Пионерская являются преимущественно низкоазотными в отличие от алмазов из других трубок месторождения им. М. В. Ломоносова.

Среди алмазов из трубок Золотицкого поля Поморская, им. Карпинского-1, Архангельская, а также Первомайская, Кольцовская и Снегурочка выявлены две генерации кристаллов. Первая –

более высокотемпературная, представленная кристаллами размером менее 1 мм, характеризующаяся пониженным общим содержанием азота и в основном относящаяся к популяциям типа III (в трубке Снегурочка тип IV), и вторая, включающая высокоазотные кристаллы размером свыше 1 мм. Значимые отличия алмазов двух генераций по распределению азота в кристаллах необходимо учитывать при шлихо-минералогических исследованиях в Зимнебережном районе.

Алмазы двух генераций по-разному распределены в промышленных и убогоалмазоносных трубках Зимнего берега. В трубках месторождения им. М. В. Ломоносова, а также месторождения им. В. Гриба по массе преобладают кристаллы размером более 1 мм, т. е. к продуктивным относятся популяции типов III и V. В убогоалмазоносных трубках Золотицкого поля по массе и по количеству доминируют кристаллы размером менее 1 мм типа III (IV). В связи с этим находки в шлиховых ореолах алмазов, относящихся к популяциям типа V, могут быть признаком продуктивного коренного источника.

При этом в убогоалмазоносных трубках Золотицкого поля в подчиненном количестве присутствуют кристаллы размером > 1 мм, характеризующиеся средними значениями N_B 43–54 % и принадлежащие к редкому типу популяций VI. Вероятно, что алмазы такого типа, отличающиеся повышенной агрегацией азота, образовались при отжиге кристаллов типа IV, который мог сопровождаться частичным или полным растворением или «сгоранием» кристаллов, что в конечном итоге явилось причиной снижения алмазоносности трубок Первомайская, Кольцовская и Снегурочка.

Помимо алмазов типа VI популяций повышенной агрегацией азота ($N_B \sim 50\text{--}60\%$) обладают алмазы из слабоалмазоносных трубок Степная и ЦНИГРИ-Архангельская Кепинского поля. В связи с этим значения $\%N_B > 40$ в рассматриваемом случае можно использовать в качестве отрицательного фактора алмазоносности трубок Зимнебережного района.

Хороших М. С.¹, Антонова Т. А.¹, Константинов К. М.^{1,2}, Шарыгин И. С.², Кузина Д. М.³
(¹ НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), ² ФГБУН Институт земной коры СО РАН, ³ ФГАОУ ВО Институт геологии и нефтегазовых технологий «Казанский (Приволжский) университет»)

ФЕРРИМАГНИТНЫЕ МИНЕРАЛЫ КИМБЕРЛИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕРХНЕМУНСКОЕ (ЯКУТСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)

Проведены магнитно-минералогические и химические исследования минералов ферритмагнитной фракции кимберлитов месторождения Верхнемунское Якутской алмазоносной провинции. Показано, что основными минералами – носителями естественной остаточной намагниченности кимберлитов являются титаномагнетиты, характеризующиеся содержанием химических элементов FeO от 20 до 90 %, TiO₂ до 18 %, MgO от 2 до 22 % и точками Кюри около 570 °С. Магнитная структура титаномагнетитов относится к псевдооднодоменному ансамблю частиц, которые характеризуются высокой магнитной и палеомагнитной стабильностью. Время образования намагниченности в кимберлитах оценивается как позднедевонское–раннекаменноугольное, что не противоречит геохронологическим данным.

Ключевые слова: Якутская алмазоносная провинция, кимберлиты, алмазы, ферритмагнитные минералы, титаномагнетиты, магнитный гистерезис, точки Кюри.

В последнее время изучение минералов ферритмагнитной фракции кимберлитов Якутской алмазоносной провинции играет очень важную роль. Кроме того, что они являются индикаторными минералами алмаза, по ним можно получить дополнительную информацию о возрасте, термодинамических условиях формирования геологических процессов (в том числе кимберлитов, базитов и др.) и т. п.

С целью обоснования палеомагнитного возраста кимберлитов месторождения Верхнемунское (трубки Деймос, Заполярная, Комсомольская-Магнитная, Новинка и Поисковая) выполнены

магнито-минералогические и химические исследования минералов ферримагнитной фракции. Кимберлиты изученных трубок по химическому составу относятся к магнезиально-железистому типу, наиболее распространенному в пределах алмазоносных кимберлитовых полей [1]. Распределение оксидной минерализации в основной массе кимберлитов неравномерно. В изученных трубках широко развита магнетитовая минерализация, характерная для окислительных условий. Следует заметить, что содержание магнитной фракции минералов в кимберлитах зависит, с одной стороны, от петрохимического типа кимберлитов, а с другой, от степени проявления в них поздних гидротермально-метасоматических процессов. Чем сильнее выражены вторичные низкотемпературные процессы в кимберлитах, тем больше в них магнетита. Чистый магнетит без примеси Ti, Mg, Si, Al в основной массе встречается достаточно редко, но его отдельные проявления можно обнаружить в прожилковой форме, приуроченной к деформационным зонам, сопровождающейся гидротермально-метасоматической переработкой кимберлитов. Магнезиоферрит образует как отдельные микрозерна (размер 10–60 μm), так и сростки с перовскитом, а также внешние каймы вокруг хромшпинелидов. Общее его содержание варьирует от долей процента до 1–3 %. Доминирование в тяжелой фракции магнезиоферрита, обогащенного примесными элементами, предопределено высокотемпературной природой верхнемунских кимберлитов.

Магнитная структура титаномагнетитов относится к псевдооднодоменному ансамблю частиц, которые характеризуются точками Кюри около 570 °С и высокой магнитной и палеомагнитной стабильностью. Породы, слагающие кимберлитовые трубки, характеризуются естественной остаточной намагниченностью (ЕОН) разной природы и возраста. Первичная ЕОН термоостаточной природы сохранилась в связующей массе кимберлитов. Ее носителем являются титаномагнетиты [2] с повышенным содержанием Mg до 22 %. По кластерам векторов первичной ЕОН кимберлитовых трубок рассчитан палеомагнитный полюс с координатами: $\Phi = 27^\circ$ с. ш., $\Lambda = 141^\circ$ в. д., $d_p / d_m = 4,8 / 5,0^\circ$, соответствующий позднедевон-раннекарбоновой эпохе тектоно-магматической активизации (370–350 млн лет назад).

Список литературы:

1. Kostrovitsky S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Von der Flaass G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N. Atlas of Primary Diamond Deposits in the Yakutian Kimberlite Province. – Mirny : LLC MGT, 2015. – 480 p.
2. Pechersky D. M., Sokolov D. D. Paleomagnetology, petromagnetologiya and geology. Reference Dictionary for neighbors in the specialty. – Moscow : IPE RAS, 2010.

Хромов В. М. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТОДАМИ МАШИНОГО ОБУЧЕНИЯ И НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОДБОРА АНАЛОГОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Цели работы: Регрессионный анализ, классификация, кластеризация баз данных в целях создания аналитической системы основных технико-экономических параметров (ТЭП) [3] месторождений руд благородных металлов методами машинного обучения.

Задачи работы: создание и тестирование рабочих алгоритмов машинного обучения [2], включающих методы деревьев решений, дискриминального анализа, опорных векторов, ближайших соседей, наивного Байеса, ансамблей классификации, а также обучение и тестирование полносвязных нейронных [1] сетей для прогнозирования результата (ТЭП) по уже имеющимся данным.

Объект работы: Выборка по данным протоколов ГКЗ и ТКЗ с 1996 по 2018 гг., содержащая в себе сведения о геологических, технических, технологических и экономических показателях и факторах, влияющих на ТЭП.

Сравнение параметров ТЭП по имеющимся объектам с результатами, полученными нейросетью

Административный район	Способ отработки	Полезное ископаемое	Бортовое содержание, г/т (%)	Геологические запасы руды, тыс. т	Себестоимость добычи руды и вскрыши, руб./т	Значение себестоимости добычи руды и вскрыши Matlab (333 нейронов во внутреннем слое), руб./т	Разница между значением себестоимости добычи руды и вскрыши Δ, руб./т
Чойский	подземный	Au	2	84,44	3767	3992,9	225,9
Черемховский	открытый	Au	0,4	262,8	709,26	781,9978	72,7378
Оймяконский	комбинированный	Au	0,7	321,3	2079	1863,2	-215,8
Северо-Эвенский	открытый	Au	1,8	637,5	3162,7	3081	-81,7
Елизовский	подземный	Au	4	1003,9	4509,4	4412,4	-97
Нижнеудинский	открытый	Au	0,7	1877,1	445	811,4326	366,4326
Николаевский	открытый	Au	1	2210,6	670,1	852,968	182,868
Заангарская часть Енисейского края	открытый	Au	0,4	2406	1123,3	1260,3	137
Северо-Енисейский		Au	0,8	4157	1210,4	986,2369	-224,1631
Тенькинский	открытый	Au	0,8	11 514	749,85	880,6402	130,7902
Северо-Енисейский	открытый	Au	0,8	25 377	387,5	215,1639	-172,3361
Северо-Енисейский	подземный	Au	3	87 846	764	312,0755	-451,9245
Бодайбинский	открытый	Au	0,5	1072 900	1385	1426,8	41,8



Рис. 1. Пример классификации несколькими методами для определения способа отработки

Данная работа направлена на предварительное изучение возможностей использования средств машинного обучения в целях упорядочивания и обработки данных по выборкам, сведенных из протоколов ГКЗ и ТКЗ, включающих сведения о 156 месторождениях или рудопроявлениях полезных ископаемых. Самая множественная выборка по большинству записей представлена сведениями о золоторудных месторождениях, поэтому в этой статье материал будет приведен по результатам анализа данных указанных месторождений. Интересной представляется задача классификации ТЭП в различных их сочетаниях с применением методов машинного обучения. Так, на рис. 1 представлен результат применения различных методов классификации для определения группы по критерию способа отработки полезного ископаемого (открытый, подземный) в зависимости от заданных параметров, учитывающих запасы полезного ископаемого, условия залегания рудной залежи, годовой производительности по руде.

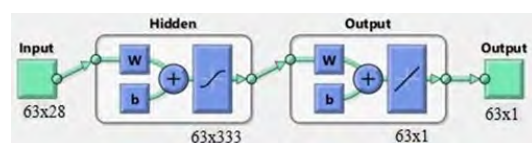


Рис. 2. Полносвязная однослойная нейросеть с внутренним слоем из 333 нейронов

Для решения задач прогнозирования параметров ТЭП применяется обучение и тестирование нейросетей с учителем, а также нейросетей без учителя (для целей кластеризации). При определении значений себестоимости добычи руды и вскрыши (руб./т) задействовалась полносвязная сеть (рис. 2), включающая один внутренний слой из 333 нейронов и обученная методом Байесов-

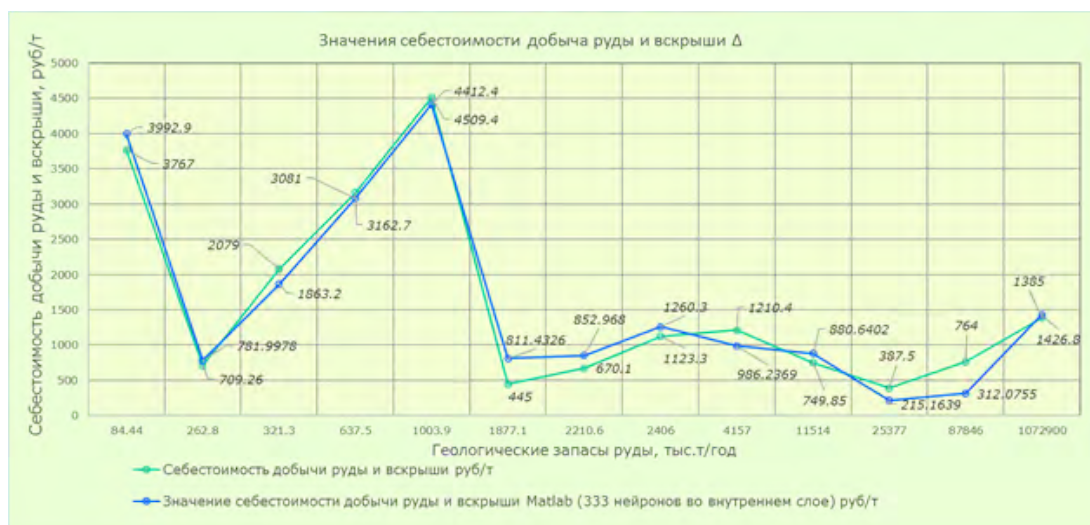


Рис. 3. График значений себестоимости добычи руды и вскрыши (руб./т) по геологическим запасам руды

ской регуляризации, обеспечивающей преобразование нелинейной регрессии. Выборка входных данных – это матрица 63×28 , разбитая в соотношении (в %) 50 : 25 : 25, соответственно для тренировки, проверки и тестирования сети.

По окончании обучения нейросеть была протестирована на выборке данных золоторудных месторождений, результаты сравнения представлены частично в таблице, а также отображены на графике (рис. 3).

Выводы. По результатам классификации предварительной выборки по данным месторождений рудного золота методами машинного обучения, а также обучения и тестирования полносвязной нейронной сети возможны классификации и прогнозирование значений ТЭП при определении параметров для объектов аналогов (золоторудных месторождений).

Создана и систематизирована база данных для проведения дальнейшего анализа средствами машинного обучения, а также подбора парка оборудования горнодобывающего предприятия.

Выведены признаки (фичи) для получения результатов анализа классификации и прогнозирования параметров ТЭП золоторудных месторождений.

Список литературы:

1. Аггарвал Чару. Нейронные сети и глубокое обучение. Учебный курс. – [б. м.] : Вильямс, 2020. – 752 с.
2. Де Прадо Маркос Лопес. Машинное обучение: алгоритмы для бизнеса. – [б. м.] : Питер, 2019. – 432 с.
3. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию (ТЭО) кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). – М. : ФГУ ГКЗ, 2007. – 68 с.

**Черенков В. Г., Корнилова В. П. (Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ»),
Голубева Ю. Ю. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)**

ПРОБЛЕМА СООТНОШЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВОГО И БАЗИТОВОГО МАГМАТИЗМА В НАКЫНСКОМ КИМБЕРЛИТОВОМ ПОЛЕ

Базитовая дайка имеет четкий рвуций контакт с кимберлитами трубки Нюрбинская. Контакт всюду осуществляется через зону своеобразных карбонат-базитовых брекчий, которые не являются самостоятельным образованием. Они представляют собой гидротермально-метасоматические продукты дегазации флюидизированной щелочной магмы, отделившиеся во время ее движения к земной поверхности при достижении ею критической глубины. Современная систематика базитов Вилуйско-Мархинского дайкового пояса (ВМДП), основанная на особенностях химического состава пород и ориентировке тел, нуждается в существенном уточнении. Вилуйско-Мархинская зона разломов, считающаяся структурой, контролирующей кимберлиты, определяет только размещение тел базитов; расположение кимберлитов в ее пределах случайно.

Ключевые слова: базиты, кимберлиты, Вилуйско-Мархинский дайковый пояс, карбонат-базитовые брекчи.

Проблема соотношения кимберлитов трубки Нюрбинская с палеозойскими траппами, в том числе с дайкой базитов, выполняющей Ботубинский разлом, продолжает обсуждаться до настоящего времени. Преобладает представление о том, что дайка имеет с кимберлитами активный интрузивный контакт. Альтернативные точки зрения предполагают, что, напротив, кимберлиты трубки прорывают дайку и интродуцированы телом более молодых траппов, внедрившимся в область пересечения трубки и дайки [3]. Дискуссионным остается также генезис и время формирования карбонат-базитовых брекчий, развитых на контактах базитов с кимберлитами, которые рас-

смаатриваются как самостоятельный, самый поздний гидротермально-метасоматический комплекс, завершающий формирование серии среднепалеозойских магматитов в Накынском районе.

Для решения этих вопросов нами было изучено строение контакта кимберлитов и траппов в карьере Нюрбинский, рабочий забой которого в это время достиг горизонта -117 м. В дне карьера и его стенках на этом уровне вскрыта дайка базитов сложной морфологии, но достаточно простого строения, разделяющая тело трубки на два блока.

Изучение строения магматических тел и их контактов в карьере, петрохимические исследования и привлечение последних данных датирования магматитов ВМДП позволяют сделать следующие выводы:

- базиты, вскрытые в теле трубки Нюрбинская и во вмещающих породах кембрия в бортах карьера, представляют собой судя по прямым наблюдениям, петрографическим особенностям и химизму пород, единое тело. Согласно существующей систематике, они относятся к наиболее молодому – дьяхтарскому – комплексу умеренно-щелочных долеритов и трахидолеритов с повышенными содержаниями TiO_2 (4–5 мас. %), щелочей $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (3–6 мас. %) и редких элементов. Дайке свойственна четкая зональность, связанная с чередованием различных петрографических разновидностей пород, слагающих ее разрез: крупнозернистые габбродолериты в центральной части, сменяющиеся средне- и мелкозернистыми долеритами, в краевой части – миндалекаменными, а непосредственно на контакте – витрофировыми афанитами, что однозначно свидетельствует о ее интрузивном контакте;

- контакты базитов с кимберлитами интрузивные; однако они, по-видимому, всегда осуществляются через зону так называемых карбонат-базитовых брекчий мощностью 3–15 м, в которых базиты образуют апофизы протяженностью до 2–3 м. Они оказывают на брекчии термальное воздействие с образованием в них андрадит-гроссулярового граната, волластонита и диопсида. Вместе с тем базиты на контакте с брекчиями также подвергались воздействию со стороны созданной ими весьма агрессивной среды, какой являются флюидные компоненты дегазации трапповой магмы; с таких позиций это воздействие можно рассматривать как автометасоматическое;

- карбонат-базитовые брекчии не являются самостоятельным образованием; они представляют собой гидротермально-метасоматические продукты дегазации флюидизированной щелочной магмы, отделившиеся во время движения ее к земной поверхности при достижении ею критической глубины; процессы формирования тел базитов и брекчий синхронны. В зависимости от положения в зоне контакта выделяются разности, по уровню содержания главных и редких элементов тяготеющие или к щелочным долеритам, или к кимберлитам. Почти не оказывая влияния на состав долеритов, на кимберлиты они влияют более существенно, понижая в них содержания K_2O , Rb, Ba и повышая содержания P_2O_5 , что, по-видимому, связано с метасоматизирующим и термальным воздействием щелочных долеритов;

- карбонат-базитовые брекчии, связанные с апикальными частями даек в породах рамы, имеют аналогичную природу; вблизи границ трубок в них могут встречаться минералы-спутники алмаза (МСА), экстрагированные из кимберлитов и вынесенные трапповой магмой или газонасыщенным флюидом. Природа этих МСА для брекчий, естественно, ксеногенная;

- метасоматические образования подобного типа, связанные с телами траппов, не уникальны; отличаясь только несколько иным минеральным составом, они широко развиты в лавовых полях центральных частей Тунгуской синеклизы (бассейны правых притоков р. Нижняя Тунгуска [4]);

- трубка Нюрбинская расположена в зоне пересечения Диагонального и Ботубинского разломов, простирающихся которых отличаются на $\sim 25\text{--}30^\circ$. Ориентировка длинной оси трубки, связь ее с дотрубочной кимберлитовой дайкой и положение всех остальных кимберлитовых тел Накынского поля свидетельствуют о том, что контролирующим для кимберлитов является первый из них. Ботубинский разлом контролирует только положение дайки траппов, не имея никакого отношения к контролю кимберлитов;

- проявления базитового магматизма ВМДП связываются со среднепалеозойским рифтингом, начало которого относится к средне-, а пик активности – к верхнедевонскому времени. Результаты изотопного датирования базитов $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом показывают, что формирование всего комплекса базитов, развитых на бортах Вилуйского палеорифта, происходило на протяжении ~ 18 млн лет, в период с 380,7 по 364 млн лет [3]. Эти данные существенно сужают интервал раз-

вития траппового магматизма, принятый в настоящее время (~ 115 млн лет, с верхнего силура до середины карбона);

- главными критериями при систематике трапповых тел ВМДП служат петрохимические особенности пород, ориентировка даек и их соотношения. В Средне-Мархинском алмазоносном районе уверенно выделяются две характерные по химизму разновидности пород: долериты и базальты нормальной щелочности (с пониженными содержаниями TiO_2 (2,5 мас. %), щелочей $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (3,3 мас. %), P_2O_5 (0,3 мас. %), Ba (250 ppm), Sr (350 ppm), с низкой степенью фракционирования REE (La/Yb до 7,9)), а также субщелочные и щелочные долериты (TiO_2 (4 мас. %), $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (3–6 мас. %), более высокие содержания редких элементов, чем в «нормальных» долеритах). Считается, что породы первого типа свойственны двум ранним интрузивным комплексам: Среднемархинскому и Вилуйско-Мархинскому, простираения тел которых соответственно северо-западное 320–355° и северо-восточное 45–50°. Породы второго типа связываются с наиболее поздним Дьяхтарским комплексом, тела которого имеют простираение 64–66°. Однако (в соответствии в том числе и с нашими данными) столь же высокие содержания щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 5$ мас. %) имеют часто и тела, относящиеся как к Вилуйско-Мархинскому, так и Среднемархинскому комплексам.

Результаты многочисленных исследований района развития ВМДП [1, 2, 5] показывают, что ориентировка даек не может служить надежным критерием для определения их принадлежности к тому или иному возрастному магматическому комплексу. В одних случаях попытки определения последовательности внедрения тел дают прямо противоположные результаты, в других дают основания считать их одновозрастными. Так, в среднем и нижнем течении р. Ханья обнажается серия даек, сочленяющихся под углами от 10–20° до 90°, однако в обнажениях не наблюдались ни признаки их пересечения, ни какие-либо изменения в веществе, которые могли бы его подтвердить. Геологические наблюдения говорят об одновременном внедрении расплава в пересекающиеся расколы разных направлений.

Более того, анализ карт результатов аэромагнитных съемок ВМДП позволяет утверждать, что считающиеся наиболее древними тела Среднемархинского комплекса (северо-запад 320–355°) во многих случаях оказываются секущими по отношению к остальным, а наиболее древними являются дайки Дьяхтарского комплекса. Из этого следует вывод о том, что все тела ВМДП представляют собой более древние образования, чем кимберлиты Накынского поля. Это косвенным образом подтверждается полным отсутствием обломков базитов в кимберлитах, которые не удалось обнаружить за все время их изучения.

В свою очередь это является дополнительным свидетельством того, что Вилуйско-Мархинская зона разломов контролирует только размещение тел базитов, не имея никакого отношения к кимберлитам. Практическим доказательством этого можно считать также полное отсутствие результатов огромного объема поисковых работ, выполненных в пределах ВМДП за более чем полувековой период.

Список литературы:

1. Бондаренко С. В., Максимова А. Н., Покровский М. В. [и др.] Отчет о проведении высокоточной аэромагнитной съемки в комплексе с наземными детализационными геофизическими работами в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны в 2008–2013 гг. Объект Аэросъемочный. – Мирный, 2013.
2. Томшин М. Д., Смелов А. П., Корнилова В. П. Изучение вещественного состава магматических образований в районе Накынского кимберлитового поля и ксенолитов фундамента в кимберлитовых трубках : отчет. – Якутск : ИГАБМ, 2004.
3. Томшин М. Д., Копылова А. Г., Константинов К. М., Гоголева С. С. Базиты вилуйского палеорифта. Геохимия и последовательность становления // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 10. – С. 1503–1518.
4. Черенков В. Г., Бененсон А. В., Левитан М. М. [и др.] Отчет о групповой геологической съемке м-ба 1 : 200000 и поисках месторождений полезных ископаемых в бассейнах р. Вилуй и нижнего течения р. Кочечумо. Листы Q-47-XXIX-XXX, Q-48-XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, XXX. Партия № 6, 1972–76 гг. – М., 1976.

5. Шаталов В. И., Яныгин Ю. Т. Структурно-тектоническое и геолого-минералогическое районирование Вилуйско-Мархинской зоны в междуречье Ыгыгатта-Марха-Тюнг в целях локализации площадей, перспективных на выявление месторождений алмазов за 2001–2005 гг. (Ыгыгатта-Тюнгский объект). – Мирный, 2005.

Черных А. И., Окулов А. В., Арсентьева И. В., Лейбгам П. Н. (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЕ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОРУДЕНЕНИЕ КИЗАС-АНЗАССКОГО РУДНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

Представлены данные о геолого-структурном строении и металлогении Кизас-Анзасского рудного района. Охарактеризованы геологическое строение Джарганского золото-полиметаллического узла, петрографический состав рудовмещающих вулкаников нижнемонокской свиты и минералогический состав золотосодержащих колчеданно-полиметаллических руд. Обосновано предположение о том, что повышенная золотоносность Тигримского проявления на отдельных участках связана с арсенопиритовой минерализацией.

Ключевые слова: Кизас-Анзасский рудный район, Тигримское проявление, Хансынская антиклиналь, арсенопирит, золотосодержащее колчеданно-полиметаллическое оруденение.

Кизас-Анзасский полиметаллически-железо-золоторудно-россыпной район находится в южной части Республики Хакасия в междуречье рек Абакан и Большой Анзас. Первые геологические сведения о территории рудного района появились в 40-х годах XIX века и были связаны с изучением богатых россыпей и добычей из них золота в бассейнах рек Кизас и Большой Анзас. Изучение золотоносности рудного района с перерывами ведется уже более 180 лет. Открытие в 1952 г. Анзасского железорудного месторождения в юго-западной части рудного района инициировало последующее проведение поисков и разведки железных руд. В конце 1950-х – начале 1960-х годов в результате проведения работ по ГСР-50 в восточной части района были выявлены геохимические ореолы Cu, Pb, Zn, Ag и Тигримское проявление полиметаллических руд. Однако специализированных поисковых работ по изучению золотосодержащего колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах рудного района не проводилось.

Кизас-Анзасский рудный район расположен в пределах юго-западной части Северо-Саянской покровно-складчатой зоны. Территория рудного района отделена от смежных складчатых зон крупными региональными разломами – Саяно-Минусинским и Кандатским. Кизас-Анзасский район сложен преимущественно ранне-среднекембрийскими вулканогенно-осадочными породами, прорванными многочисленными раннекембрийскими субвулканическими дайками и sillами габбродолеритов, мелкими телами плагиогранитов майнского комплекса и габброидов лысогорского комплекса. Предполагается, что формирование этих пород происходило в условиях энсиматической островной дуги. Островодужные комплексы пород прорываются немногочисленными небольшим телами и дайками раннедевонского козерского габбро-гранитного комплекса, приуроченными к наиболее крупным разломам на границе Северо-Саянской складчатой зоны.

Ранне-среднекембрийские вулканогенно-осадочные толщи смяты в линейные складки регионального сжатия с осями, вытянутыми в северо-восточном направлении. Различия в строении разрезов, соотношении осадочных и вулканогенных пород позволяют выделить в пределах Кизас-Анзасского рудного района две подзоны: Хансынскую на севере и Шаманскую на юго-западе, разделенные Хансынским надвигом. Имеющиеся признаки полиметаллической минерализации концентрируются в южной части Хансынской подзоны. В ее пределах породы островодужной ассоциации представлены преимущественно зеленокаменно измененными базальтами, андезибазальтами, плагиориодацитами и плагиориолитами нижнемонокской свиты. Подчиненную роль играют туфы, яшмы, известняки, углеродисто-глинисто-кремнистые сланцы.

В верхней части разреза нижнемонокской свиты преобладают эффузивы и туфы дацитового и риолитового составов, которые слагают южное крыло Хансынской антиклинали и прослеживаются в плане в виде полосы почти на 25 км. К полосе распространения вулканитов нижнемонокской свиты дацит-риолитового состава приурочен линейный Джарганский золото-полиметаллический узел. В его восточной части по результатам геологосъемочных и поисковых работ (Красько, 1963; Кирюшин, 1983) выделена протяженная Джаргано-Тигримская зона дробления и милонитизации восток-северо-восточного простирания. В ее наиболее изученной восточной части в 1959 г. выявлено Тигримское проявление Zn, Pb, Au, а позднее в западной – перспективные участки Джарган-I, II и III.

Проявление Тигримское представляет собой линейную зону интенсивной сульфидизации, в центральной части которой выделяются линзы массивных сульфидных руд. Зона сульфидизации приурочена к контакту брекчированных кислых эффузивов и псаммитовых туфов с линзами мраморизованных известняков. Прослеженная протяженность минерализованной зоны ~400 м при мощности ~85 м. С востока зона не оконтурена. Канавами и шурфами предшественников вскрыты сильно лимонитизированные окисленные руды («железная шляпа»), неокисленные и полуокисленные руды обнажаются в левом борту долины р. Тигрим. Изучение зоны сульфидизации предшественниками показало содержание по бороздовым и штучным пробам: Pb – до 3,05 %, Zn – до 0,6 %, Cu – до 0,33 %, Ag – до 30 г/т, As – более 1 %. В зоне окисления полиметаллических руд установлены концентрации Au до 5–7,6 г/т. Содержание Au в неокисленных рудах составляет 0,1–0,9 г/т. При этом какой-либо зависимости концентрации Au от количества сульфидов не выявлено.

В 2020 г. на Тигримском проявлении авторами выполнялся комплекс ревизионных работ. По нашим данным вмещающие зону породы представлены окварцованными по массе порфиrowыми дацитами. Породы серого цвета, плотные, прочные, массивного облика. Структура порфиrowая, основной массы – фельзитовая. Основная масса породы сложена тонкозернистым серицит-хлорит-альбит-кварцевым агрегатом, на фоне которого выделяются мелкие порфиrowые вкрапленники плагиоклаза, кварца и темноцветных минералов. Непосредственно в контуре минерализованной зоны породы, содержащие сульфидную минерализацию, интенсивно переработаны – рассланцованы, метасоматически изменены и участками катаклазированы. Породы имеют кварц-серицитовый, эпидот-кварц-серицит-хлоритовый, хлорит-клиноциозит-кварцевый, эпидотхлорит-кварцевый состав.

Количество рудных минералов изменяется от 50–60 % в массивных сульфидных рудах в центральной части зоны до 10–35 % в гнездово-вкрапленных и до 3–5 % во вкрапленных рудах на флангах зоны. Преобладающим рудным минералом является пирит (от 1–2 до 50–60 %). Он представлен идиоморфными кристаллами преимущественно кубического габитуса; шарообразными скоплениями, состоящими из мно-

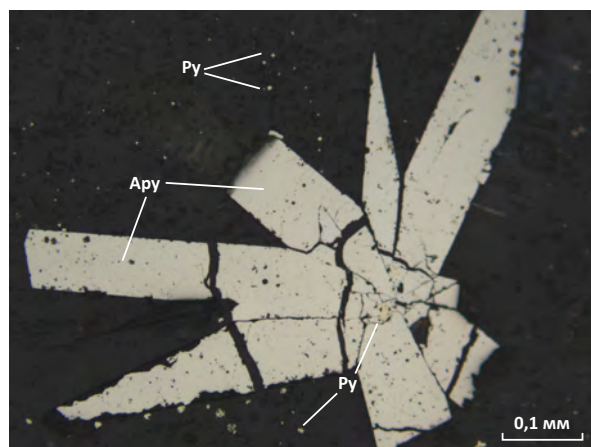


Рис. 1. Цементация шарообразного пирита арсенопиритом

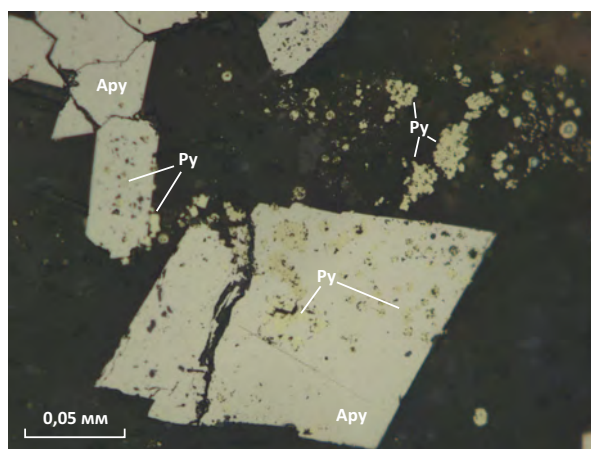


Рис. 2. Скопление игольчатых выделений арсенопирита в кварц-серицитовых метасоматитах

жества мелких кристалликов и/или зерен; агрегатами кристаллов и зерен; рассеянной очень тонкой вкрапленностью мелких кубических кристаллов или шарообразных выделений; иногда своеобразными «решетчатыми» выделениями. Практически повсеместно встречается вкрапленность халькопирита и сфалерита, тесно ассоциирующих друг с другом и более поздних по отношению к пириту. Их количество не превышает обычно 3–4 и 1–2 % соответственно. Для халькопирита и сфалерита характерно замещение по периферии ковеллином.

На отдельных участках минерализованной зоны фиксируются фрагменты, резко обогащенные магнетитом (до 12 %) или арсенопиритом (до 15 %). В ассоциации с магнетитом количество сульфидов суммарно не превышает 1 %. С арсенопиритом совместно в виде тонкой вкрапленности встречаются мельчайшие кристаллы пирита кубического и пентагон-додекаэдрического габитуса или его шарообразные выделения (~5 %). Пирит часто цементируется арсенопиритом (рис. 1). Сфалерит и халькопирит (до 1 %), образуются, вероятно, после арсенопирита. Сфалерит нарастает на выделения арсенопирита. Породы, содержащие арсенопирит, отличаются от прочих, вмещающих сульфидную минерализацию, минимальным количеством темноцветных минералов (хлорит, эпидот, клиноцоизит) и представлены кварц-серицитовыми метасоматитами. Часто наблюдаются оторочки слюд вокруг выделений арсенопирита (предположительно структуры давления). Арсенопирит слагает идиоморфные удлиненные игольчатые кристаллы, их скопления и звездчатые двойниковые выделения (рис. 2). Учитывая отсутствие крупных выделений золота в рудах и его отсутствие в делювиальных и аллювиальных отложениях, можно предположить, что оно содержится в виде тонкодисперсной примеси в сульфидах в первую очередь в арсенопирите.

Шахурдина Н. К. (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО))

МЕТОДИКА ОКОНТУРИВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (МИРНИНСКОЕ ПОЛЕ)

Приведены результаты оконтуривания таксономических единиц ранга кимберлитовое поле с применением ГИС-технологий на основе структурно-тектонического, минералогического, геофизического методов, буферизации.

Ключевые слова: кимберлитовое поле, кимберлитовое тело, алмазы, ГИС-технологии.

В отечественной геологической практике применяется минерагеническое районирование с выделением разномасштабных таксонов: провинции, субпровинции, района, поля, куста, тела. Для прогнозирования и поисков алмазоносных объектов необходимо достоверное выделение границ кимберлитового поля. При построении специализированных карт кимберлитовые поля изображаются в виде окружностей, овалов и сложных многоугольников, выделяемых на основе различных прогнозно-поисковых признаков. Элементы тектонического строения, водотоки, определяемые в качестве граничных, варьируют у разных авторов. Такая интерпретация носит во многом субъективный характер и вносит существенную путаницу в построения.

В настоящее время географические информационные системы (ГИС) нашли широкое применение в практике алмазопроисловых работ АК «АЛРОСА» (ПАО), в качестве основного программного продукта использован пакет программ ArcGIS ArcMap 10.8.1, который позволяет структурировать значительный объем информации. Для оконтуривания кимберлитовых полей использован комплекс прогнозно-поисковых признаков кимберлитового магматизма: структурно-тектонические, минералогические и геофизические.

Мирнинское кимберлитовое поле располагается в бассейне среднего течения р. Малая Ботуобия (правый приток р. Вилуй) и территориально входит в Малоботуобинский алмазоносный район. В региональном тектоническом плане район находится на северо-восточном борту Непско-Ботуобинской антеклизы. Кимберлитовое поле включает семь кимберлитовых трубок, пять из которых являются коренными месторождениями алмазов.

Структурно-тектонический метод. Выделение факторов структурно-тектонического контроля кимберлитовых тел и разработка на их основе поисковых критериев и признаков является одной из важнейших составляющих прогнозирования месторождений алмазов в Западной Якутии [4]. Анализ характера дизъюнктивных дислокаций оперативно выполняется при помощи модуля Spatial Analyst Kernel Density (вычисление количества на единицу площади (плотности) точечных или полилинейных объектов), существенно повышая наглядность и достоверность структурных построений. В основу исследований положены данные о разрывной тектонике, полученные по результатам разномасштабных геолого-съёмочных и поисковых работ, сейсморазведочной и аэромагнитной съёмок, выполненных специалистами геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО) в пределах Вилуйско-Мархинской минерагенической зоны. Все выделенные дизъюнктивные дислокации, часть из которых залечена дайками долеритов, были объединены в цифровой линейный слой «разрывные нарушения», который и использовался для дальнейшего анализа.

Прогнозирование объекта ранга поле осуществляется построением схемы плотности разрывных нарушений с помощью модуля Kernel Density. В результате анализа установлено, что в Мирнинском кимберлитовом поле наблюдается преобладание разломов субмеридионального простирания (25,2 %). Широко проявлены дислокации северо-западного (15,1 %) и северо-северо-восточного простирания (15,6 %). Длина разрывных нарушений колеблется от 2,5 до 10 км, в редких случаях достигая 25 км, в среднем – 4,5 км. Построенная схема плотности разрывных нарушений характеризуется плотностью от 0,05 до 2,5 км/км² [5].

Минералогический метод. В качестве фактического материала использованы данные о находках алмазов и выделенных ореолах индикаторов минералов кимберлита (ИМК), полученные по результатам разномасштабных геолого-съёмочных и поисковых работ в пределах Вилуйско-Мархинской зоны. Все находки алмазов были объединены в цифровой точечный слой «находки алмазов в разновозрастных отложениях», который и использовался для дальнейшего анализа.

Для прогнозирования объекта ранга поле строится схема плотности находок алмазов с помощью модуля Kernel Density. В Мирнинском кимберлитовом поле алмазы обнаружены в породах позднего кембрия, каменноугольных, пермских, юрских и кайнозойских отложениях. В поле наблюдается преобладание кристаллов октаэдрического (38 %) и переходного габитуса (25 %) разновидности I по Ю. Л. Орлову с розово-сиреневой фотолюминисценцией (58 %) [2]. Плотность находок алмазов варьирует от 0,02 до 1,63 км/км², максимальные значения (0,31–1,63) зафиксированы в северо-восточной части.

Находки ИМК приурочены к двум стратиграфическим уровням: раннеюрскому (укугутская и оруктахская свиты) и четвертичному. Две группы ореолов ИМК объединены в Ирелях-Маччобинское рудно-россыпное поле пироп-пикроильменитовой ассоциации [1].

Геофизический метод. Геофизические критерии основываются на поведении физических полей, отражающих аномальные особенности среды. По результатам гравirazведочных работ в Мирнинском и Накынском полях установлена приуроченность кимберлитовых полей к отрицательным аномалиям третьего порядка в наблюдаемом поле Δg (интенсивность в эпицентре до 12 мГал), совмещенных с отрицательными аномалиями поля ΔT . Характер поля Δg имеет мозаичный рисунок, что, возможно, является отражением глубинных процессов внутри диапира. Кимберлитовые тела тяготеют к градиентным зонам гравимагнитных полей, проявленных в структурах фундамента и осадочного чехла [3]. В качестве исходных данных использованы кольцевые геофизические аномалии, выделенные специалистами ГРК АК «АЛРОСА» (ПАО).

Метод буферизации. Для контроля цифровых данных, используемых при оконтуривании кимберлитовых полей, использован метод буферизации (буферная зона – это область, которая охватывает кимберлитовые тела, расположенные не далее заданного расстояния). В качестве исходных данных использовался цифровой точечный слой «кимберлитовые трубки Якутской алмазоносной провинции», который включал название кимберлитового тела, его координаты, возраст, принадлежность к кимберлитовому полю и алмазоносному району. С помощью модуля Analysis Tools Proximity Buffer были построены буферные зоны с шагом от 1 до 10 км.

Среди принципиально возможных вариантов расположения кимберлитов в пределах поля преобладает линейно-кустовое. Выделение отдельных кустов кимберлитовых тел возможно уже при двух- и трехкилометровом буфере. Центрально-Сибирская субпровинция представлена шестью

кимберлитовыми полями с различным количеством кимберлитовых тел, а также разным расстоянием между кустами и отдельными кимберлитовыми телами. Так, Верхнемунское поле можно выделить при трехкилометровом буфере, Мирнинское – при пятикилометровом. В результате анализа установлено, что среднее математическое значение для Центрально-Сибирской субпровинции составило пять километров [6].

При совмещении всех выделенных по прогнозно-поисковым признакам полигональных объектов в один цифровой слой были просуммированы пересечения всех признаков, Мирнинское кимберлитовое поле оконтурено по трем и более прогнозно-поисковым признакам, площадь составила 660 км². Таким образом на основании комплексного анализа прогнозно-поисковых признаков кимберлитового магматизма с применением ГИС-технологий оконтурено Мирнинское кимберлитовое поле.

Список литературы:

1. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Алмазы из современных россыпей Сибирской платформы. Статья 1. Центрально-Сибирская субпровинция // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2016. – Т. 91, вып. 6. – С. 41–48.
2. Кедрова Т. В. Помазанский Б. С. Проблемы обработки и представления данных по результатам исследований алмазов // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии : материалы IV Региональной научно-практической конференции. – Мирный, 2014. – С. 97–102.
3. Серов И. В., Граханов О. С., Кошкарев Д. А. Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе : методическое пособие. – Мирный : АПРОСА, 2020. – 155 с.
4. Проценко Е. В. Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 14–23.
5. Шахурдина Н. К. Анализ разрывных нарушений Малоботуобинского района (Западная Якутия) с применением ГИС-технологий // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АПРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. Айхал: Материалы V полевого научно-практического семинара. – 2015. – С. 221–225.
6. Шахурдина Н. К., Тарских О. В. Методика оконтуривания кимберлитовых полей с применением ГИС-технологий (на примере Якутской алмазоносной провинции) // Наука и образование. – 2017. – № 4. – С. 29–36.

Шемякина Е. М. (МГУ им. М. В. Ломоносова; ООО «ИННОТЕР»)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУР, БЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАТИНОИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ, НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО И СТРУКТУРНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В основу работы положено создание методики, направленной на поиск полезных ископаемых с применением данных дистанционного зондирования Земли. Спектральные характеристики использовались для выявления геологических особенностей территории. Изучены методы спектрального дешифрирования: анализ главных компонент, метод спектрального угла, расчёт минералогических индексов, которые апробированы на крупнейших платинометалльных объектах Мира.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, поисковая геология, платина, космический снимок, дешифрирование.

Большой научный и практический интерес представляют исследования по выявлению платиноидного оруденения на основе дистанционных методов, в том числе на изученных и опоскован-

ных наземными методами площадях, где можно рассчитывать, например, на выявление скрытых рудных объектов.

Применение инновационных технологий позволяет на начальном этапе исследований в короткие сроки и при минимальных финансовых затратах локализовать перспективные площади для постановки детальных поисковых и оценочных работ комплексом классических поисковых методов.

Геолого-промышленные типы месторождений платины – разнообразны. Тем не менее крупнейшие платиноидные провинции в мире обладают рядом схожих черт. Наиболее крупные и важные месторождения платиноидов имеют собственно магматическое происхождение и связаны с расслоенными базит-гипербазитовыми массивами, которые располагаются преимущественно в пределах докембрийских щитов.

В основу работы положено создание методики, направленной на поиск полезных ископаемых с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных технологий [1].

Актуальность задачи крупномасштабного прогноза и поисков полезных ископаемых с применением инновационных методов обусловлена необходимостью получения качественных данных как по новым, так и по ранее изучаемым объектам без существенных затрат на проведение полевых работ [3]. Таким образом, создание новых методов прогноза оруденения представляет собой важную задачу для поисковой геологии.

Цели работы – разработать новые подходы к комплексированию дистанционных методов и геологических данных при прогнозировании структур, благоприятных для размещения платиноидного оруденения, апробировать методы компьютерной обработки данных гравиметрической, магнитометрической и космической съемки (на примере объектов Бушвельдского комплекса, массива Стиллуотер и Кольского полуострова).

При прогнозировании платинометалльного оруденения особый интерес представляют расслоенные базит-гипербазитовые комплексы, связанные преимущественно с раннепротерозойской протоактивизацией кратонизированной архейской континентальной коры и прогрессивно стабилизирующихся платформ. Пространственно они контролируются структурами двух типов [4]:

- 1) зонами повышенной проницаемости с ограниченным латеральным растяжением (мончегорский и стиллуотерский комплексы с комагматичными вулканитами);
- 2) зонами глубинных разломов с практически полным отсутствием латерального растяжения (комплекс Бушвельд, Великая Дайка и др.).

Последние, как правило, не сопровождаются вулканическими образованиями, то есть ультрамафитмафитовые рудномагматические системы формировались в интрузивном варианте в условиях, наиболее благоприятных для проявления полной дифференциации вещества и неоднократного поступления магматического расплава в камеру.

Кроме того, на размещение месторождений в пределах комплексов нередко влияют разрывные структуры более высокого порядка, а также расслоенность основных–ультраосновных пород.

По особенностям внутреннего строения, составу и рудно-формационным признакам большинство платиноидных объектов имеют общие черты. Для рассматриваемого типа платиноидных месторождений характерна циклическая расслоенность, с хорошо выраженной структурой, обусловленной поступлением в интрузивные камеры высокомагнетизального расплава, при этом каждая из субкамер имела автономную питающую систему [10]. Именно такая расслоенность на глобальном уровне является одним из маркеров, легко диагностируемых с помощью материалов дистанционного зондирования.

Примерами рудообразующих систем, с которыми связаны крупные платиноидные месторождения, являются Бушвельд (ЮАР), Стиллуотер (США), Великая Дайка (Зимбабве), а также Мончегорский, Федорово-Панский и Олангская группа (Россия), Пеникат, Портимо (Финляндия) и ряд других расслоенных комплексов [2].

Методология и методы исследования. Для проведения исследования были использованы космические изображения Landsat 8 OLI (пространственное разрешение 30 м) 2019 года, снимки высокого пространственного разрешения WorldView-3. Для решения поставленных задач в диссертационном исследовании использовались методы цифровой обработки изображений, простран-

ственного анализа данных, распознавания образов путём машинного обучения в программном комплексе ArcGIS и ENVI с привлечением методов математической статистики.

Научная новизна. На основе изучения эталонных площадей разработаны методы комплексного анализа материалов космической (в том числе впервые с использованием радарной съемки и съемки высокого разрешения WorldView-3), гравиметрической и магнитометрической съемок для выявления закономерностей размещения платиноидного оруденения.

Впервые для рудных объектов Кольского полуострова, Бушвельдского комплекса и массива Стиллуотер рассчитаны значения яркостных характеристик и показана эффективность их использования при решении прогнозно-поисковых задач для платиноидного оруденения.

Список литературы:

1. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли Основы и методы дистанционных исследований в геологии / пер. с нем. – М. Мир, 1988.
2. Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых платинометаллических руд. – СПб. : СПбГУ, 2003. – С. 487.
3. Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М. : Техносфера, 2008.
4. Чернышов Н. М. Сульфидно-никелевые рудно-магматические системы (типизация и эволюция) // Известия АН СССР. Серия геологическая – 1990. – № 11. – С. 94–106.
5. Шовенгерд Р. А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображения. – Техносфера, 2010. – С. 26–37.
6. Cawthorn R. G. The role of magma mixing in the genesis of PGE mineralization in the Bushveld Complex. Thermodynamic calculations and new interpretations – a discussion // Economic Geology. – 2002. – V. 97. – P. 663– 666.
7. Kinnaird J. A., Kruger F. J. Excursion Guide to the Bushveld Igneous Complex. – Geoscience Africa, University of the Witwatersrand, 2004. – P. 1–23.
8. Scoates J. S., Friedman R. M. Precise age of the platiniferous Merensky reef, Bushveld Complex, South Africa, by U-Pb zircon chemical abrasion ID-TIMS technique // Economic Geology. – 2008. – V. 103. – P. 465–471.
9. Zeh A., Ovtcharova M., Wilson A. H., Schaltegger U. The Bushveld Complex was emplaced and cooled in less than one million years – results of zirconology, and geotectonic implications // Earth and Planetary Science Letters. – 2015. – V. 418. – P. 103–114.
10. Wilson A. H. Platinum-group element mineralization in the Great Dyke, Zimbabwe, and its relationship to magma evolution and magma chamber structure // South African Journal of Geology. – 2001. – V. 104. – P. 319–342.
11. Barnes S-J. Platinum-group element distributions in the Rustenberg Layered Suite of the Bushveld Complex, South Africa // Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements / ed. L. J. Cabri ; Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. – 2002. – Special Volume 54. – P. 431–458.

Rudashevsky N. S., Rudashevsky V. N. (CNT Instruments LLC, Russia),
Oberthür T. (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Germany),
Veksler I. V. (Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Germany)

PRECIOUS METAL MINERALS IN THE LG-6, MG-1/MG-2, UG-2 CHROMITITES
AND THE MERENSKY REEF OF THE BUSHVELD COMPLEX, SOUTH AFRICA:
FRACTIONATION OF ORES AND MINERAL PROCESSING

Characteristic PGM- and Au-rich samples from chromitites LG-6, MG-1/MG-2, UG-2, and Merensky Reef of the Bushveld Complex were studied using patented 3D-technology. The redistribution of PGEs and S, as well as evolution of chemical composition and sequence of PGM formation apparently reflect process of Rayleigh fractionation. Contrast concentration of native gold in the upper parts of the Merensky Reef is treated as fluid transfer of gold in telluride complexes, as well as fluid-magmatic model of differentiation of Bushveld precious metal mineralization as a whole. The sizes of PGM grains-intergrowths with base metal sulphides in the crushing products of chromitites are identical to the sizes of PGM grains from the Merensky Reef which is a mineralogical justification for successful recovery of PGMs using flotation technology not only from the Merensky Reef but also from chromitite horizons.

Key words: Bushveld Complex, chromitites, Merensky Reef, platinum group minerals, native gold, Rayleigh fractionation, fluid-magmatic model, 3D-mineralogical technology, mineral processing.

Samples and methods. Precious metal-rich Bushveld samples were studied using patented 3D-mineralogical technology [2–4, 6]: 1) chromitites from the UG-2 horizon (Kuseleka mine, Western Bushveld), number of precious metal mineral grains $n = 231$; 2) flotation concentrate of LG-6 chromitite (Doornbosch plant, Eastern Bushveld), $n = 157$; 3) flotation concentrate of MG-1/MG-2 chromitite (Twefontein plant, Eastern Bushveld), $n = 183$; 4) Merensky Reef drill core sample US-200, Eastern Bushveld, $n = 138$; 5) Merensky Reef sample A8-10 from Northam mine, Western Bushveld, $n = 364$.

Base metal sulphides. Close associations of precious metal minerals with base metal sulphides are characteristic for all studied Bushveld samples. Concentration of S in chromitites is low (100–200 ppm, sulphide content is usually $< 0,1\%$). Pentlandite, pyrite and chalcopyrite as well as rare millerite are characteristic for chromitites. As a rule, chromitites are pyrrhotite-free. Single grains of pyrrhotite were only found in the composition of HS-concentrates of the sample from the UG-2 horizon. In the Merensky Reef samples sulphides are represented by pentlandite, chalcopyrite, pyrrhotite, and pyrite (sample US-200), or pentlandite, chalcopyrite, pyrrhotite, and troilite, rarely cubanite (sample A8-10). Relationships of base metal sulphides in the polished sections of HS-concentrates show that pyrite was the first among base metal sulphides.

Precious metal minerals. Thirty seven mineral species of platinum group elements (PGE), Au, and Ag, as well as several unnamed platinum group minerals (PGM) were determined in HS-concentrates of these samples. The following characteristic associations of precious metal minerals having contrast distribution were determined: 1) Pt-Pd sulphides – braggite $[(Pt,Pd,Ni)S]$, vysotskite $[(Pd,Pt,Ni)S]$, and coope-rite $[PtS]$; 2) IPGE (Ru, Os, and Ir) minerals – laurite $[(Ru,Os,Ir)S_2]$, erlichmanite $[(Os,Ru,Ir)S_2]$, native iridium $[(Ir,Os,Pt)]$, and irarsite $[(Ir,Rh,Ru)AsS]$; 3) Pt-Rh-Cu thiospinels – malanite $[Cu(Pt,Rh,Ir)_2S_4]$ and cuprorhodsitite $[Cu(Rh,Pt,Ir)_2S_4]$; 4) Pt-Pd-Rh arsenides and sulpharsenides – sperrylite $[PtAs_2]$, hollingworthite $[(Rh,Pt,Ru)AsS]$, platarsite $[(Pt,Ir,Ru)AsS]$, vincentite $[Pd_3As]$, arsenopalladinite $[Pd_2As]$, and majakite $[PdNiAs]$; 5) Pt-Fe-Cu-Pd-Rh-Hg alloys – isoferroplatinum $[Pt_3Fe]$, tulameenite $[Pt_2CuFe]$, and other alloys; 6) Pt-Pd-Ag tellurides and tellur-bismuthides – moncheite $[Pt(Te,Bi)_2]$, maslovite $[PtTeBi]$, kotulskite $[Pd(Te,Bi)]$, keithconnite $[Pd_3Te]$, sobolevskite $[PdBi]$, hessite $[Ag_2Te]$, as well as Ag-sulphide acantite/argentite $[As_2S]$; 7) native gold $[(Au,Ag)]$ and silver $[(Ag,Au)]$; 8) Pd, Pt – Sb, Pb compounds: – isomertieite $[Pd_{11}As_2Sb_2]$, mertieite II $[Pd_8(Sb,As)_3]$, stibiopalladinite $[Pd_5Sb_2]$, naldrettite $[Pd_2Sb]$, sudburyite $[Pd(Sb,Te,Bi)]$, geversite $[Pt(Sb,Te,Bi)_2]$, genkinite $[(Pt,Pd)_4Sb_3]$, and zvyagintsevite $[Pd_3Pb]$; 9) Pt, Pd – Sn compounds:– rustenburgite $[(Pt,Pd)_3Sn]$, paolovite $[(Pd,Pt)_2Sn]$, atokite $[(Pd,Pt)_3Sn]$, and unnamed $[PtSnS]$.

Different contrasting PGM sets are characteristic for Bushveld ore bodies. The low chromitite group (LG-6) is rich in Cu-thiospinels (malanite and cuprorhodsitite) and vysotskite; the middle chromitite horizons (MG-1/2) are richer in PGE-arsenides (sperrylite, hollingworthite, vincentite, etc) and braggite, as well as characteristic minor Pd-, Sb- and Pb- compounds (isomertieite, mertieite II, stibiopalladinite, zvyagintsevite, etc); the upper chromitite group (UG-2) is rich in IPGE-minerals (laurite as well as minor erlichmanite, irarsite, and iridium) and braggite. Merensky Reef ore is rich in Pt-sulphides (cooperite and braggite – sample US-200) in contrast to chromitites, as well as in Pt-Fe alloy (isoferroplatinum, sample A8-10), tellurides (moncheite, kotulskite, etc), native gold and characteristic minor Sn-compounds (rustenburgite, paolovite, etc).

Discussions and conclusions. The main paragenesis of all precious metal minerals with base metal sulphides is documented by associations of their grains in HS-concentrates from all studied samples. For chromitites, pentlandite and pyrite associated with PGMs sometimes contain high Pd- and Rh-admixtures. This is in accordance with primary magmatic generation of such base metal sulphides.

The evolution of chemical composition and sequence of PGM formation apparently reflect Rayleigh fractionation. Thus, from the lower (LG-6) to upper (UG-2) chromitite horizons and in the Merensky Reef (samples US-200 and A8-10) the role of vysotskite among Pd- and Pt-sulphides (main PGMs) decreases while braggite and cooperite input increases. The same evolutionary trend of these PGMs is observed for nickel admixtures in these minerals – Ni-concentration is maximal in vysotskite of the lower group chromitites, it decreases notably in braggite from the UG-2 horizon, and it is minimal in cooperite of the Merensky Reef samples.

This regularity of nickel enrichment revealed for earlier palladium compositions of Pd-Pt sulphides in chromitites LG-6 and MG-1/2 is in conformity with evolutionary trend of pentlandite chemistry that is synchronous with these PGMs. Pentlandite from the lower and middle groups of chromitites is contrastly Ni-rich compared to pentlandite of chromitites of the UG-2 and Merensky Reef.

Thus, these regularities related to revealed distribution of Ni-impurity in Pt-Pd-sulphides and base metal sulphides of Bushveld are as the result of chemical composition changes of mineral-forming sulphide melt and progressive depletion by nickel during its crystallization.

The Rayleigh fractionation, apparently, is also responsible for the re-distribution of sulphur in sulphide melt composition in chromitites - the first portions of sulphide liquid during crystallization contained maximum amount of sulphur. Such trend of chemical composition changes for primary sulphide melt explains presence of pyrite in chromitites instead of pyrrhotite, as well as maximum amounts of pyrite in the lower group of chromitites (LG-6). Direct evidence of sulphur fractionation in primary portions of sulphide melt is the earliest crystallization of the pyrite with respect to other base metal sulphides of chromitites. It is no coincidence that the earliest PGMs are Ru, Os, Pd, and Pt sulphides (laurite, vysotskite, and braggite) which crystallize synchronously with pyrite.

The contrasting concentration of native gold was determined in the upper parts of the Merensky Reef of both studied samples. The accumulation of gold in the Merensky Reef has no explanation in magmatic geological and petrological models of formation of layered intrusions.

We suggest an option of fluid-magmatic fractionation of noble metal mineralization in the layered basic intrusions [7] for understanding of these facts for the Bushveld Complex. Ore-sulphide melt, forming in the residual silicate-melt after crystallization of chromite was selectively concentrating its sulphide, oxide or metal fractions. Gold is forming various complex compounds, such as hydroxo-complexes, chloride, sulphide, arsenide-sulphide, as well as telluride and selenide at high *PT*-parameters. Highly volatile Au-fluid phase may have led to differentiation of precious metals – precipitation of the dominating PGMs together with base metal sulphides in chromitite horizons and accumulation of gold and semi-metals (Te, Se) in fluid phase which was then deposited in association with base metal sulphides, mainly in the upper part of the Merensky Reef. This conclusion is consistent with high Te-PGMs contents (firstly, moncheite) in the Merensky Reef. Significantly larger grains of sulphides and precious metal minerals in the rocks of the Merensky Reef are an indirect confirmation of fluid activity during crystallization of PGMs, gold and base metal sulphides in this horizon.

Average grain sizes of precious metal minerals in chromitites are $17 \pm 4 \mu\text{m}$. These are 2 times smaller than grains from the Merensky Reef samples – $34 \pm 3 \mu\text{m}$. But sizes of free PGM particles together with base metal sulphide grains-intergrowths with PGMs in chromitite crushing products are $34,4 \pm 4 \mu\text{m}$.

These generally correspond to sizes of precious metal mineral grains from the Merensky Reef samples. These observations explain production of rich flotation concentrates upon extraction of PGMs from UG-2 chromitites [1] as well as from horizons LG-6 and MG-1/2 [5].

References:

1. Deeplaul V., Bryson M. Mintek, a national resource of minerals processing expertise for platinum ores, International Platinum Conference “Platinum Adding Value”, The South Africa Institute of Mining and Metallurgy, 2004, P. 9–14.
2. Hydraulic classifier. Patent on invention №2281808 Russian Federation, developers N. S. Rudashevsky, V. N. Rudashevsky, Moscow, 2006. (In Russ.).
3. Hydraulic classifier. Patent on invention №69418, Utility model, Russian Federation, developers N. S. Rudashevsky, V. N. Rudashevsky, Moscow, 2007 (In Russ.).
4. Method for separating granular materials and device for carrying out said method. Patent Cooperation Treaty. PCT/RU01/00123, developers N. S. Rudashevsky, V. N. Rudashevsky, S. D. Lupal, Moscow, 20 April 2001, 10 May 2001. (In Russ., in eng.).
5. Oberthür T., Junge M., Rudashevsky N., de Meyer E., Gutter P. Platinum-group minerals in the LG and MG chromitites of the Bushveld Complex. South Africa, Mineralium Deposita, 2016, V. 51, P. 71–87.
6. Rudashevsky N. S., Rudashevsky V. N., Antonov A. V. Universal mineralogical technology of research for rocks, ores and process products, Regional geology and metallogeny, 2018, No 73, P. 88–102. (In Russ.).
7. Rudashevsky N. S., Rudashevsky V. N., Nielsen T. D. F. Intermetallic compounds, copper and palladium alloys in Au-Pd ore of the Skaergaard Pluton, Greenland, Geology of Ore Deposits, 2015, V. 57, No 8, P. 674–690.

Кряжев С. Г., Брысин М. П. (ФГБУ «ЦНИГРИ»), Соловьев С. Г. (ФГБУН ИГЕМ РАН)

РУДОПРОЯВЛЕНИЕ КУЛЬБИЧ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ, РОССИЯ): НОВАЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО КРУПНАЯ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВАЯ СИСТЕМА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

По данным исследования флюидных включений установлены РТХ-условия формирования рудопроявления Кульбич в связи с длительно развивавшейся золото-медно-молибден-порфировой рудно-магматической системой. Такая связь подчеркивает перспективы региона, известного своими крупными золото-медно-скарновыми месторождениями, на оруденение порфирового типа.
Ключевые слова: Кульбич, золото-медно-порфировое, флюидные включения.

Центрально-Азиатский орогенный пояс включает многочисленные крупные золото-медно-порфировые и золото-медные скарновые месторождения, в том числе крупнейшие золото-медно-порфировые месторождения Ою Толгой (Монголия), Алмалык (Узбекистан), Коунрад (Казахстан) и др. [4, 6, 7]. Большинство этих месторождений имеет девонский–позднекаменноугольный возраст и входит в состав крупного металлогенического пояса, протягивающегося из Монголии в Казахстан и Среднюю Азию (Кыргызстан, Узбекистан). Недавно была показана возможность распространения данного пояса также и на территорию Российского Алтая, где известно крупное золото-медное скарновое Синюхинское месторождение того же возраста [8].

Синюхинское месторождение обнаруживает признаки родства со скарновыми месторождениями, развитыми в комбинированных золото-медных скарново-порфировых магмато-генно-гидротермальных системах. Оно является частью крупного рудного района, в котором, наряду со скарновыми, известны также проявления золото-медно-порфирового оруденения, большинство из которых остаются недооцененными. Одним из таких рудопроявлений, весьма значительные перспективы которого в отношении масштабного золото-медно-порфирового оруденения предпола-

гаются давно [1], является рудопроявление Кульбич. Это рудопроявление, несмотря на значительный размах соответствующей минерализации, присутствие характерных метасоматитов, потенциально-продуктивных фаций магматических пород и другие благоприятные признаки, также остается недостаточно изученным с применением комплекса горно-буровых работ.

Рудопроявление Кульбич, входящее в состав Синюхинского рудного района, пространственно ассоциирует с группой субвулканических тел дацит-порфиров, развитых в приконтактной области крупного габбро-диорит-плагиогранитного интрузивного массива. Возраст этого массива определен как ранне-среднекембрийский (541–511 млн лет), тогда как субвулканические породы Кульбичского рудопроявления отнесены к раннему–среднему девону (396 млн лет) [1]. Эта датировка совпадает с возрастом гранитоидов Югагинского плутона (406–396 млн лет) и Тсаганского плутона (381 млн лет), с которыми ассоциирует Синюхинское месторождение [2]. Примечательно, что по времени формирования продуктивные гранитоиды на Синюхинском месторождении и рудопроявлении Кульбич весьма близки гранитоидам крупнейшего золото-медно-порфирового месторождения Ою Толгой (Монголия), возраст которых оценивается в 372–370 млн лет [6].

Рудопроявление Кульбич представлено штокверком кварцевых прожилков (мощностью от долей миллиметра до 1–5 см) с молибденитом, халькопиритом, гематитом, магнетитом, который распространен на 2–3 км в длину при ширине 400–600 метров. Н. И. Гусев с соавторами отмечают [1], что по данным геологоразведочных работ 1948–1954 и 1983–1987 гг. на рудопроявлении оценены запасы меди 1,25 млн т при средних содержаниях Cu 0,5–0,7 %. При этом руды дополнительно содержат порядка 26 тыс. т молибдена и около 150 т золота (при средних содержаниях Mo 0,01–0,02 % и Au 0,1 г/т). С поверхности и до глубины 10–100 м развита зона окисления.

Нами на рудопроявлении Кульбич был выполнен небольшой объем заверочного штучного опробования выходящих на поверхность минерализованных зон. Все пробы показали повышенные содержания полезных компонентов. При этом в 50 % проб установлены концентрации Cu 0,4–2,4 % и Au 0,2–1,2 г/т. Содержания молибдена варьируют от 0,001 до 0,4 % независимо от содержания меди и золота.

С целью уточнения типа оруденения и выяснения условий его формирования авторами было выполнено исследование флюидных включений в кварце из рудных образцов. В результате установлено, что наиболее ранние кварц-калшпатовые метасоматиты, несущие рассеянную молибденитовую минерализацию, были сформированы при участии высокотемпературных поликомпонентных рассолов-расплавов магматогенного происхождения. Включения этих флюидов содержат крупный кристалл галита, насыщенный раствор $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ ($T_{\text{звт}} = -55^\circ\text{C}$), красный полупрозрачный рудный минерал (гематит) и анизотропный кристалл с большим показателем преломления. Галит растворяется при 470–480 °C после исчезновения газового пузырька (при 255–265 °C), другие фазы не растворяются до декрепитации включений при 550–580 °C. Концентрация растворов в момент гомогенизации составляет 50 мас. % $\text{NaCl} + 10$ мас. % CaCl_2 , давление около 2 кбар.

В кварце березитов (серицит-анкерит-кварцевых метасоматитов с молибденит-кварцевыми прожилками) содержатся включения гетерогенных (кипящих) углекислотно-водно-солевых флюидов ($T_{\text{звт}} = -25^\circ\text{C}$, концентрация солей 5,5 мас. % NaCl -экв., углекислоты 4,5–5 мол. %), захваченных при температуре 220–230 °C. Давление при минералообразовании, определенное по плотности CO_2 в углекислотных включениях (0,78 г/см³), составляло 1100 бар.

В кварце прожилков, несущих обильную халькопиритовую минерализацию, обнаружены включения слабоконцентрированных щелочно-хлоридных растворов ($T_{\text{звт}} = -25^\circ\text{C}$, концентрация 7,5 мас. % NaCl -экв.), которые ассоциируют с включениями водяного пара. Температура захвата включений составляет 410–420 °C, давление 300–400 бар.

Таким образом, полученные результаты подтверждают отнесение рудопроявления Кульбич к золото-медно-молибден-порфировому типу. При этом для него установлено пространственное совмещение, по-видимому, разновременных рудоносных метасоматитов, с резко различными параметрами минералообразующих флюидов: минерализованных кварц-полевошпатовых метасоматитов с преимущественно молибденовой минерализацией, сформированных в более глубоких условиях, и сравнительно малоглубинных низкотемпературных метасоматитов (березитов, филлизитов) с молибденовым и золото-медным оруденением. Соответственно, рудообразование протекало в весьма широком диапазоне температур (от 480 до 220 °C) и давлений (от 2000 до 300 бар).

Установленные для рудопроявления Кульбич физико-химические параметры сложной эволюции рудообразующих флюидов близки к условиям формирования определенной части метасоматитов и руд Синюхинского месторождения [8]. Принимая во внимание одинаковый возраст продуктивного магматизма, выявленная закономерность является дополнительным свидетельством их принадлежности к единому комплексному магматогенно-рудному узлу.

Совмещение в крупном рудном узле золото-медных месторождений скарнового и порфирового типа представляет интерес в аспекте истории открытия крупнейших золото-медно-порфировых месторождений мира [3]. Менее крупные, но с более высокими содержаниями металлов скарновые месторождения привлекали внимание на начальных этапах геологоразведочных работ. Затем приходило понимание геологии и минерального потенциала территорий в плане их перспектив на золото-медно-порфировое оруденение, которому присущи более низкие содержания, но гораздо (на 1–2 порядка) более крупные ресурсы металлов. Именно такая последовательность обнаружения месторождений двух рассматриваемых геолого-генетических типов описана для крупнейших медно-порфировых объектов в рудных районах Эртсберг-Грасберг (Индонезия), Ок Теди (Папуа-Новая Гвинея), Кадия (Австралия), Бингхэм (США), Гаспе (Канада) и многих других. Выявление крупнейшей металлогенической провинции «скарново-порфировых» золото-медных месторождений в Восточном Китае [5] продемонстрировало вероятность развития подобных крупных рудообразующих систем и во внутриконтинентальных (пост-коллизийных и внутриплитных) обстановках. Это особенно актуально для оценки соответствующих перспектив Алтайских, Забайкальских и других террейнов орогенного обрамления Сибирской платформы, входящих в состав Центрально-Азиатского орогенного пояса.

Список литературы:

1. Гусев Н. И., Шокальский С. П., Гусев А. И. Магматизм и меднопорфировое оруденение месторождения Кульбич, Горный Алтай // Региональная геология и металлогения. – № 46. – 2011. – С. 85–97.
2. Гусев Н. И., Гусев А. И. Изотопно-геохимические особенности и возраст магматизма Синюхинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Геология и природные ресурсы Горного Алтая. – 2012. – № 1–2. – С. 23–32.
3. Jowitt S. M., Mudd G. M., Weng Z. Hidden mineral deposits in Cu-dominated porphyry-skarn systems: how resource reporting can occlude important mineralization types within mining camps // Economic Geology. – 2013. – V. 108. – P. 1185–1193.
4. Mao J., Pirajno F., Lehmann B., Luo M., Berzina A. Distribution of porphyry deposits in the Eurasian continent and their corresponding tectonic settings. // Journal of Asian Earth Sciences. – 2014. – № 79B. – P. 576–584.
5. Pirajno F., Zhou T. Intracontinental porphyry and porphyry-skarn mineral systems in eastern China: Scrutiny of a special case “Made-in-China” // Economic Geology. – 2015. – V. 110. – P. 603–629.
6. Porter T. M. The geology, structure and mineralization of the Oyu Tolgoi porphyry copper-gold-molybdenum deposits, Mongolia: A review // Geoscience Frontiers. – 2016. – № 7. – P. 375–407.
7. Seltmann R., Porter T. M., Pirajno F. Geodynamics and metallogeny of the central Eurasian porphyry and related epithermal mineral systems: a review // Journal of Asian Earth Sciences. – 2014. – № 79. – P. 810–841.
8. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Uyutov V. I. Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics of the Sinyukhinskoe Cu-Au skarn deposit, Russian Altai, SW Siberia // Ore Geology Reviews. – 2019. – 112. – Paper 103039.

ЗОЛОТО-РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЙ ТИП ОРУДЕНЕНИЯ ВЕТРЕНСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Получена характеристика вещественного состава и геохимической специализации, определены физико-химические условия образования, абсолютный возраст и рудоконтролирующие факторы золото-редкометалльного типа минерализации в пределах Ветренской площади Магаданской области (листы Р-55-XXIV и Р-56-XIX, результаты ГДП-200 с участием ЦНИГРИ).

Ключевые слова: золото-редкометалльный, минерализация, оруденение, рудный, состав, факторы, контроль, Центрально-Колымский, Экспедиционное, Чалбыкан.

При проведении ГДП-200 на Ветренской площади (листы Р-55-XXIV, Р-56-XIX) в Магаданской области ФГБУ «ЦНИГРИ» (в рамках работ по договору с ФГБУ «ВСЕГЕИ») получены новые данные по золото-редкометалльному типу оруденения.

Золото-редкометалльный тип оруденения является вторым после золото-кварцевого по распространенности в Центрально-Колымском золотоносном районе. И хотя промышленных объектов золото-редкометалльного типа в регионе пока не установлено, изучение данного типа имеет большое значение для определения его промышленного потенциала и обоснования площадей для постановки поисковых работ.

На Ветренской площади были известны проявления золото-редкометалльной минерализации в Чалбыканских и Малтанских штоках. По результатам полевых работ ФГБУ «ЦНИГРИ» впервые выявлена зона золото-редкометалльной минерализации в северо-западном контакте штока Хилтан, выявлены геохимические аномалии в потоках и почвах золото-редкометалльного типа в пределах Ярыгинского массива гранитов, установлены рудные образования золото-редкометалльного типа на месторождении Экспедиционном. По анализу ретроспективных данных к золото-редкометалльному типу отнесено несколько пунктов минерализации в пределах гранитных массивов. Эти новые данные существенно расширили площадь распространения золото-редкометалльной минерализации.

Оруденение золото-редкометалльного типа представлено прожилками, прожилковыми зонами, редко маломощными жилами кварца с золото-висмутин-арсенопиритовой минерализацией, локализованными в малых интрузивных телах (штоках, крупных дайках) и в их экзоконтактах. Отдельную немногочисленную группу представляют проявления того же состава на контактах и внутри крупных гранитных массивов.

Рудные образования характеризуются золото-редкометалльной (Au, As, Bi, W, $\pm$ Mo, $\pm$ Ag, $\pm$ Sn) геохимической специализацией, невысокими содержаниями золота (0,1–3,0 г/т), тонким и низкопробным золотом. Главным типоморфным сульфидным минералом является арсенопирит с массивно-гнездовым и прожилково-вкрапленным характером развития. В меньшем количестве развит пирит. Характерна высокая объемная доля арсенопирита в прожилках и жилах, в отдельных прожилках она составляет до 50 и более %. Характерно спорадическое присутствие в очень небольшом количестве молибденита. Часто наряду с золотом в пробах фиксируется повышенное до 10–50 г/т и более содержание серебра.

Участки развития золото-редкометалльной минерализации сопровождаются комплексными аномалиями Au, As, Bi, W в донных отложениях и почвах. Характерна высокая интенсивность (нередки изоконцентраты золота $\geq 0,1$ г/т) и сплошность аномалий (по Au и As). В пределах ореолов Au и As площадные аномалии W и Bi развиты более локально, они наиболее тесно связаны с участками развития арсенопирит-кварцевых прожилков в гранитах. В отдельных пробах почв отмечаются повышенные концентрации Sn, Mo, Ag. По накопленным в регионе и собственным данным можно сделать вывод, что золото-редкометалльное оруденение формирует обогащенные вторичные ореолы золота в почвах.

Минералого-петрографическими исследованиями установлено, что рудная минерализация представлена двумя последовательно сформированными продуктивными ассоциациями. Ранняя

пирит-арсенопиритовая минерализация входит в состав околорудных метасоматитов. Пирит в метасоматитах образует метакристаллы размером 0,5–1,0 мм. Ромбовидные кристаллы арсенопирита-1 имеют меньшие размеры (0,25–0,5 мм), иногда содержат включения халькопирита. Арсенопирит-2, характерной особенностью которого является отсутствие кристаллографических форм, образует мономинеральные прожилки и крупные (до 1 см) выделения неправильной формы в жильном и прожилковом кварце. Возможно, арсенопирит-1 и арсенопирит-2 отлагались одновременно в различных зонах метасоматической колонки при разной степени пресыщения растворов рудообразующими компонентами. В ассоциации с арсенопиритом-2 закономерно встречается леллингит. Золотоносность руд прямо зависит от содержания в них арсенопирита-2.

Поздняя продуктивная ассоциация, которая является индикаторной для данного типа оруденения, представлена минералами висмута в парагенезисе с самородным золотом. Характер наблюдаемых взаимоотношений свидетельствует о более позднем отложении золото-редкометалльной минерализации по отношению к арсенопириту-2: чаще всего она приурочена к интерстициям в катаклазированных агрегатах этого минерала.

Среди висмутовых минералов по оптическим свойствам диагностируются висмутин и самородный висмут. Возможно, присутствуют также теллуриды и сульфотеллуриды висмута, а также теллуриды золота. В большинстве случаев размеры их выделений, а также выделений самородного золота составляют 1–10 мкм и обнаруживаются только под микроскопом. Весьма вероятно, что значительное количество золота и его спутников находится в арсенопирите в виде субмикроскопической примеси. Судя по насыщенности цвета в аншлифах, самородное золото имеет низкую пробность (электрум, 500–700 ‰).

Золотоносные сульфидно-кварцевые прожилки сопровождаются маломощными оторочками березитов серицит-кварцевого состава с вкрапленностью метакристаллов пирита и арсенопирита и спорадически проявленной карбонатизацией. Мощность метасоматических ореолов сопоставима с мощностью кварцевых прожилков и обычно составляет первые сантиметры. Во внешней зоне вмещающие гранодиориты хлоритизированы и окварцованы, порфиры плагиоклаза альбитизированы, карбонатизированы и серицитизированы. Околорудные метасоматические изменения, сопровождающие золотоносную минерализацию, соответствуют низкотемпературным околожильным кислотным метасоматитам серицит-(анкерит-пирит)-кварцевого состава. В отечественной литературе подобные метасоматиты относятся к березитам и березитизированным породам [2].

По результатам исследования флюидных включений для всех изученных проявлений установлено, что объекты были сформированы при относительно низких давлениях ($0,4 \pm 0,1$ кбар) и температурах ($T = 340\text{--}285$ °C) при участии восстановленных флюидов, что фиксируется по присутствию во флюидных включениях фазы газообразного метана.

Определены также условия образования золото-кварцевого оруденения в углеродисто-терригенных породах, расположенные на Ветренской площади (Ветренское месторождение, проявления в бассейне руч. Мой-Уруста). Эти объекты сформированы при температурах 330–280 °C в условиях высокого давления (1,3–1,6 кбар), что фиксируется по наличию во флюидных включениях фазы жидкой углекислоты.

Выявленная значительная разница давлений минералообразующих флюидов позволяет предполагать, что рудные объекты золото-кварцевого и золото-редкометалльного типов были сформированы на разных глубинах от палеоповерхности (от 5–6 км до 2–3 км) и, таким образом, принадлежат к разным этапам (эпохам) рудообразования.

Установленные особенности состава и условий формирования золотоносной минерализации месторождения Экспедиционное, участков Хилтанский, Валунный в полной мере отвечают признакам оруденения золото-редкометалльной формации, выделяемой в Верхояно-Колымской провинции [1]. В зарубежной литературе подобные объекты относятся к золоторудным месторождениям, связанным с «восстановленными» гранитоидами («reduced intrusion related»).

По результатам Re-Os изохронного метода датирования, выполненного в 2020 г. в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, возраст арсенопирита из руд месторождения Экспедиционное составляет $117 \pm 2,3$ млн лет, арсенопирита из прожилков в гранодиоритах штока Валунного – $136,9 \pm 4,5$ млн лет. Полученные данные свидетельствуют о более молодом возрасте рудной минерализации по сравнению с вмещающими интрузивными породами штоков и даек (~ 150 млн лет). Вто-

ричные геохимические аномалии золото-редкометалльного типа накладываются на крупные интрузивные массивы, что также свидетельствует об постбатолитовом возрасте золото-редкометалльной минерализации.

Важной особенностью является ведущее значение тектонического фактора в контроле размещения золото-редкометалльного оруденения. Характерна локализация золото-арсенопиритовых прожилков и жил в системах тектонических трещин, разрывов, зон дробления северо-восточного направления на всех изученных проявлениях. Северо-восточное направление прожилковых зон установлено в пределах штоков Верхнехурчанский, Мал. и Бол. Чалбыкан, Валунный (Чалбыканская группа), штоках Каприз и Мрак (Малтанская группа), в штоке Хилтан и в рудовмещающей дайке на месторождении Экспедиционное.

Широкое площадное развитие и выдержанность направления данных структур позволяет нам выделить региональную рудоконтролирующую систему северо-восточной рассеянной трещиноватости. Эта система является рудоносной не только для золото-редкометалльного типа минерализации, но и контролирует размещение широкого спектра других полезных ископаемых в рассматриваемом районе. В позднемеловом гранитном массиве Западный Бутугычаг северо-восточные разрывы являются рудовмещающими для оловянного и уранового оруденения (Бутугычагское месторождение), в Сибердикском массиве позднеюрского возраста контролируют кварц-щеелитовые (проявление руч. Правый) и кварц-молибденитовые прожилки и жилы (проявление Семёновский), в районе штока Профессорский (позднемелового возраста) – молибденовую, урановую, серебряную минерализацию. Месторождение Бохапчинское представлено линейным штокверком жил и прожилков вольфрамит-кварцевого состава, имеющим северо-восточное простирание.

Северо-восточные зоны трещиноватости пересекают всю территорию, имеют нечёткие границы и слабое выражение в геологических и геофизических полях. Вспышки оруденения наблюдаются только в пределах наложения зон на интрузивные тела различного размера (массивы, штоки, дайки) и подчиненно на роговики и песчаники (на месторождении Экспедиционное) в экзоконтактах этих тел. В межинтрузивном пространстве, в монотонных толщах преимущественно алевролитового состава, данная система проявлена слабо.

Однотипные морфологические особенности, молибден-серебро-золото-редкометалльная рудная специализация, развитие на большой площади показывают, что рассматриваемая система рудоносных трещин могла приоткрыться и стать проницаемой для рудоносных растворов в обособленный этап функционирования регионального поля напряжений, сопряженного с определенным рудно-металлогеническим этапом. Они могут интерпретироваться как региональная система трещин отрыва, возникших при продольном растяжении (в направлении северо-запад–юго-восток) и изгибе при подъеме территории относительно структур Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (ОЧВП). В этом случае находят объяснение их рассеянный характер, мало- и безамплитудность, приуроченность к крупным поверхностям раздела (боковые зоны магматогенных валов) и преимущественное развитие в более компетентных породах.

На наш взгляд, эта система является отражением тектонических движений в пределах ОЧВП и несет пеструю металлогеническую специализацию переходного типа (включающую золото-редкометалльную), наложенную на терригенные образования Яно-Колымской складчатой системы и магматиты Главного батолитового пояса в зоне их сочленения с ОЧВП.

С учетом данных изотопно-геохронологического датирования рудных минералов, малоглубинных условий минералообразования, наложения геохимических аномалий и минерализации золото-редкометалльного типа на гранитные массивы, проявления системы рудоконтролирующих северо-восточных трещин во всех дочетвертичных геологических комплексах площади время образования золото-редкометалльной минерализации в пределах Ветренской площади может быть отнесено к меловому этапу ТМА.

Список литературы:

1. Гамянин Г. Н. Минерало-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозойд. – М. : ГЕОС, 2001. – 221 с.
2. Метасоматизм и метасоматические породы / под ред. В. А. Жарикова, В. Л. Русинова. – М. : Научный мир, 1998.

СОДЕРЖАНИЕ

Агашева Е. В., Агашев А. М., Шукин В. С. ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА МАГМАТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА В ПЕСЧАНИКАХ КРАТЕРНОЙ ЧАСТИ ТРУБОК ВЗРЫВА АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ	2
Алексеев Я. В., Заскинд Е. С., Конкина О. М. ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ ЦЕНТРОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	4
Алексеев Я. В., Конышев В. О. О НЕТРАДИЦИОННЫХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССИИ	6
Алексеев Я. В., Корчагина Д. А. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МСБ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ АЛТАЙСКОГО РЕГИОНА.....	8
Ананьев Ю. С., Гаврилов Р. Ю., Орехов А. Н., Рудмин М. А., Лесняк Д. В. КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ КИСЛОТНО-СУЛЬФАТНОГО ТИПА СРЕДНЕУЛЬИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ ПЛОЩАДНЫХ СТРУКТУРНЫХ, ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	10
Андреев А. В. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ НОВОГОДНЕНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ КАК ОСНОВА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПОСТАНОВКИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ МАЛОУРАЛЬСКОГО ВПП ПОЛЯРНОГО УРАЛА.....	11
Андреев А. В., Авилова О. В., Старостин И. А. ПЕТРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОД КЫЗЫК-ЧАДРСКОГО ИНТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА КАК КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗА МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ОЖИНСКОГО ПЛУТОНА (РЕСПУБЛИКА ТЫВА).....	13
Архипенков А. И., Иванов А. С., Шмаков И. И. ПЕРЕХОД СОСТАВА СПЕССАРТИН-ГРОССУЛЯР-ПИРОП-АЛЬМАНДИНА В ПИРОП-ГРОССУЛЯР-АНДРАДИТ В КИМБЕРЛИТАХ РИО-РАНЧ (ЗИМБАБВЕ).....	15
Бабаянц П. С., Калмыков Б. А., Трусов А. А., Ромашко В. В. РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ.....	17
Бакшеев Н. А. ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ И ЭВОЛЮЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СКОПЛЕНИЙ ЗОЛОТА ОТ КОРЕННОГО ИСТОЧНИКА ДО РОССЫПИ ЕГОРЬЕВСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ САЛАИР).....	19
Баранов Л. Н., Остапенко Д. В., Николенко Е. И., Толстов А. В. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ВЫСОКОКАЛИЕВЫХ ПОРОД ЗАПАДНО-ОЛЕКМИНСКОГО РАЙОНА.....	21
Барышев А. Н., Хачатрян Г. К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ДОСТАВКУ АЛМАЗОНОСНОЙ СРЕДЫ ИЗ ГЛУБИН, ОБРАЗОВАНИЕ ТРУБОК КИМБЕРЛИТОВ И ЛАМПРОИТОВ В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЕВ ПРОГНОЗА.....	23

Богославец Н. Н., Зайцева М. Н., Хачатуров М. М. ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД МУЛИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ).....	25
Божко Н. А. ЭВОЛЮЦИЯ АЛМАЗОНОСНОГО МАГМАТИЗМА В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ.....	27
Бондаренко Н. В., Видавский В. В., Муравьев В. С., Михайлов С. Н. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЫЛЭНСКОГО РУДНОГО УЗЛА.....	29
Бондаренко Н. В., Костин А. В., Муравьев В. С. СОВРЕМЕННАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗАПАДНОГО ВЕРХОЯНЬЯ (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ).....	33
Брель А. И. ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СВИНЦА И ЦИНКА В ЮГО-ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ В СВЯЗИ С ВЫЯВЛЕНИЕМ НОВОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	35
Викентьев И. В. КОЛЧЕДАННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ УРАЛА.....	37
Волков А. В., Галямов А. Л., Савчук Ю. С. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ В МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ.....	40
Вязовецкий Ю. В., Ярцева Л. А. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАРЫХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ.....	42
Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В. ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ Pb-Zn МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ.....	44
Глухов А. Н. ПЛЕЙ-АНАЛИЗ ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	46
Глухов А. Н. К ВОПРОСУ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ АРХЕЙСКИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	47
Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Голубева Ю. Ю. ПРОБЛЕМЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА МСБ АЛМАЗОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ГРР.....	49
Гусев Н. И. МАГМАТИЗМ СИНЮХИНСКОГО И ЧОЙСКОГО ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЕЙ ГОРНОГО АЛТАЯ: ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА ОРУДЕНЕНИЯ.....	52
Дак А. И., Данкэн Д. ПЕРСПЕКТИВЫ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ ТАНЗАНИЙСКОГО КРАТОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТ КОМПАНИИ SAVANNAH DIAMONDS LTD (2006–2008 гг.).....	54
Дементеев Л. И. ГИДРОГЕННЫЕ РУДНЫЕ КОНКРЕЦИИ ПОКРОВНОГО ЧЕХЛА – ИНДИКАТОРЫ СКРЫТОГО ДРЕВНЕГО ОРУДЕНЕНИЯ ФУНДАМЕНТА (ЮЖНЫЙ УЗБЕКИСТАН).....	56

Джурабаев А. Б., Амиров Э. М., Оролов А. К., Садиров Р. М. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАУШАН (ГОРЫ КУЛЬДЖУКТАУ, ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КЫЗЫЛКУМЫ).....	57
Донец А. И. КЛАССИФИКАЦИЯ И ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД НЕСУЛЬФИДНЫХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	59
Дьячков Б. А., Мизерная М. А., Бисатова А., Мирошникова А. П., Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А К ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО АЛТАЯ.....	60
Ефанова Л. И., Тарбаев М. Б., Кузнецов С. К., Майорова Т. П. ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ МАНИТАНЫРДСКОГО РАЙОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ).....	63
Загайный А. К., Микоев И. И., Лобкова Л. П., Николаева Э. В., Антонов С. А. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ ЯКУТИИ МИРНИНСКОГО ТИПА.....	64
Заернюк В. М., Чжан Чи РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ КИТАЯ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	66
Заикина А. В., Лукашова М. В. ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НА СКАНИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОННОМ МИКРОСКОПЕ ДЛЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ОБРАЗЦОВ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	68
Зайцева М. Н. ОБСТАНОВКИ И УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА.....	70
Звездов В. С. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ КРУПНЫХ И СВЕРХКРУПНЫХ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	72
Звездов В. С., Агибалов О. А., Краснов А. Н., Минина О. В., Федоренко С. В., Черемисина Е. А., Чурилова Т. А., Калабашкин С. Н., Смелова Л. В., Шерстюк Н. Н., Бужкова Т. В., Шерстюк И. А., Падерин П. Г., Деменюк А. Ф., Шахова С. Н. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЛОЩАДЕЙ С ПЕРСПЕКТИВАМИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БАЛАНСА ЗАПАСОВ, НАКОПЛЕННОЙ ДОБЫЧИ И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ КОРЕННОГО И РОССЫПНОГО ЗОЛОТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	75
Зинченко В. Н., Иванов А. С., Вунда Т. М. ИНДИКАТОРНЫЕ ПАРАСТЕРЕЗИСЫ МСА ИЗ КИМБЕРЛИТОВ АНГОЛЫ (ГЛУБИННОСТЬ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ СРЕДЫ АЛМАЗОГЕНЕРАЦИИ).....	78
Зинчук Н. Н. О НЕКОТОРЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТ НА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЕ.....	80
Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н. ДРЕВНИЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ В СВЯЗИ С АЛМАЗОПОИСКОВЫМИ РАБОТАМИ.....	83

Зубова Т. П., Краснов А. Н. ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЗКВ И РОССЫПЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	85
Иванов А. И. РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ ЗОЛОТОНОСНЫЕ СТРУКТУРЫ В ОБЛАСТЯХ РАЗВИТИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ И КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	87
Иванов А. С., Ащепков И. В., Медведев Н. С. РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ И ПРИМЕСНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПИРОПАХ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ЗАРНИЦА.....	89
Иванова И. И., Тригубович Г. М. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АЛАКИТСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ.....	90
Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Новиков К. В., Толстов А. В. МЕЛКИЕ СКЛАДКИ ВОЛОЧЕНИЯ В КЕМБРИЙСКИХ И ОРДОВИКСКИХ ТОЛЩАХ, ВМЕЩАЮЩИХ КИМБЕРЛИТЫ МИРНИНСКОГО, НАКЫНСКОГО И СЮЛЬДЮКАРСКОГО АЛМАЗОНОСНЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТИИ.....	91
Игнатов П. А., Толстов А. В., Проценко Е. В., Колесник А. Ю., Мальцев М. В. ПЕРСПЕКТИВЫ Cu-Ni-EPG ОРУДЕНЕНИЯ НОРИЛЬСКОГО ТИПА В ЫГЫАТТИНСКОМ РАЙОНЕ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ.....	93
Истомин В. А., Пичугин С. В. ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ АЛМАЗОНОСНОСТИ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ БЕРЕГА СКЕЛЕТОВ НАМИБИИ.....	96
Кайгородова Е. Н., Лебедев В. А., Петров В. А. ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ КЕЛЬ-БАШ (ВЕРХОВЬЯ ХУЛАМО-БЕЗЕНГИЙСКОГО УЩЕЛЬЯ, КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА).....	98
Калита В. А., Алексеев Я. В. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕКОТОРЫХ РОССИЙСКИХ И КАНАДСКИХ ПРОЕКТОВ ПО ОСВОЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОРЕННОГО ЗОЛОТА.....	100
Калмыков Б. А., Трусов А. А. ОСОБЕННОСТИ ОТРАЖЕНИЯ ТРУБОК ВЗРЫВА В МАТЕРИАЛАХ АЭРОЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ (НА ПРИМЕРЕ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА).....	102
Каримова Ф. Б., Джуманиязов Д. И. РОЛЬ МАГМАТИЗМА В ФОРМИРОВАНИИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ АЛМАЛЫК-АНГРЕНСКОГО РАЙОНА (ЧАТКАЛО-КУРАМИНСКИЙ РЕГИОН).....	104
Кирсанов А. А., Павлова В. О., Золотухина А. В. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВЕРОЯТНЫХ ЗОН ОКОЛОРУДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ГДП-200 (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	106
Китаев А. В., Мурзин О. В. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО И СОПРЯЖЕННОГО С НИМ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ САЛАЙРСКОЙ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ.....	109

Колмаков Ю. В., Сазонов А. М. ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА И ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАРТИЗАНСКОГО УЗЛА.....	111
Конкин В. Д., Галямов А. Л. ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫЕ ОБСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ СТРАТОИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТО-УГЛЕРОДИСТОГО СЕМЕЙСТВА В РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЯХ КАК ОСНОВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	113
Корчагина Д. А., Агibalов О. А., Чурилова Т. А. ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ПРОГНОЗНО- МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ РАБОТ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОДУКТИВНОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ И ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ УЗЛОВ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ.....	115
Крылов И. О. ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАГИОКЛАЗОВ В ПОРОДАХ ИНТРУЗИЙ НОРИЛЬСКОГО ТИПА.....	116
Кудрявцева Н. Г. К ВОПРОСУ ОБ ОТНЕСЕНИИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО АЛТАЯ К ТИПУ «КУРОКО».....	118
Кузнецов В. В., Серавина Т. В. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОИСКАМ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	120
Кузнецова С. В. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СУЛЬФИДНОГО ХОЛМА И БИОМОРФНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В РУДАХ ЗАПАДНО-ЗАХАРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ).....	122
Кузнецова Т. П., Зайцева М. Н. ТИПОМОРФНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МИНЕРАЛЬНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА.....	124
Лаломов А. В., Рахимов И. Р., Григорьева А. В. РОССЫПНАЯ ХРОМИТОНОСНОСТЬ ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ВОЛГО-УРАЛЬСКИЙ РЕГИОН).....	125
Ламбева Л. Е., Дорожко А. Л., Бушарина С. В., Тихонов Е. П. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР ПО ОБЪЕКТАМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫМ ПО ЛИЦЕНЗИЯМ ПО «ЗАЯВИТЕЛЬНОМУ ПРИНЦИПУ».....	127
Липашова А. Н., Антонова Т. А., Помазанский Б. С. АЛМАЗЫ С МЕХАНИЧЕСКИМ ИЗНОСОМ ИЗ РОССЫПИ БИЛЛЯХ.....	129
Лихоман О. А. ШЛИХОВОЕ ОПРОБОВАНИЕ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОИСКОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РОССЫПНЫХ И КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	131
Лобанов К. В., Горностаева Т. А., Прокофьев В. Ю., Чичеров М. В. КОЛЬСКАЯ СВЕРХГЛУБОКАЯ СКВАЖИНА – ВЫДАЮЩЕЕСЯ ДОСТИЖЕНИЕ СОВЕТСКОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ.....	133
Лоренц Д. А. РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ТИПОВ И ПРИМЕРЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЧУКОТСКОГО АО.....	135

Лось В. Л. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: ПОДХОДЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ.....	137
Меркулов В. В., Заикина А. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВО ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛАХ РАССЕЯНИЯ.....	138
Миляев С. А., Самосоров Г. Г., Яблокова С. В., Шатилова Л. В., Позднякова Н. Н. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА КАК ПРЯМЫЕ ПРИЗНАКИ РУДНО-ФОРМАЦИОННОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	140
Миляев С. А., Чекваидзе В. Б., Кряжев С. Г. ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ АММОНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	142
Митюхин С. И., Богуш И. Н. ПОЛИГЕНЕЗ АССОЦИАЦИИ АЛМАЗОВ ЛЕНО-АНАБАРСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ, ПОЗИЦИЯ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	144
Молчанов А. В., Терехов А. В. АЛДАНО-ВИЛЮЙСКАЯ ЗОЛОТОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, МАГМАТИЗМ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ.....	146
Молчанов В. П. СТРАТЕГИЧЕСКИЕ МЕТАЛЛЫ ЗОЛОТО-ИЛЬМЕНитОВЫХ РОССЫПЕЙ ИНТРУЗИЙ УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ.....	148
Морозова Т. П. ОТЛИЧИЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАНИТОИДОВ МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ И РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЙ ФОРМАЦИЙ.....	150
Мурзин О. В. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВОЗОБНОВЛЕНИЮ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ РАБОТ В РУДНОМ АЛТАЕ.....	152
Мурзин О. В., Китаев А. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ В РУДНОМ АЛТАЕ.....	153
Мясников Ф. В. ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ (КУСТОВ ТРУБОК) В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МАЛО-БОТУОБИНСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА.....	155
Нематуллаев С. Ю., Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б., Жуманиезов И. И. МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПИСТАЛИ (СЕВЕРНЫЙ НУРАТАУ).....	158
Николаев Ю. Н., Калько И. А., Аплеталин А. В., Джеджея Г. Т. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ БОЛЬШЕОБЪЕМНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ.....	159
Овсов Р. Н. СТРУКТУРНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ НАТАЛКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	161

Пактовский Ю. Г., Осовецкий Б. М., Попов А. Г., Чуйко В. А. ПРОБЛЕМЫ РОССЫПНОЙ АЛМАЗОНОСТИ УРАЛА.....	163
Пенделяк Р. Н. МНОГОФАЗНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ТРУБКИ ИМ. В. ГРИБА И ЕЕ ВЫРАЖЕННОСТЬ В ПАЛЕОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВАХ ПОРОД И СИТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ АЛМАЗОВ.....	165
Петухов А. А. МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И СТАДИЙНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ВЕРХНЕ-ХАТЫННАХСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ.....	166
Печенкин И. Г. РОЛЬ ОБОГАТИТЕЛЕЙ ВИМСА В СОЗДАНИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АЛМАЗОВ.....	167
Пилицын А. Г., Волков А. В. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ЗОЛОТОНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ И ПОИСКОВЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ.....	169
Пихутин Е. А. НОВЫЕ ПРИЗНАКИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТЫВЕ.....	171
Подвысоцкий В. Т., Иванух В. М., Остафийчук Н. Н. ОСОБЕННОСТИ РОССЫПНЫХ И КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АЛМАЗОВ БРАЗИЛИИ.....	172
Позднякова Н. Н., Яблокова С. В. ТИПОМОРФИЗМ ЗОЛОТА АЯХИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ.....	174
Попов А. Г. АЛМАЗОНОСТЬ УРАЛА – ХХІ ВЕК.....	175
Попов И. В. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ЗОЛОТО, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО МЕХАНИЗМУ «ЗАЯВИТЕЛЬНОГО ПРИНЦИПА».....	177
Попелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г. МАТЕРИАЛЫ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ИССЛЕДОВАНИИ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАГЕНИИ БОЛЬШОГО АЛТАЯ.....	178
Приименко В. В., Глухов А. Н. КВАДРАТНЫЕ СЕТИ ЛИТОХИМИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ КАК ОПТИМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И РАННИХ СТАДИЯХ ПОИСКОВЫХ РАБОТ.....	180
Проскурнин В. Ф., Петров О. В., Гавриш А. В., Петрушков Б. С. АРХИПЕЛАГ СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ – МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЙ ФОРПОСТ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ.....	183
Проценко Е. В., Толстов А. В. НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСТИ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.....	186
Ратьков С. С., Забелин А. В. ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ СХЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА.....	188

Рудашевский Н. С., Рудашевский В. Н. ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ И ГИДРОСЕПАРАЦИЯ – ОПТИМАЛЬНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ДЛЯ ОТКРЫТИЯ НОВЫХ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В КОРЕННЫХ ПОРОДАХ.....	189
Саблуков С. М., Саблукова Л. И. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВОГО И БАЗАЛЬТОВОГО МАГМАТИЗМА НАКЫНСКОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ) И ИХ ПОИСКОВАЯ ЗНАЧИМОСТЬ.....	192
Саблукова Л. И., Саблуков С. М., Стегницкий Ю. Б. ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ.....	194
Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Конкина А. А. ЗОЛОТО- И СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	196
Серов И. В., Кошкарев Д. А., Стегницкий Ю. Б. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР С ЦЕЛЬЮ ВОСПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АЛМАЗОВ В СРЕДНЕСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ.....	197
Сильянов С. А., Сазонов А. М. МИНЕРАЛОГ-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ Au-Sb МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛИМПИАДА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ).....	200
Симакин А. Г., Шапошникова О. Ю., Салова Т. П., Некрасов А. Н., Покровский Г., Борисова А. Ю. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭПГ КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФЛЮИДА СИСТЕМЫ С-О-Н И ОЛИВИНСОДЕРЖАЩЕГО КУМУЛУСА МАГМАТИЧЕСКИХ ИНТРУЗИЙ.....	202
Скопенко Н. Ф., Красоткин С. И., Зуйкова Ю. Л., Алексеев С. Г., Иванов А. И. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА.....	204
Скопенко Н. Ф., Красоткин С. И., Зуйкова Ю. Л., Алексеев С. Г., Иванов А. И. ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	205
Специус З. В., Бардухинова А. В. ДАННЫЕ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МИНЕРАЛОВ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ КАК ПОКАЗАТЕЛИ ГЕТЕРОГЕННОСТИ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ.....	205
Спирина А. В., Викентьев И. В. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЧЕДАННЫХ РУД НОВО-УЧАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ).....	207
Старостин И. А., Гирфанов М. М., Андреев А. В., Авилова О. В. ОСОБЕННОСТИ РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ И МОРФОЛОГИИ РУДНЫХ ТЕЛ ЗОЛОТО-МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (РЕСПУБЛИКА ТЫВА).....	210
Столяренко В. В., Минаков А. В., Алферова В. А., Рябошапка А. Г., Минаева С. В. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ, СЛОЖЕННОГО ТЕРРИГЕННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕ-ЯКОКУТСКОЙ ГРАБЕН-ВПАДИНЫ).....	212

Столяренко В. В., Минаков А. В., Двуреченская С. С., Шатилова Л. В., Алферова В. А., Рябошапко А. Г., Минаева С. В. ОСОБЕННОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ, РАЗВИТОГО В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕ-ЯКОКУТСКОЙ ГРАБЕН-ВПАДИНЫ.....	214
Суслонов Ю. В., Ильин А. А. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИСИХОГИ КАК ИСТОЧНИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ В ПО MICROMINE.....	217
Таймасов Д. В. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛМЫЖСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЧЕТЫРЕХ РАЗВЕДОЧНЫХ УЧАСТКОВ НА ОСНОВАНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ.....	218
Тарасов А. С., Голенев В. Б., Александрова А. Е., Куликов Д. А., Фролова А. С., Карпухина М. В. ИТОГИ АПРОБАЦИИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ (ЗОЛОТО, СЕРЕБРО, МПГ) И ЦВЕТНЫХ (МЕДЬ, НИКЕЛЬ, СВИНЕЦ, ЦИНК) МЕТАЛЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ЗАВЕРШЕННЫХ В 2020 ГОДУ.....	220
Томшин М. Д., Гоголева С. С. ПОИСК КИМБЕРЛИТОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОХИМИИ ДОЛЕРИТОВ.....	221
Третьяченко В. В. СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ОБЛАСТИ.....	223
Трусов А. А., Бабаянц П. С., Контарович О. Р. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ И СВЕРХЛЕГКОЙ АВИАЦИИ ПРИ ПОИСКАХ И ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	225
Фирсов А. П., Эпов М. И., Савлук А. В., Василевский А. Н., Шуляк Г. Б. АЭРОМАГНИТНАЯ ТОМОГРАФИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА, ГРАНИТНОЕ (Au), ВОСТОЧНЫЙ САЯН.....	227
Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЗОТА В АЛМАЗАХ ИЗ ТРУБОК АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕГО ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ.....	229
Хороших М. С., Антонова Т. А., Константинов К. М., Шарыгин И. С., Кузина Д. М. ФЕРРИМАГНИТНЫЕ МИНЕРАЛЫ КИМБЕРЛИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕРХНЕМУНСКОЕ (ЯКУТСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ).....	231
Хромов В. М. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТОДАМИ МАШИНОГО ОБУЧЕНИЯ И НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОДБОРА АНАЛОГОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	232
Черенков В. Г., Корнилова В. П., Голубева Ю. Ю. ПРОБЛЕМА СООТНОШЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВОГО И БАЗИТОВОГО МАГМАТИЗМА В НАКЫНСКОМ КИМБЕРЛИТОВОМ ПОЛЕ.....	235
Черных А. И., Окулов А. В., Арсентьева И. В., Лейбгам П. Н. ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЕ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОРУДЕНЕНИЕ КИЗАС-АНЗАССКОГО РУДНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ).....	238
Шахурдина Н. К. МЕТОДИКА ОКОНТУРИВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (МИРНИНСКОЕ ПОЛЕ).....	240

Шемякина Е. М. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУР, БЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАТИНОИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ, НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО И СТРУКТУРНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ.....	242
Rudashevsky N. S., Rudashevsky V. N., Oberthür T., Veksler I. V. PRECIOUS METAL MINERALS IN THE LG-6, MG-1/MG-2, UG-2 CHROMITITES AND THE MERENSKY REEF OF THE BUSHVELD COMPLEX, SOUTH AFRICA: FRACTIONATION OF ORES AND MINERAL PROCESSING.....	245
Кряжев С. Г., Брысин М. П., Соловьев С. Г. РУДОПРОЯВЛЕНИЕ КУЛЬБИЧ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ, РОССИЯ): НОВАЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО КРУПНАЯ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВАЯ СИСТЕМА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ.....	247
Пачерский Н. В., Кряжев С. Г., Наумов Е. А., Двуреченская С. С. ЗОЛОТО-РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЙ ТИП ОРУДЕНЕНИЯ ВЕТРЕНСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	250



АЭРОГЕОФИЗИКА
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

50 ЛЕТ ОПЫТА
ВСЕГДА НА ВЫСОТЕ

АО ГНПП “АЭРОГЕОФИЗИКА” –

ведущая Российская компания, выполняющая комплексные аэрогеофизические работы широкого назначения.

Аэрогеофизические технологии позволяют оптимизировать геологоразведочные работы за счет сокращения времени на опоскование территории и более точного позиционирования горно-буровых работ.



МЫ ОСУЩЕСТВЛЯЕМ

- > высокоточные комплексные аэрогеофизические съемки для решения поисковых задач и инженерных изысканий
- > целевую интерпретацию материалов аэрогеофизических работ и априорных геолого-геофизических данных

ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ АЭРОГЕОФИЗИКИ

- > аэроэлектроразведка различных модификаций
- > магнитометрия-градиентометрия
- > гамма-спектрометрия
- > лазерное сканирование и фотосъемка, гравиметрия

при этом используется широкий спектр авианосителей, в том числе легкие пилотируемые и беспилотные летательные аппараты.

АО ГНПП “Аэрогеофизика”



125373, Москва, Походный пр-д, 19



+7 (495) 738-7777

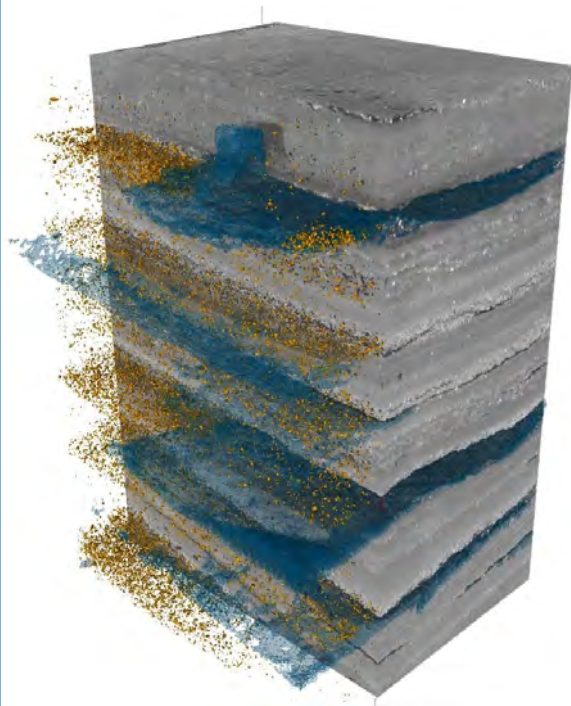


www.aerogeo.ru



agp@aerogeo.ru



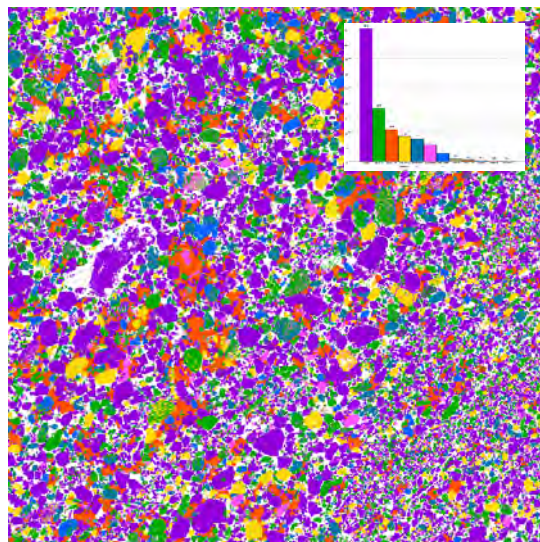


Рентгеновский микротомограф **CoreTOM**

- ✓ Обзор полноразмерного керна за 10 минут с размером вокселя 80 мкм
- ✓ Съёмка с различными увеличениями
- ✓ Разрешение 3 мкм на стандартном образце JIMA

Автоматизированный анализатор минерального состава **TIMA**

- ✓ Круглосуточный режим работы
- ✓ Количественный минералогический состав
- ✓ Анализ ассоциаций, раскрытий, потерь



ООО «ТЕСКАН» - авторизованный и эксклюзивный торгово-технический представитель фирмы TESCOAN (Чешская Республика) на территории России и стран СНГ, осуществляющий поставку, сервисное обслуживание сканирующих электронных микроскопов и рентгеновских компьютерных микротомографов, а также обучение операторов указанного оборудования.

Спонсоры и партнеры



ГЕОЭЛЕМЕНТ



ГЕОВЕБИНАРЫ



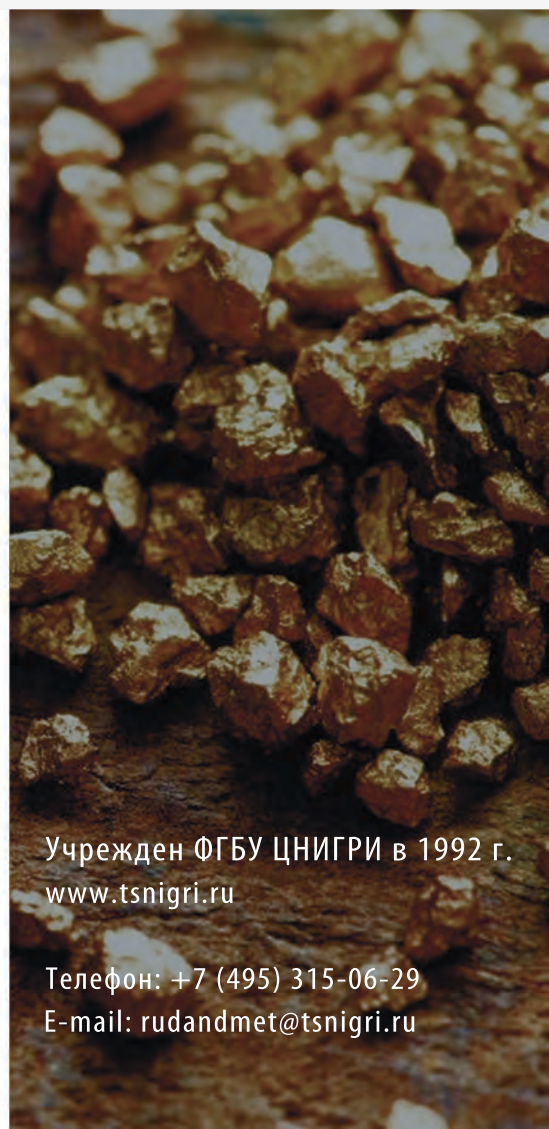
и РУДЫ МЕТАЛЛЫ

научно-технический журнал



ТЕМЫ ПУБЛИКАЦИЙ

- ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В СФЕРЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ
- МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РОССИИ
- КОНЪЮНКТУРА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
- ПРОГНОЗ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГРП
- ПЕРЕРАБОТКА И АНАЛИЗ РУД



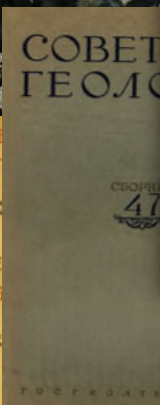
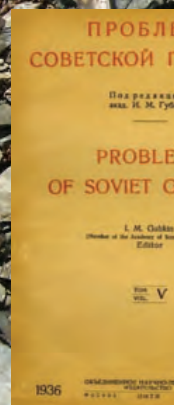
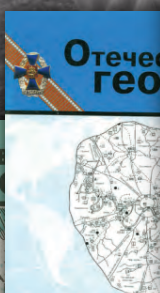
Учрежден ФГБУ ЦНИГРИ в 1992 г.
www.tsnigri.ru

Телефон: +7 (495) 315-06-29
E-mail: rudandmet@tsnigri.ru



ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

Выпускается
с 1933 года



ISBN 978-5-85657-034-1

УДК 553.4/.8.043

Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов X Международной научно-практической конференции. (13–16 апреля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). М. : ЦНИГРИ. 2021. 262 с.

В сборник включены 127 докладов, представленных на X Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». В тезисах докладов представлены материалы по следующим темам: минерагения АБЦМ; приоритетные направления прогнозных и поисковых работ на АБЦМ; перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий; опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ объектов распределенного и нераспределенного фондов недр; научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений АБЦМ; использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ; разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРП на АБЦМ.

Научно-техническое издание

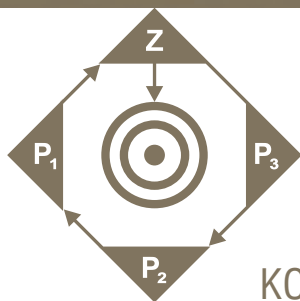
Сдано в набор 25.03.2018. Подписано в печать 08.04.2021

Печать цифровая. Тираж 150 экз.

Полиграфическая база ФГБУ «ЦНИГРИ»

117545, Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1

© ФГБУ «ЦНИГРИ», 2021



© ФГБУ «ЦНИГРИ», 2021

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- ◎ Минерогения алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ)
- ◎ Приоритетные направления прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на АБЦМ
- ◎ Перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий
- ◎ Опыт проведения и результаты геолого-разведочных работ на АБЦМ
- ◎ Научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков, оценки и разведки
- ◎ Использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ
- ◎ Разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРП