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

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов»

Москва
ФГБУ «ЦНИГРИ»
10–12 апреля 2024

Москва
ЦНИГРИ
2024

УДК 553.41/.82.04 (043.2)
Р83

Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». (10–12 апреля 2024 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2024. – 186 с.

ISBN 978-5-85657-048-8

Научно-техническое издание

Тезисы докладов публикуются в авторской редакции.

Сдано в набор 15.03.2024. Подписано в печать 04.04.2024
Печать цифровая. Тираж 50 экз.

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

Аббасов Н. А., Рустамова Р. Е., Гулиев И. Ф.
Бакинский Государственный Университет, г. Баку, Азербайджанская Республика

ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, МАГМАТИЗМ И ОРУДЕНЕНИЕ ЗОЛОТОНОСНОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИСХАНО-ЗАНГЕЗУРСКОЙ ЗОНЫ МАЛОГО КАВКАЗА

Рассматриваются особенности образования и общие закономерности размещения месторождений во времени и в пространстве в пределах особого типа структур, возникающих на коллизионных границах литосферных плит. Установлено, что рудно-магматическая и металлогеническая эволюция имеет более локальный характер и тесно связана с развитием конкретной активизации складчатой системы, которая проявляется в пределах консолидированной области коллизионный зоны. С такой сопряженной активизацией в Мисхано-Зангезуре связано образование вулканогенных зон (выполненных осадочно-вулканогенными образованиями), характеризующихся развитием месторождений поздних стадий формирования коллизионных областей.

Ключевые слова: коллизионные границы литосферных плит, Мисхано-Зангезур, Далидаг, Ордубад, закономерности размещения месторождений, рудных районов, Лок-Агдамская зона.

Руды порфировых месторождений составляют существенную долю в общем балансе запасов и добычи медных руд, чем в значительной мере определяется и неослабевающий интерес к изучению этих месторождений [7]. Изучение распространения перспективных промышленных медно-порфировых месторождений особенно важно для Малого Кавказа в связи с необходимостью расширения сырьевой базы горнодобывающих предприятий. Проведенные исследования свидетельствуют о широком развитии различных типов медно-порфировых руд и о возможности выявления новых объектов. Весь опыт изучения интрузивов показывает, что с самых ранних этапов развития Земли в момент формирования плутонических комплексов появлялись дайки. Четко прослеживается, что в продолжительных активных (неспокойных) тектонических обстановках при формировании магмы могут появляться следующие дайковые тела: апофизы собственно интрузивных фаз и внутрикамерных инъекций; дифференциаты собственно интрузивных фаз и внутрикамерных инъекций; инъекции плутонических тел более глубоких структурных ярусов.

В месторождениях этого типа оруденение приурочено к поздним штокообразным телам или полям развития даек гранодиорит-порфиров, монцонит-порфиров и локализуется в зонах их эндо- и экзоконтактов [4]. В одних случаях тела порфировых интрузий и даек рассматриваются как поздние дифференциаты тех же плутонов, в других – они значительно оторваны во времени от вмещающих их интрузивных пород и могут принадлежать к значительно более поздним образованиям интрузивных комплексов.

Наиболее поздними в пределах рассматриваемой части Мегри-Ордубадского массива являются дайки гранодиорит-порфиров двух генераций эволюции магматического процесса (к зонам эндоконтакта с вмещающими их гранитоидами переходящие в дациты) и единичные дайки полифировых гранит-порфиров с переходами до риолитов в пределах Пьязбашинского месторождения [6]. На Каджаранском месторождении на обе генерации даек невадитовых гранодиорит-порфиров в центральной части месторождения накладывается вкрапленность пирита. Пирит появляется и в кварц-молибденитовых жилах в южной части месторождения, где он развивается совместно с галенитом и сфалеритом. В.Г. Рамазанов (1984, 1993) в пределах Мунундаринского участка выделяет пять стадий минерализации: кварцевую, кварц-пиритовую, пирит-халькопиритовую, золото-полиметаллическую, золото-медную и кварц-карбонатную. Кроме того, здесь небольшое развитие имеют кварц-молибденитовые прожилки, которые, по нашему мнению, относятся к раннему этапу гидротермального рудообразования. В отношении высоких содержаний золота наибольший интерес представляют руды золото-полиметаллической и золото-медной стадий, несколько меньше концентрации золота в рудах пирит-халькопиритовой стадии, в остальных рудах содержание золота сравнительно низкое. По содержанию золота разница между продуктами различных стадий достаточно небольшая.

Так, если концентрация золота от кварц-пиритовой стадии к полиметаллической возрастает в 20 раз, то концентрация серебра возрастает всего лишь в 10 раз (Н. А. Аббасов, 2003). Надо отметить, что кварц-молибденитовые жилы и прожилки Гейдагского месторождения относятся к более раннему этапу минерализации по сравнению с золото-полиметаллическим оруденением. По В. Г. Рамазанову, медно-молибденовая и золото-полиметаллическая формации вместе с полиметаллической образуют генетический ряд – рудный комплекс, который парагенетически связан с эоцен-миоценовой интрузивной зоной. При этом можно считать, что медно-молибденовая и золото-сульфидная минерализации формируются после внедрения даек аплитов, спессартитов и диорит-порфиритов, которые генетически связаны с очагом и обусловлены возникновением качественно отличных, обособленных очагов, отличающихся соотношением полезных компонентов Cu, Mo, Au, Ag, Zn, Pb. В минеральном составе руд кроме главных рудообразующих минералов – пирита, халькопирита, сфалерита и галенита принимают участие самородное золото, блеклые руды, марказит, висмутин, из жильных минералов – кварц, кальцит. Вдоль жил породы интенсивно серицитизированы и пиритизированы, местами каолинизированы, карбонатизированы, окварцованы. Руды в целом являются результатом полистадийного процесса минерализации.

В этой части месторождения в дайке гранодиорит-порфиров нами обнаружены единичные обломки кварц-молибденитовых жил, в которых по трещинкам развивается вкрапленность пирита, и более широкое развитие пирита в самой дайке. По сравнению с Парагачайским, Пьязбашинским, Капуджихским, Гейдагским и Гек-Гельским месторождениями на Каджаранском – пирит не имеет столь широкого развития и отчетливо наблюдается увеличение его количества к нижним горизонтам месторождения. Для Парагачайского, Пьязбашинского, Капуджихского, Гейдагского и Гек-Гельского месторождений характерно наложение халькопирит-пиритовой вкрапленности на дайки гранодиорит-порфиров до гранит-порфиров, а также развитие вкрапленности как в дайках, так и во вмещающих их породах. Для Парагачайского месторождения более позднее появление кварц-пиритовых жил и прожилков по сравнению с кварц-молибденитовыми жилами было установлено В. Г. Рамазановым и М. А. Агасиевым, для Пьязбашинского – В. М. Бабазаде, а для Гейдагского месторождения подобные соотношения описывал Н. А. Аббасов еще в 1999 г. Образование кварц-халькопирит-пиритовых и халькопирит-пиритовых жил и прожилков нами связывается (1989 г.) с кислым вулканизмом завершающего этапа развития региона. Дайки гранодиорит-порфиров, гранит-порфиров и все рудные прожилки, судя по веерообразному размещению даек и штокверковому характеру халькопирит-пиритовых, халькопирит-пирит-кварцевых жил и прожилков, формировались в участках локального растяжения отдельных блоков региона (Парагачай, Пьязбаши, Гек-Гель, Каджаран и др.). Определяющую роль в размещении продуктов вулканизма и связанного с ним оруденения играл Ордубад-Далидаг-Кедабекский глубоко заложенный разлом общекавказского простирания и оперяющие его системы трещин, такие как Ордубадская, Парагачайская и Дебаклинская. В этих жилах и прожилках халькопирит формируется после пирита, выполняя мельчайшие прожилки. Кварц-халькопирит-пиритовые жилы и прожилки (В. Г. Рамазанов и др., 1986) образовались в близповерхностных условиях. Все свойства пирита указывают на их формирование в резко восстановительных условиях, а наблюдаемые в нем включения галита (С. В. Ефремова и др., 1980 г.) дают основания предполагать сернисто-щелочно-хлоридный состав рудообразующих растворов. Температура кристаллизации их, определенная по температуре гомогенизации газово-жидких включений в кварце, соответствует 260–300 °С до 340 °С (Н. А. Аббасов, 2003). Нередко этот процесс протекает настолько глубоко, что вдоль контакта дайки образуется темная полоса с реликтами рудных минералов. В таких случаях в зальбандах даек наблюдаются мельчайшая вкрапленность и тонкие прожилки сульфидов, расположенные преимущественно параллельно контакту, также значительное развитие имеют прожилки, проявленные близперпендикулярно контакту. Наличие последних в местах пересечения рудных тел и даек, на первый взгляд, может свидетельствовать о дорудности даек, однако этому противоречит отсутствие связи их с массивной рудой. Образование отмеченных прожилков является частным случаем ассимиляции рудного вещества дайками, внедрившимися в оруденелую толщу пород, и происходит путем переотложения сульфидов еще не полностью остывшей, но уже движущейся

магмой. При этом бахромчатое строение прожилков, обусловленное избирательным замещением основной массы породы сульфидным веществом без заметного воздействия на порфировые выделения плагиоклазов, дает основание считать, что привнос рудного вещества в дайку начался тогда, когда она представляла собой еще «конгломератообразную» массу с многочисленными кристаллами плагиоклазов, и завершился позже затвердевания дайки, когда уже началось образование контракционных трещинок.

Далидагский рудный район – сравнительно мало изученный район в Мисхано-Зангезурской зоне. Здесь медно-молибденовое оруденение пространственно и генетически связано с одноименным гранитоидным массивом, принадлежащим, как и Мегри-Ордубадский плутон, к породам известково-щелочной серии с повышенным содержанием щелочей, особенно калия. Далидагский массив, пространственно контролируясь Ордубад-Далидаг-Кедабекским линеаментом, приурочен к узлу пересечения его с Далидаг-Мехманинским близширотным поднятием. Медно-молибденовое оруденение сосредоточено в северо-западной и реже юго-восточной эндоконтактовой зонах Далидагского гранитоидного массива. В локализации руд ведущая роль принадлежит крутопадающим системам трещин северо-восточного направления. Оруденение морфологически представлено кварцево-рудными жилами, пластовыми залежами, линзами, а также зонами гидротермально-измененных пород. В отношении меди и молибдена наибольший интерес представляют кварцево-рудные жилы, имеющие протяженность от 20–30 до 300 м, мощностью 0,1–0,7 м. Околорудные изменения выражены в окварцевании и серицитизации пород. Хотя промышленные скопления порфировых руд здесь не известны, но имеются большие перспективы их выявления на нижних горизонтах Теймуручандагского месторождения. Кроме того, Ш. Д. Мусаевым (1984) указывается на наличие медно-порфирового типа оруденения недалеко от Далидагского гранитоидного массива [5], в пределах Зейликского гранитоидного интрузива, рассматриваемого нами как сателлит первой фазы внедрения Далидагского интрузивного массива. Анализ этого материала позволяет нам прийти к выводам о том, что медно-порфировые коллизионные месторождения Мисхано-Зангезурской зоны связаны с калиевыми гранитоидами, реже с субщелочными, характеризующимися сложным составом. Для них специфичен длительный эволюционный гомодромный ряд последовательно возникших интрузивных пород от основных к кислым, формирующих крупные массивы (Мегри-Ордубадский, Далидагский). Месторождения указанных промышленно-генетических типов характеризуются невысоким содержаниями меди и повышенным молибдена [1, 6].

Параметром, обнаруживающим наиболее четко направленное изменение во времени, является содержание молибдена, заметно возрастающее от относительно древних к более молодым, как на медно-порфировых (Гек-Гель, Гейдаг, Диахчай, Яшыллыг, Мисдаг и др.), так и молибден-порфировых и чисто молибденовых объектах (Каджаран, Агарак, Парагачай). Медно-порфировые, золотосодержащие медно- и молибден-порфировые месторождения Мисхано-Зангезурской зоны отвечают монцонитовой модели. Наряду с чертами различия медно-порфировые, золотосодержающие медно- и молибден-порфировые месторождения характеризуются рядом общих особенностей. Эти особенности следующие:

• положение медно-порфировых, золотосодержающих медно- и молибден-порфировых месторождений контролируется Ордубад-Далидаг-Кедабекским глубинным разломом и долгоживущими сквозными меридиональными зонами, отражающими древний структурный план фундамента. Узлы пересечения разноориентированных разломов (сочлененных кольцевыми структурами), в свою очередь, явились благоприятными для размещения интрузий габбро-диорит-плагиогранитовой и габбро-диорит-гранодиоритовой формаций, а также вулканогенных и субвулканогенных образований контрастной базальт-липаритовой и базальт-андезит-дацитовой формаций, образующих вулкано-плутонические ассоциации;

• рудные тела локализуются в апикальных частях порфировых интрузий. Эти участки, отличающиеся обильной трещиноватостью, интенсивной гидротермально-метасоматической переработкой пород по обе стороны от контакта, явились сосредоточием эндогенной промышленной минерализации меди, молибдена, золота и других полезных компонентов. В пространственном распределении оруденения по отношению к рудоконтролирующим разломным структурам проявляется зональность различных типов руд, парагенетически увязывающаяся

с определенными зонами метасоматической колонки. От центра к периферии штокверковых рудных тел молибденовая минерализация сменяется медно-молибденовой и далее – медной, а затем золоторудной [3]. Аналогичная картина отмечается и по вертикали, снизу вверх по падению рудного тела. Главные рудные минералы – пирит, халькопирит и молибденит, менее развиты борнит, блеклые руды, магнетит, гематит, вольфрамит, галенит и сфалерит. Жильные минералы – кварц, калиевый полевой шпат, серицит, мусковит, карбонаты и т. д. Оруденение вкрапленное, прожилково-вкрапленное, на относительно глубоких горизонтах существенно прожилковое [3].

Медно-порфировые, золотосодержающие, медно- и молибден-порфировые месторождения пространственно сопряжены с промышленной минерализацией других генетических типов, особенно колчеданной, менее – полиметаллической и кварц-сульфидной. На медно- и молибден-порфировые руды нередко накладывается более поздняя сульфидная минерализация; последняя, концентрируясь на некотором удалении, образует и собственные месторождения иных морфологических типов (Мунундара-Ордубадский, Султангейдар-Далидагский рудные районы). Таким образом, отмечается и металлогеническая зональность в размещении рудных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аббасов Н. А. Особенности образования и закономерности размещения медно-молибден-порфировых месторождения Ордубадского рудного района: автореф. дисс. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук. – Баку, 2003.
2. Баба-Заде В. М., Рамазанов В. Г., Масимов А. А., Аббасов Н. А. и др. Минералого-геохимические факторы золотоносности руд медно-порфировых месторождений Ордубадского рудного района / В сб. БГУ. Сер. естественных наук. – Баку, 1999. – № 3.
3. Баба-Заде В. М., Рамазанов В. Г., Масимов А. А., Аббасов Н. А. и др. Условия формирования и закономерности размещения формации медно-порфировых руд Малого Кавказа / В сб. «Магматические и рудные формации Азербайджана». – Баку : АГУ, 1986.
4. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Попов В. С. Медно-порфировые месторождения мира. – М. : Недра, 1986. – 236 с.
5. Мусаев Ш. Д. Геологические условия формирования и закономерности размещения медно-молибденого оруденения Далидагского рудного района: автореф. дисс. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук. – Баку, 1983. – С. 25.
6. Пашков Ю. Н., Ефремова С. В. и др. О месте медного и молибденового оруденения в интрузивном процессе (на примере Каджаранского Cu-Mo месторождения) / В кн. «Магматизм и полезные ископаемые». – М. : Наука, 1975. – С. 134–148.
7. Попов В. С. Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. – М. : Наука, 1977. – 203 с.

Авилова О. В. (avilova@tsnigri.ru)

ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ КАК КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗА МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧУКОТКИ

Выявлены особенности рудно-метасоматической зональности и условий локализации руд медно-порфировых проявлений Центральной Чукотки на территории Удско-Мургальского и Охотско-Чукотского вулкано-плутонических поясов (ВПП) – Моренного и Ольховского рудных узлов, рекомендованных для использования при прогнозировании и предварительной оценки перспективных площадей в пределах рассмотренных ВПП и определения направлений геолого-поисковых работ.

Ключевые слова: медно-порфировое оруденение, Центральная Чукотка, Удско-Мургальский ВПП, Охотско-Чукотский ВПП, рудно-метасоматическая зональность, условия локализации руд, поисковые критерии.

Необходимой частью методики крупномасштабного и локального прогноза месторождений медно-порфирового геолого-промышленного типа, разработанной в ЦНИГРИ под руководством А. И. Кривцова и И. Ф. Мигачева [1], является изучение вещественного состава и зональности руд и метасоматитов.

Особенности морфологии и состава рудно-метасоматического ореола медно-порфировых рудопроявлений Центральной Чукотки, известных в пределах Моренного и Ольховского рудных узлов (РУ), обусловлены особенностями геологического строения, состава разновозрастных полифазных интрузивных массивов и морфологии рудоносных порфировых фаз, завершающих их становление.

На проявлениях Базовое и Моренное Моренного РУ в пределах Удско-Мургальского островодужного вулкано-плутонического пояса (J_2–K_1) крутопадающие линейные штокверковые минерализованные зоны контролируются системами сближенных даек тоналит-порфиров или кварцевых диорит-порфиритов, завершающих становление низкощелочной натриевой габбро-диорит-кварцеводиорит-тоналитовой формации (мургальский комплекс K_1) и прорывающих среднезернистые кварцевые диориты и тоналиты главной фазы этого комплекса [2].

Рудные тела с промышленными и близкими к ним содержаниями меди локализованы в пределах порфировых даек северо-западного простирания и в фанеритовых гранитоидах их экзоконтактов. Частично рудные тела приурочены к эруптивным брекчиям в апикальных частях порфировых даек, что является признаком верхних уровней медно-порфировых систем [3].

На проявлении Ольховка Ольховского РУ в пределах Охотско-Чукотского окраинно-континентального ВПП (K_{1-2}) рудоносный интрузив монцогранодиорит-порфиров связан со становлением габбро-диорит-монцодиорит-кварцевомонцодиорит-монцогранодиоритовой формации (кавральянский комплекс K_2) и характеризуется увеличением щелочности и соотношения K_2O/Na_2O от ранних фаз (нормальнощелочные) к поздним (умереннощелочные). Рудоносный порфировый интрузив вытянут в северо-восточном направлении и имеет в разрезе грибообразную форму. Пологие штокверковые минерализованные зоны локализованы над рудоносным интрузивом в понижениях его кровли, повторяя своими очертаниями рельеф его поверхности.

Рудно-метасоматическая зональность сформирована в результате наложения (телескопирования) и частичного или полного замещения продуктов ранних изменений более поздними.

На проявлениях Моренного РУ проявлена в основном латеральная линейно-концентрическая зональность. От внутренних частей, фиксируемых рудоносными интрузивами, к периферии последовательно сменяются зоны: кремнещелочная (кварц-калишпат-биотитовая), филлизитовая (карбонат-кварц-серицитовая), внутренняя пропилитовая (кварц-альбит-серицит-хлоритовая) и внешняя пропилитовая (кварц-альбит-эпидот-хлоритовая). В том же направлении сменяются типы руд: халькопиритовый (с борнитом, теннантитом, люцонитом, халькозином, дигенитом) – (молибденит)-пирит-халькопиритовый – халькопирит-пиритовый – пиритовый – магнетитовый – полиметаллический [2].

Рудные тела приурочены к области сопряжения филлизитовой и внутренней пропилитовой зон. В них развита (молибденит)-пирит-халькопиритовая минерализация с локально проявленными борнит-халькопиритовой, энаргит-блеклорудной и полиметаллической.

На рудопроявлении Ольховка одноименного РУ проявлена сложная рудно-метасоматическая зональность, во многом обусловленная зависимостью состава изменений от исходного состава вмещающих. В целом, она выражена сменой от центра к периферии и снизу вверх относительно рудоносного интрузива следующих метасоматических зон: филлизитовой ((карбонат-хлорит)-серицит-кварцевой с турмалином), внутренней пропилитовой (кальцит-серицит-биотит-эпидот-альбит-хлорит-кварцевой) и внешней пропилитовой (эпидот-альбит-кварц-хлорит-амфиболовой). В той же последовательности следует смена типов рудной минерализации: (молибденит-халькопирит)-пиритовая (в порфировом интрузиве); (молибденит-магнетит)-пирит-халькопиритовая продуктивная (надынтрузивная); внешняя (халькопирит)-магнетитовая

или магнетитовая. Рудные тела приурочены к области их сопряжения. В кварцевых диоритах такие изменения имеют кальцит-серицит-эпидот-альбит-хлорит-кварцевый состав, иногда с преобладанием серицита; для вулканитов характерен кварц-хлорит-альбит-серицит-биотитовый (существенно биотитовый) характер изменений.

Основными попутными полезными компонентами в рудах Моренного РУ является молибден, в рудах Ольховского РУ – золото и серебро.

Особенности состава и строения рудно-метасоматической зональности, условий локализации рудных тел, характерные для Моренного и Ольховского РУ, необходимо учитывать при поисках и прогнозировании медно-порфировых объектов в пределах Удско-Мургальского и Охотско-Чукотского ВПП Центральной Чукотки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В. Медно-порфировые месторождения. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
2. Авилова О. В., Андреев А. В., Мансуров Р. Х. Рудно-метасоматическая зональность как критерий прогноза медно-порфировых руд на примере проявлений Моренной площади, Чукотский автономный округ // Руды и металлы. – 2011. – № 3–4. – С. 6–7.
3. Андреев А. В., Авилова О. В., Васюков В. Е., Звездов В. С., Минина О. В., Столяренко В. В., Чернов Е. Е. Медно-порфировые проявления Юго-Западной Чукотки и перспективы обнаружения промышленных объектов // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 32–47.
4. Авилова О. В. Геолого-поисковые модели медно-порфирового оруденения Центральной Чукотки // Сб. тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2023. – С. 10–12.

Агибалов О. А., Саяпов М. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ «КОРЕННОЙ ИСТОЧНИК (КИ) – ЗОЛОТОНОСНАЯ КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ (ЗКВ) – РОССЫПЬ» НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ РИФТОГЕННЫХ ВПАДИН ВИТИМКАН-ЦИПИКАНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Рассмотрена связь коренных источников (КИ) с россыпями золота в пределах мезозойских рифтогенных впадин Витимкан-Ципиканского рудно-россыпного района (РРР) (на примере Горбылокской депрессии). Показано, что основными элементами системы КИ – россыпь являются участки с золото-кварц-сульфидным жильным и жильно-прожилковым оруденением, линейные и частично площадные ЗКВ (золотоносные коры выветривания), тесно связанные с долгоживущей Горбылокской тектонической зоной. Отмечена слабая изученность элементов системы (за исключением россыпей), в особенности линейных и переотложенных КВ (кор выветривания).

Ключевые слова: коренные источники, золотоносные коры выветривания, россыпи золота, промежуточные коллекторы.

Витимкан-Ципиканский РРР расположен на СВ Республики Бурятия (Эвенкийский административный район). В металлогеническом отношении он является частью Икат-Амалатской (U-Be-Mo-Au-рудно-россыпной) металлогенической зоны и включает в себя ряд рудно-россыпных узлов: Ципиканский (Au, Mo, U), Алакарский(Au, F, Mo), Талойский (Au, Mn), Троицкий (Au), Багдаринский (Au, Be, U), Горбылокский (Au), Витимканский (Au), Витимский (Au), Икатский (Au, W, Mn). Важной особенностью геологического строения рассматриваемой территории является наличие крупных рифтогенных впадин мезозойского возраста, приуроченных

к крупным тектоническим зонам длительного развития, имеющим рудоконтролирующее и россыпеобразующее значение.

Впадины имеют блоковое строение, границы их контролируются сложной системой разломов; последние дешифруются по прямым и косвенным признакам.

В качестве примера нами рассмотрена Горбылокская впадина, которая состоит из трех блоков. Мезозойские отложения представлены алевролитами, песчаниками, конгломератами и мергелями, на которых с размывом залегают раннечетвертичные галечники мощностью до 10–15 м древней гидросети, перекрытые толщей песчаных и песчано-гравийных отложений, приуроченных к дельтовым участкам правых притоков Горбылка Ципиканского. По преобладающей желтой окраске глины, цементирующей эти отложения, последние получили название «желтых разрезов». Типичный состав отложений «желтого разреза» представлен ярко-желтой вязкой глиной (до 50–70 %), песком (до 20–30 %) с включениями полуокатанной гальки (от 20–40 до 60 %); обломки легко разламываются (сапролиты). Интенсивность окраски изменяется от ярких «охристых» оттенков до светло-серых, белесых (за счет каолинизации), иногда коричневатых. Все это указывает на образование пролювиально-аллювиальных отложений за счет размыва глинистых КВ, а учитывая повсеместную «зараженность» «желтых разрезов» шлиховым золотом (содержания золота от знаков до 11,9 г/м^3) (Росгеолфонд. Геологический отчет № 493161, 2008. Л. 206-208), можно предполагать наличие золота и в КВ.

Большая часть запасов золотоносных россыпей правых притоков сосредоточена на участках их выхода в пределы впадины, причем основные запасы большинства россыпей лежат, как правило, на коренном фундаменте: мезозойском или протерозойском. Особенности геологического строения и характер распределения запасов россыпного золота вдоль долин правых притоков Горбылка Ципиканского (Якша, Безносьевский, Берея Широкая) указывают на следующие основные источники питания россыпей, которым отвечают участки их насыщения:

1. Зоны тонкопрожилкового окварцевания и кварцевые жилы в верховьях долин в пределах березитизированных и пиритизированных пород в обрамлении Горбылокской депрессии (рудопроявления Веерное, Безносьевское, Якша); авторские прогнозные ресурсы Верхне-Горбылокского участка P_3 – 23 т (Росгеолфонд. Геологический отчет № 7314, 1992. Л. 159-160), средние содержания золота по результатам бороздовых проб невысокие (десятые-сотые доли г/т), изученность также низкая, не все перспективные участки заверены горными работами. Также имеются признаки наличия близповерхностного молодого эпитермального золотого оруденения (Росгеолфонд. Геологический отчет № 438009, 1992. Л. 204-205, 1987).

2. Линейные КВ на периферии и в фундаменте Горбылокской впадины, установленные по данным бурения, развитые вдоль ослабленных зон тектонических нарушений, контактов интрузивных и осадочно-метаморфических пород с сульфидной минерализацией. Установленная мощность этих кор превышает в отдельных случаях 30 м, в пределах описываемой площади ни одна из скважин не пересекла полностью разрез КВ. На золото они не опробовались.

3. Промежуточные коллекторы – нижнемеловые красноцветные конгломераты имской свиты и КВ по ним (содержания до 1,5 г/м^3), (авторские прогнозные ресурсы P_2 – 90 т); нижнечетвертичный аллювий и средне-верхнечетвертичные пролювиально-аллювиальные отложения «желтые разрезы», являющиеся в т. ч. продуктами перемыва мезозойских, площадных линейно-трещинных и линейно-контактовых КВ.

Первый и второй типы источников питания россыпной золотоносности тесно связаны с долгоживущей Горбылокской тектонической зоной в южном борту одноименной впадины.

Таким образом, основными элементами системы КИ – КВ – россыпь являются: золото-кварц-сульфидное жильное и жильно-прожилковое оруденение – линейные и частично площадные ЗКВ – промежуточные коллекторы (меловые отложения, «желтые разрезы»). Следует подчеркнуть, что все перечисленные элементы системы характеризуются неравномерной, но в целом слабой изученностью, а линейные ЗКВ практически ранее не изучались вообще, что вызвано исторически обусловленной диспропорцией между рудной и россыпной золотоносностью и преобладанием последней и, следовательно, имеют хорошие перспективы в качестве объектов поисковых и поисково-ревизионных работ.

Алеко С. В. (aleko@tsnigri.ru), Кузнецов В. В., Петухов А. А.,
Серавина Т. В., Зайцева М. Н., Конкина А. А., Конкин В. Д.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ И ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

Полиметаллическое оруденение Енисейского кряжа фиксируется на различных уровнях и охватывает интервал мощностью около 3 км. Общая пространственно-латеральная зональность размещения полиметаллического оруденения выражена в смене существенно свинцового (колчедансодержащего цинково-свинцового) оруденения Горевского подтипа и свинцово-цинкового в карбонатных толщах Моранихинского типа с колчеданно-полиметаллическим оруденением в черносланцевых толщах. В едином латеральном ряду синхронных по времени рудных формаций, вероятно, находятся и известные в настоящее время рудопроявления медно-колчеданного и медно-цинкового колчеданного оруденения в вулканогенно-терригенных толщах Исаковского прогиба.

Ключевые слова: Енисейский кряж, структурно-формационные комплексы, полиметаллическое оруденение, геологические формации.

Основными структурно-формационными комплексами (СФК), слагающими территорию Енисейского кряжа, служат:

- структурно-формационные комплексы фундамента и срединных массивов архейского и нижнепротерозойского возраста, включающие породы гранито-гнейсовой, гнейсо-гранитовой, амфиболитовой формаций архея и вулканогенно-терригенные формации нижнего протерозоя (в том числе: базальтовую, кварцито-глиноземистую, терригенно-вулканогенную с железистыми кварцитами, карбонатно-терригенную формации);
- структурно-формационные комплексы рифея, состоящие из двух групп: нижней – вулканогенно-терригенно-сланцевой формации (сухопитской серии), специализированной на золотое оруденение и в меньшей степени медноколчеданное оруденение, верхней – вулканогенно-терригенно-карбонатной формации (тунгусикской серии), специализированной на свинцово-цинковое и колчеданно-полиметаллическое оруденение.

Указанные структурно-формационные комплексы слагают линейно-мозаичную внутреннюю структуру Енисейского кряжа. Каркасом этой структуры служат региональные продольные и поперечные разломы различной глубины заложения и подновляющиеся в различные стадии развития структуры – от архея–нижнего протерозоя до мезозоя включительно.

Анализ специализированной структурно-формационной схемы масштаба 1 : 500 000 и карт районирования гравитационного и магнитного полей того же масштаба (1) показывает, что наряду с крупными блоками слагающих архей-нижнепротерозойское основание рифейского прогиба (Ангаро-Канский выступ) значительная роль в гетерогенности строения играют и более мелкие блоки, рассматриваемые нами как остаточные срединные массивы, сложенные преимущественно формациями нижнего протерозоя. Режим формирования таких образований отвечает начальной стадии рифтогенеза и соответствует формациям шельфа и континентального склона [2].

Породы веснинской и енисейской серий на большей части Енисейского кряжа в палеоструктурном плане на период отложения толщ рифея слагают срединные массивы, определившие морфологию основных рудоконцентрирующих структур для свинцово-цинкового, колчеданно-полиметаллического, медноколчеданного и золотого оруденения. При этом часть блоков срединных массивов выступали как конседиментационные палеоподнятия, а часть из них была вовлечена в процесс дальнейшего прогибания с подновлением ограничивающих их конседиментационных разломов продольного и поперечного заложения. На таком гетерогенном основании формировались рудовмещающие структурно-формационные комплексы нижне-среднерифейского и верхнерифейского этапов, представленные терригенно-вулканогенно-сланцевой (сухопитской) и флишоидной вулканогенно-терригенно-карбонатной (тунгусикской) формационными сериями.

Сухопитский формационный комплекс суммарной мощностью от 2,6 до 5,1 км соответствует начальной стадии рифейского рифтогенеза.

Для сухопитского формационного комплекса характерна латерально-вертикальная смена формаций. При этом ее нижние части, сложенные высокоглиноземистыми сланцами, кварцитами с горизонтами конгломератов в низах разреза, мраморизованными карбонатными породами в верхах разреза, фациально однородны на большей площади развития. Наибольшая изменчивость состава формаций отмечается для среднего и верхнего уровней сухопитского комплекса, в котором для восточной и центральной частей Енисейского кряжа характерны вулканогенно-сланцевая (зеленосланцевая), песчано-сланцевая, аспидная и карбонатная пестроцветная формации, а в западной части (Приенисейская и Исаковская зоны) отмечается существенная доля вулканогенных пород риобазальтовой формации натрового ряда.

Указанные формации сухопитского комплекса служат рудовмещающими для основной массы золотого оруденения руднoформационных типов. В то же время в Приенисейской зоне в связи с широким развитием вулканогенных пород риобазальтовой формации в верхах разреза комплекса отмечается ряд рудопроявлений медно-цинковой колчеданной рудной формации. Завершается разрез формаций сухопитской серии образованиями карбонатной «пестроцветной» формации, служащей нижним реперным горизонтом для тунгусикской серии формаций.

Тунгусикский формационный комплекс суммарной мощностью 3,5–4 км характеризует переходную стадию развития рифейского рифтогенеза со значительной палеоструктурной дифференциацией и большим разнообразием осадочных и вулканогенных пород. При этом мощным сланцевым и флишоидным толщам палеопрогибов на внутренних палеоподнятиях соответствуют мелководные терригенно-карбонатные осадки со строматолитами и онколитами. К этим же поднятиям тяготеют поля накопления вулканитов риобазальтовой и последовательной формаций натрового ряда. Для формационного комплекса в целом характерна та же тенденция смены вертикально-латерального ряда формаций, что и для сухопитского комплекса; с востока на запад и с юга на север фиксируется увеличение доли вулканитов в составах каждой формации.

Формации тунгусикского комплекса служат основными рудовмещающими для колчеданно-полиметаллического, свинцово-цинкового оруденения [1]. Ведущей является углеродисто-кремнисто-карбонатная формация с колчедансодержащим цинково-свинцовым оруденением в терригенно-кремнисто-карбонатных толщах (Атасуйский тип, Горевский подтип). Горевский подтип является переходным между стратиформным свинцово-цинковым оруденением в карбонатных толщах (Каратауский тип) и колчеданно-полиметаллическим в углеродистых терригенно-флишоидных (черносланцевых) толщах (Филизчайский тип).

Полиметаллическое оруденение фиксируется на различных уровнях и охватывает интервал мощностью около 3 км. Учитывая предпосылки наличия латерально-вертикального ряда формаций, можно сделать предположение, что этот размах оруденения может быть принят до 1,5–2 км. Здесь следует также отметить, что в едином латеральном ряду синхронных по времени рудных формаций, вероятно, находятся и известные в настоящее время рудопроявления медно-колчеданного и медно-цинкового колчеданного оруденения в вулканогенно-терригенных толщах Исаковского прогиба. Об этом свидетельствует и общая пространственно-латеральная зональность размещения полиметаллического оруденения, выраженная в смене существенно свинцового (колчедансодержащего цинково-свинцового) оруденения Горевского подтипа и свинцово-цинкового в карбонатных толщах Морянихинского типа с колчеданно-полиметалличеким оруденением в черносланцевых толщах на комплексное свинцово-цинковое с медной составляющей и медноколчеданное в вулканогенных толщах.

В пределах структур Енисейского кряжа можно выделить: структурно-формационные зоны (Чернореченско-Каменскую (Ангаро-Питскую) с железорудным и золотым оруденением и Центральную (Тейско-Татарскую) с золотым оруденением; Ангаро-Большепитскую с ведущей ролью свинцово-цинкового оруденения и Исаковско-Приенисейскую с медно-цинковым колчеданным профилем оруденения) и две самостоятельные структуры (Ангаро-Канскую и Вельминскую).

Основные промышленные скопления свинцово-цинкового оруденения сосредоточены в Большепитской СФЗ и отчасти в сопряженной с ней с запада Исаковско-Приенисейской, специа-

лизированных на медно-цинковое колчеданное оруденение. Большепитская СФЗ подразделяется на четыре структурно-формационные подзоны: Большепитско-Ангарскую, Лендахскую (Каменскую), Верхнечапскую, Верхневороговскую, соответствующие структурно-формационным подзонам и адекватным им металлогеническим подзонам. При этом северные СФЗ (Верхнечапская и Вороговская) близки в своем структурном и формационном выражении и сложены комплексами нижнепротерозойских и нижне-рифейских формаций. Южная СФЗ – Большепитско-Ангарская, выполненная преимущественно формациями пород тунгусикской серии, вмещает основные месторождения свинца и цинка трех геолого-промышленных типов: свинцово-цинкового в рифогенных карбонатных толщах (Меркурихинское, Морянихинское), колчеданосодержащего цинково-свинцового в кремнисто-карбонатных толщах (Горевское) и колчеданно-полиметаллического в углеродистой терригенно-флишоидной толще (Линейное). В строении подзоны намечается тенденция к смене карбонатных формаций, преобладаниям на юге и в обрамлении отдельных приподнятых блоков, на терригенные в северной части и в наиболее прогнутых внутренних частях структур. При этом в центральной части отмечается повышенная доля (до 10 %) вулканитов в составе рудовмещающих формаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зайцева М. Н., Кузнецов В. В., Конкин В. Д., Серавина Т. В. Обстановки формирования месторождений свинца и цинка Ангаро-Большепитской минерагенической зоны, Енисейский Кряж // Руды и металлы. – 2020. – № 3. – С. 52–65.
2. Тектоника Северной Евразии : Объяснительная записка к тектонической карте Северной Евразии масштаба 1 : 5 000 000 / Отв. ред. А. В. Пейве. – М. : Наука, 1980. – С. 73–77.

Александров В. В. [1, 2] (aleksandrovvv@rusgeology.ru)
[1] АО «Росгео», г. Москва
[2] АО «Центральное ПГО», г. Москва

ФАКТОРЫ КОНТРОЛЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ, А ТАКЖЕ ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ НОВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗАПАДНО-РЕЖЕВСКОЙ ПЛОЩАДИ (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Приведена характеристика новых золоторудных объектов Западно-Режевской площади. Рассмотрено геологическое строение района, вещественный состав минерализованных зон. Установлена важность структурно-тектонического фактора контроля и размещения новых золоторудных объектов.

Ключевые слова: Свердловская область, новые золоторудные объекты, рудная минерализация, структурно-тектонический фактор контроля оруденения.

В 2021–2023 гг. АО «Росгео» в пределах Западно-Режевской площади проводило поисковые работы на рудное золото и золотоносные коры выветривания. Основная цель работ – выявление объектов золото-сульфидно-кварцевых руд и золотоносных кор химического выветривания. В настоящий момент работа завершена и итогом стало выявление ряда потенциальных золоторудных месторождений.

В региональном плане Западно-Режевская площадь располагается на территории Восточно-Уральской мегазоны. Район работ находится в пределах дислокационной зоны, контролируемой Асбестовским глубинным разломом. Данная зона развита по осадочным и вулканогенным породам девона и силура и ограничена с запада Соколовским (P_1pt_2) и Адуйским (P_3ad) гранитоидными массивами, а также на северо-западе Точильногорским ультраосновным массивом (V_1al_1). С юго-востока и востока дислокационная зона ограничена Режевским и Останинским ультраосновными массивами (V_1al_1). Осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы девона и силура интенсивно тектонически дислоцированы, характеризуются чешуйчато-надвиговым строением. Развиты милониты, катаклазиты, вплоть до формирования зон

полимиктового меланжа с линзами серпентинитов среди дислоцированных пород девона и силура. В пределах дислоцированных зон отмечаются небольшие тела и дайки гранитоидов и диоритоидов комплекса каменского ($C_{2-3}km$).

Первоначальными предпосылками для постановки поисковых работ были установленные предшественниками геохимические аномалии As, отдельные пункты золотоносности и достаточно широкое развитие золотоносных россыпей, которые в прошлые века активно отрабатывались старателями.

В результате проведенных поисковых работ на территории площади были выявлены 11 рудных зон. Наиболее значимыми являются рудные зоны Камышная, Никольская, Межевая, Режевская I и Южно-Режевская, находящиеся в южной части площади (рис. 1). Протяженность выявленных рудных зон от 500–600 м до нескольких километров, ширина 40–200 м. Основанием для выделения рудных зон явился комплекс прямых и косвенных поисковых признаков [1].

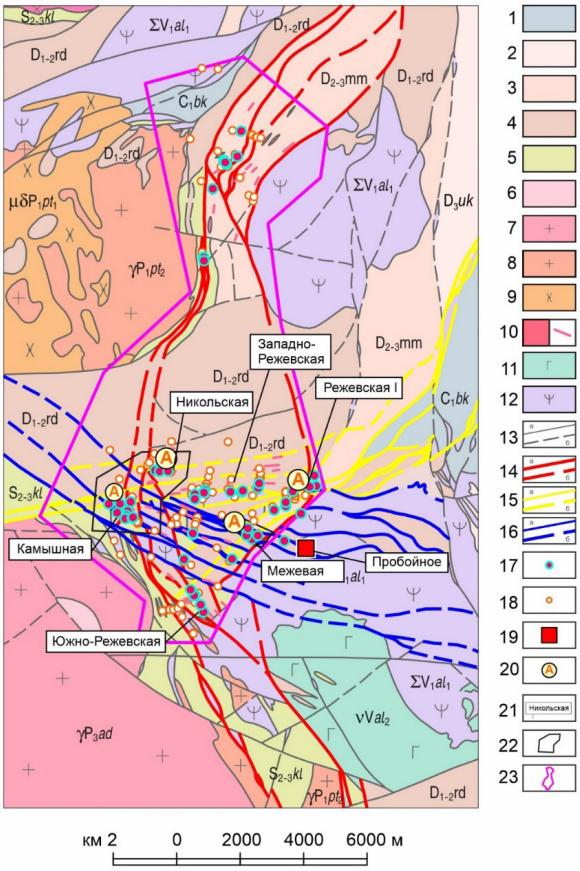


Рис. 1. Схема структурно-тектонического фактора контроля золотого оруденения Западно-Режевской площади:

1 – известняки бекленищевской свиты (C_1bk); 2 – теригенные породы устькондинской свиты (D_3uk); 3 – средние и основные вулканиты маминской толщи ($D_{2-3}mm$); 4 – средние и основные вулканиты, вулканогенно-осадочные и теригенные породы рудянской толщи ($D_{1-2}rd$); 5 – сланцы амфибол-полевошпат-биотитового состава колюткинской свиты ($S_{2-3}kt$); 6 – гнейсы адуйского комплекса (PR_1ad); 7 – граниты адуйского комплекса (P_3ad); 8 – лейкограниты петуховского комплекса (P_1pt_2); 9 – монцодиориты и кварцевые монцониты петуховского комплекса (P_1pt_1); 10 – граниты каменского комплекса ($C_{2-3}km$); 11 – габбро алапаевского комплекса (V_1al_1); 12 – серпентиниты и апосерпентинитовые породы алапаевского комплекса (V_1al_1); 13 – тектонические нарушения установленные (а) и предполагаемые (б); тектонические нарушения: 14 – системы Асбестовского разлома, 15 – системы Арамашковского разлома, 16 – системы Режевского разлома; точки минерализации золота: 17 – уровня 0,5 г/т и выше, 18 – уровня 0,1–0,5 г/т; 19 – проявления рудного золота; 20 – проявления аргиллизации; 21 – подписи рудных зон; 22 – контуры детальных геологических планов; 23 – контур Западно-Режевской площади

К прямым признакам относятся точки с аномальными и кондиционными содержаниями золота, а также наличие шлихового золота рудного облика в корах выветривания. К использованным косвенным признакам относятся: геохимические аномалии As, Ag, Pb, Zn, Cu, W; гидротермально-метасоматические изменения в породах, наличие кварцевых жил и прожилков, окисленной и свежей сульфидной минерализации; наличие слабоокатанного золота в элювиально-делювиальных отложениях; наличие следов старых разведочных и эксплуатационных горных работ. В пределах рудных зон выявлены потенциальные рудные тела, которые по своим параметрам отвечают кондиционным. Средневзвешенные содержания золота по рудным пересечениям составляют первые г/т, а истинная мощность достигает 15 м и более. Протяженность рудных тел достигает нескольких сотен метров. По рудным зонам оценены прогнозные ресурсы золота по категориям P_1 – 26,6 т и P_2 – 38,7 т. Ресурсы прошли апробацию в ЦНИГРИ.

Рассмотрим общие черты наиболее значимых рудных зон. Простирание рудных зон в целом субширотное, с отклонениями на северо-запад или северо-восток (рис. 2), выявленные рудные тела падают на север под углами 15–45°, а в пределах рудной зоны Камышной залегают субгоризонтально (рис. 3). Собственно минерализованные породы выявленных рудных тел представляют собой сильно меланжированные и в ряде случаев брекчированные углеродистые алевропелиты и сланцы амфибол-полевошпат-биотитового состава, данные породы березитизированы и аргиллизированы. Из-за последнего процесса породы часто имеют рыхловатый облик, глинизированы, при этом сульфиды не окислены. Кварцевые прожилки могут как присутствовать, так и отсутствовать. Наблюдается прожилково-гнездовая (до 5–7 %) вкрапленность пирита и арсенопирита, их соотношение в зависимости от конкретной рудной зоны меняется с преобладанием того или иного минерала. Следует отметить, что для выявленных рудных тел характерен арсенопирит с удлиненно-призматическими («игольчатыми») очертаниями и небольшими размерами (менее 1 мм). Пирит как правило ксеноморфный, только в пределах рудной зоны Режевская I имеет четко выраженный кубический габитус. По-видимому, большая часть ксеноморфного пирита развита по более раннему пирротину. Состав второстепенных и редких рудных минералов в минерализованных породах достаточно прост, в небольшом количестве отмечаются марказит, халькопирит, сфалерит, галенит, золото и очень редко теннантит и тетраэдрит. Самородное золото представлено зернами в основном пылевидного и тонкого классов крупности, по составу среднепробное, в качестве примесей присутствует серебро. Золото вкраплено среди сульфидов и чаще среди нерудных минералов минерализованных зон.

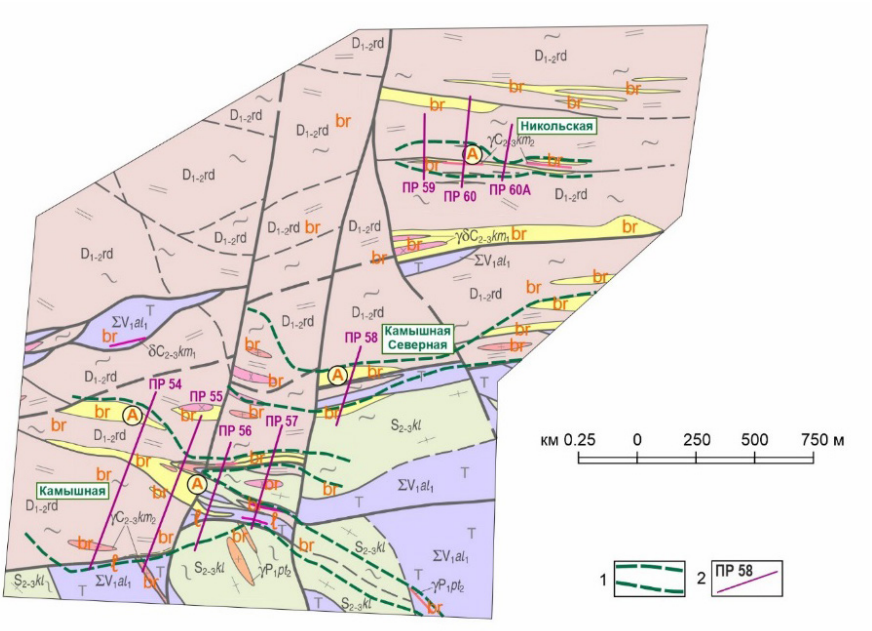


Рис. 2. Схематический геологический план Камышной и Никольской рудных зон:
1 – границы рудных зон, их названия; 2 – линии поисковых работ. Остальные условные обозначения см. рис. 3

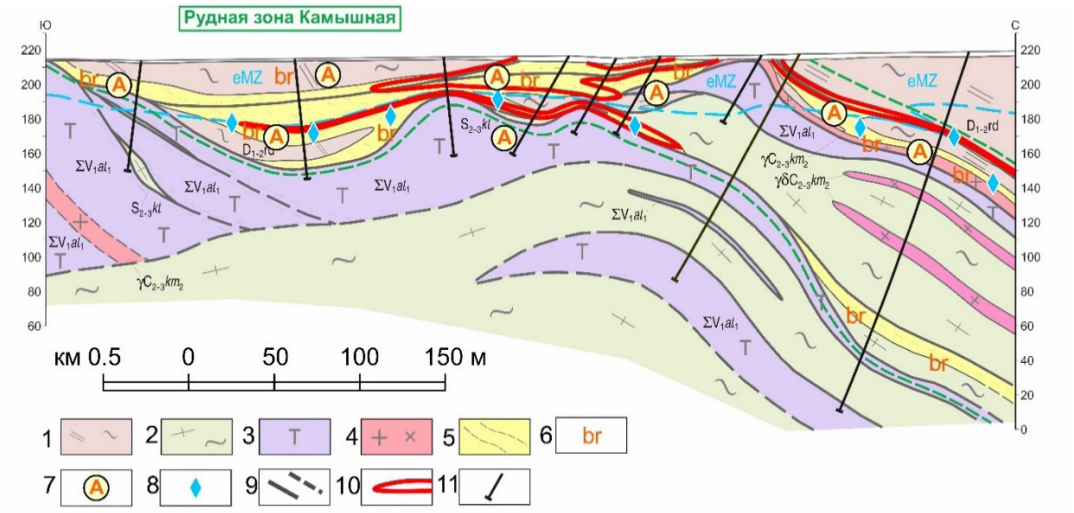


Рис. 3. Геологический разрез через рудную зону Камышная:
1 – углеродистые алевропелиты; 2 – сланцы амфибол-полевошпат-биотитового состава; 3 – карбонат-тальковые сланцы; 4 – гранитоиды; 5 – рассланцованные метасоматиты средней и высокой степени преобразованности; 6 – березитизация; 7 – аргиллизация; 8 – вкрапленность арсенопирита; 9 – тектонические нарушения; 10 – рудные тела; 11 – поисковые скважины

По характеру рудной минерализации и составу золота обособленно выделяются две рудные зоны – Камышная и Западно-Режевская. В минерализованных породах рудной зоны Камышная помимо вышеперечисленных рудных минералов обнаружены акантит, фрейбергит, пираргирит, гринокит, волынскит. Самородное золото характеризуется пониженной пробностью – содержания серебра колеблются от 30 до 60 %.

Минерализованные породы рудной зоны Западно-Режевская отличаются небольшим количеством (менее 1 %) сульфидов никеля, которые представлены виоларитом и годлевскитом. В виде единичных зерен обнаружены халькопирит, тетраэдрит, гессит и эвкайрит. Самородное золото высокопробное, для него типичны примеси меди, достигающие 5,5 %. Технологические свойства руд характеризуются показателями извлечения золота до 97,17 %.

Рассмотрим закономерности контроля и размещения выявленных потенциальных золоторудных объектов. В облике руд обычны милонитовая структура, а также катакластические и брекчиевидные текстуры, что говорит об интенсивной тектонической проработке субстрата для оруденения и создании высокопроницаемой среды для будущего отложения рудного вещества. Почти для всех выявленных рудных тел характерно пологое (15–40°) вплоть до субгоризонтального залегание, как, например, в западной части рудной зоны Камышная (см. рис. 3). На основе проведенных работ было установлено, что для контроля золотого оруденения Западно-Режевской площади наиболее важным является структурно-тектонический фактор. Исходя из полученных данных, выявлено, что в южной части площади в пределах участка Камышный сходятся три рудоносные системы разломов:

1. Система Асбестовского разлома субмеридионального направления (на схеме показана красным).

2. Система Арамашковского разлома (на схеме показана желтым).

3. Система так называемых Режевских разломов имеет направление субширотное (на схеме показана синим), слегка на северо-запад.

Система Асбестовского разлома подходит к площади с юга, является достаточно протяженной (более 100 км) и является рудоконтролирующей для оруденения Шамейского рудного узла, месторождения Гагарское на юге, а также проявления Сусанское на севере. Простирание разлома субмеридиональное, падение крутое на восток. Для оруденения, которое он контролирует, в целом характерны геохимические аномалии, представленные Ag, Pb, Zn, W, Bi.

Система Арамашковского разлома подходит к площади с северо-востока, представляет собой систему пологопадающих на север разломов в виде чешуйчатых надвигов. Разлом сопровождается аномалиями As, реже добавляются Ag и Pb.

Система Режевских разломов была условно выделена авторами данного отчета для нескольких тектонических нарушений, подходящих к участку Камышный с востока. Простираются данные нарушения субширотно с ориентировкой слегка на северо-запад, падают полого на север. Являются рудоконтролирующими для рудной зоны Межевой, а также для находящегося к востоку от границы площади проявления Пробойное.

Все три системы разломов рудоносны, однако наиболее благоприятными для образования потенциальных объектов являются узловые участки их сочленения и пересечения. Наиболее значимые выявленные потенциальные золоторудные объекты контролируются именно такими сопряжениями (см. рис. 1 и 2). Кроме этого, вероятно, наиболее благоприятным вариантом является наложение структур, где присутствуют пологозалегающие либо субгоризонтальные тектонические нарушения, сочленяющие разновозрастные и разновещественные блоки пород (см. рис. 3).

По-видимому, еще одним важным критерием является наличие в таких узловых тектонических сопряжениях проявлений аргиллизации. В большинстве рудных скважин породы помимо березит-лиственитовых изменений также содержат изменения аргиллизитовой формации, которая фиксируется как по внешним признакам (короподобные разваливающиеся, рассыпчатые, глинизированные метасоматиты с вкрапленностью неокисленных пирита и арсенопирита), так и по шлифам (развитие гидрослюдистых, смешанослойных минералов, карбонатов (кальцит, сидерит), халцедоновидного и рисовидного кварца). Проявления аргиллизации могут служить одним из важных поисковых признаков.

Таким образом, подводя итоги, можно сказать, что для локализации золоторудных объектов Западно-Режевской площади важную роль сыграли узловые сочленения разнонаправленных тектонических систем, которые явились высокопроницаемыми и удобными для рудоотложения структурами. Анализ факторов локализации и контроля золоторудных объектов в пределах Западно-Режевской площади позволил успешно провести комплекс полевых работ, выявить потенциально-промышленные золоторудные объекты.

Работы проведены в рамках Государственного контракта № 4/21 от 18.05.2021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баранников А. Г. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. Учеб. пособие. – Екатеринбург : УГГА, 1999. – 141 с.

Алексеев А. С. [1, 2] (aleksrybinsk@gmail.com)
[1] ООО «Управление горными проектами»,
[2] МГУ им. М. В. Ломоносова

ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЧУЛЬБАТКАН – РЕЗУЛЬТАТ РАБОТЫ ЮНИОРНОЙ КОМПАНИИ В РОССИИ

Рассмотрены основные геологические характеристики месторождения Чульбаткан, а также история открытия месторождения в рамках работы юниорной компании.

Ключевые слова: Чульбаткан, юниорная компания, золото.

Чульбаткан – золоторудное месторождение в Нижнем Приамурье (Хабаровский край), располагается в 18 км южнее пос. Удинск, на правобережье р. Амгунь.

Месторождение расположено в Херпучи-Ваюнском рудно-россыпном узле, для которого характерны мелкие золоторудные проявления, большое количество россыпей золота, а также рудопроявления вольфрама, молибдена, олова и меди [1, 2].

Месторождение Чульбаткан локализуется в эндоконтакте крупного плагиогранит-гранодиоритового позднемелового полифазного Чульбатского массива [1, 2].

Оруденение контролируется разломами восток-северо-восточного простирания, оперяющими основной рудоподводящий Чульбатский разлом северо-восточного простирания. Минера-

лизация оруденения прожилково-вкрапленная, контуры промышленных рудных тел определяются только по данным опробования на участках более интенсивного, в том числе прожилково-вкрапленного окварцевания, иногда в зонах серицитизации и хлоритизации. Морфологически рудные тела представляют собой удлиненные, вытянутые в северо-восточном направлении плитообразные и линзообразные зоны, довольно круто (40–70°) падающие на северо-запад, их мощность от нескольких метров до 100 м, также в западной части распространены изометричные рудные тела мощностью до 200–300 м [1, 2].

Гидротермально-метасоматические изменения на месторождении представлены тремя формациями: дорудной березитизацией (пирит – серицит – хлорит – кварц – карбонат), синрудным окварцеванием и пострудной карбонатизацией [1, 2].

Рудные минералы встречаются преимущественно в виде вкрапленников в основной массе породы и в виде микровкрапленников в кварцевых прожилках. Главным рудным минералом является пирит. Менее распространены халькопирит, сфалерит, галенит, зандбергерит, алтаит, теллуриды золота и серебра, самородное золото. В основном эти минералы встречаются в виде вкрапленников в породе, цементирующих кристаллы пирита, реже в виде отдельных микровкрапленников в кварцевых прожилках и еще реже в виде самостоятельных сульфидных прожилков (обычно халькопиритовых). Золото высокопробное (900–980 ‰), основная примесь – серебро (до 10 %) [1, 2].

На основании анализа отчетов предшественников и первых рекогносцировочных работ на рудопроявлении в качестве геолого-поисковой модели была выбрана модель месторождений типа IRGD. Месторождения типа IRGD относятся к редкому типу месторождений золота, связанных с восстановленными интрузиями – intrusion-related gold deposits (IRGD; Thompson, 1999) [3]. К этому типу также относятся месторождения Fort Knox, Dublin Gulch, Timbarra, Kidston, Pogo, Васильковское и другие.

Месторождение Чульбаткан было открыто в рамках работы юниорной компании по поиску золоторудных и медно-порфировых объектов на Дальнем Востоке.

В первоначальный пакет компаний входило 14 лицензионных участков (на золото, медь, молибден и пр.). На 5 из 14 участков проведены только поисковые работы (комплексная геохимическая и геофизическая съемка), на остальных были проведены горно-буровые работы. Наиболее успешным активом оказалось месторождение Чульбаткан.

В 2012 г. – получена лицензия на геологическое изучение, разведку и добычу рудного золота в пределах Чульбатканской площади.

В 2013 г. были проведены поисковые работы – геохимическая и геофизическая (магнито- и электроразведка) съемка, а также электропрофилирование (МКП-ВП).

В 2014 г. были пробурены первые поисковые скважины (7 скважин, 2000 м), выявившие золотое оруденение.

В 2015 г. были проведены горно-буровые работы (канавы – 3188 м, скважины – 10 748,6 м), по результатам которых удалось частично оконтурить месторождение. Также были проведены технологические испытания руды, которые показали, что можно использовать для извлечения золота наиболее «простую» и, соответственно, более дешевую технологию – кучное выщелачивание. Благодаря данной технологии можно вовлекать в переработку бедные руды (с низкими содержаниями золота).

В 2016 г. была закончена разведка месторождения для подготовки к защите технико-экономических обоснований временных кондиций (ТЭО ВК) – рудные тела, входившие в подсчет, были оконтурены, а также проведены инженерно-геологические работы.

В 2017 г. состоялась защита ТЭО ВК в государственной комиссии по запасам (ГКЗ). Зпасы золота составили 32,8 т при среднем содержании 1,59 г/т. Единственным извлекаемым попутным компонентом – является серебро (запасы составляют 24,5 т при среднем содержании 1,19 г/т).

В 2017–2018 гг. проводилось доизучение рудных тел в восточной части месторождения, что позволило значительно нарастить ресурсную базу.

В 2020 г. лицензия на Чульбатканскую площадь (с месторождением Чульбаткан) была приобретена компанией Кинросс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Алексеев А. С., Шишакова Л. Н. Минеральный состав руд золоторудного месторождения Чульбаткан, Нижнее Приамурье, Хабаровский край // Руды и металлы. – 2017. – № 3. – С. 43–50.
2. Алексеев А. С., Старостин В. И. Новое месторождение золота в Нижнем Приамурье – Чульбаткан (Хабаровский край) // Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология. – 2017. – № 1. – С. 33–38.
3. Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // Miner. Deposit. – 1999. – V. 34. – P. 323–334.

Алексеев Я. В. (alekseev@tsnigri.ru), Корчагина Д. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОСТОЯНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СВИНЦА И ЦИНКА РОССИИ

Показаны состояние, структура воспроизводства сырьевой базы свинца и цинка в 1993–2022 гг. и прогноз ее развития по 2040 г. Определены риски и ограничения, влияющие на устойчивость сырьевой базы, обоснована необходимость усиления геологоразведочных работ ранних стадий за счет средств федерального бюджета для подготовки прогнозных ресурсов и создания «поискового задела» для свинца и цинка.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, свинец, цинк, запасы, погашение, приросты запасов, прогноз, ресурсный потенциал.

Свинец и цинк относятся к базовым промышленным металлам, включены в перечень стратегических видов минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2022 г. № 2473-р, и, согласно Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (далее Стратегии), относятся к полезным ископаемым второй группы, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г. Целевое значение показателя прироста запасов для свинца и цинка установлено на уровне 100 %.

В представленном анализе месторождения свинца и цинка разделены, согласно используемой Госбалансом классификации их руд, по промышленным типам. К первой группе отнесены месторождения, имеющие основное промышленное значение в качестве источника свинца и цинка с получением товарного продукта – свинцового и цинкового концентратов: для свинца это свинцово-цинковый и полиметаллический типы руд. Для цинка, помимо перечисленных типов, существенное значение имеют месторождения медноколчеданных руд. Вторая группа месторождений представлена остальными промышленными типами руд, имеющими отличия для свинца и цинка. На ряде таких месторождений при обогащении руды происходит выпуск товарных продуктов, попутно содержащих свинец и цинк.

При определении результативности геологоразведочных работ (ГРР) критерием оценки принято количество поставленных на государственный учет «новых» месторождений свинца и цинка с балансовыми запасами категорий $B+C_1+C_2$, а также крупность таких месторождений (раздельно по каждому компоненту в тыс. т Pb и Zn: малые до 100, средние 100–1000, крупные от 1000 [2]). Также для целостности анализа установленный Стратегией показатель воспроизводства запасов в 100 % от их погашения расширен на весь рассмотренный временной период.

Сырьевая база свинца и цинка России характеризуется отрицательной динамикой изменения суммарных балансовых запасов, в 1993–2022 гг. они снизились с 19 409,5 до 17 233 тыс. т и с 61 529,3 до 58 766,1 тыс. т. Основными факторами убыли являются – эксплуатация месторождений, списание запасов произошедших на ряде «старых» объектов (были учтены Госбалансом до 1993 г.) вследствие переоценки, неподтверждения и иных причин, сравнительно малое количество выявленных по результатам ГРР «новых» значимых по запасам месторождений (объекты поставленные на государственный учет начиная с 1993 г.).

В результате показатель прироста запасов на «старых» месторождениях имеет отрицательное значение, составляя -1 774,6 тыс. т по свинцу и -283,9 тыс. т по цинку. Для «новых» месторождений прирост запасов напротив положительный: 3 608,2 тыс. т по свинцу и 7 794,9 тыс. т по цинку.

Суммарное значение прироста запасов свинца по всем месторождениям («старые» и «новые») равняется 1 833,6 тыс. т, что меньше их погашения (добыча+потери) в результате эксплуатации (4 010,1 тыс. т) и не достигает целевого уровня воспроизводства 100 %, составляя 45,7 %. Для цинка по всем месторождениям значение прироста запасов – 7 511 тыс. т – также меньше погашенных при эксплуатации 10 274,2 тыс. т и не достигает целевого уровня воспроизводства 100 %, составляя 73,1 %. Отмеченное состояние прироста запасов свинца и цинка охарактеризовано авторами как «накопленный дефицит их воспроизводства». Количественно он соответственно составляет 2 176,5 и 2 763,2 тыс. т. Это обстоятельство необходимо учитывать при прогнозировании развития сырьевой базы свинца и цинка.

В среднесрочной перспективе, согласно утвержденным проектам освоения месторождений свинца и цинка (ЦКР-ТПИ Роснедр), отчетности компаний-недропользователей и экспертной оценке по введению в эксплуатацию изучаемых в настоящее время объектов, прогнозируется волнообразное наращивание добычи свинца и цинка в РФ с последующим спадом к 2040 г. по мере исчерпания запасов эксплуатируемых месторождений.

Всего в прогнозируемый период 2023–2040 гг. ожидается погашение 7 743,1 тыс. т балансовых запасов свинца и 20 911,7 тыс. т цинка. Для их компенсации, согласно определенному Стратегией уровню воспроизводства сырьевой базы свинца и цинка в 100 %, за 2023–2040 гг. необходимо восполнить указанные значения погашения запасов. А с учетом отмеченного дефицита прироста запасов показатели воспроизводства составляют 9 919,6 тыс. т по свинцу и 23 674,9 тыс. т по цинку.

Исходя из анализа ретроспективы, уже стоящие на Госбалансе месторождения как «старые», так и «новые», только отчасти могут решить поставленную задачу при их дальнейшей разведке, включая фланги и глубокие горизонты, и возможной переоценке ранее подсчитанных блоков.

Основным фактором воспроизводства сырьевой базы являются геологоразведочные работы, направленные на выявление «новых» месторождений свинца и цинка, при этом их интенсивность должна быть выше периода 1993–2022 гг. Заделом воспроизводства запасов свинца и цинка является выявленный ресурсный потенциал, однако он характеризуется рядом особенностей как по количеству учтенных объектов, на которых апробированы прогнозные ресурсы наиболее достоверных категорий P_1 и P_2, так и по геолого-промышленным типам.

В результате приведения ресурсного потенциала свинца и цинка к условным запасам категории C_2 с использованием статистически-обоснованных коэффициентов [1] оценено вероятное их суммарное значение по всем объектам в 7 074,2 (Pb) и 22 271,3 тыс. т (Zn) при условии успешного завершения геологоразведочных работ на каждом объекте.

Таким образом, имеющийся ресурсный потенциал в целом недостаточен для воспроизводства балансовых запасов свинца и цинка. Для его восполнения значимыми объектами категорий P_1 и P_2 требуется усиление работ ранних стадий за счет средств федерального бюджета на перспективных площадях с прогнозными ресурсами категории P_3.

Важным направлением является проведение прогнозно-минерагенических работ в пределах слабоизученных территорий, направленных на локализации площадей, перспективных для постановки поисковых работ на выявление объектов свинцово-цинковых, полиметаллических и медноколчеданных руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18–28.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 марта 2023 г. № 355 «О государственной экспертизе запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, об определении размера и порядка взимания платы за ее проведение».

Аленичева А. А.[1] (Antonina_Alenicheva@vsegei.ru),
Касаткин Н. С. [1, 2] (Nikita_Kasatkin@vsegei.ru), Юрченко Ю. Ю. [1] (yuri_yurchenko@vsegei.ru),
Зубова Т. Н. [1] (tatiana_zubova@vsegei.ru), Шатов В. В. [1] (vitaly_shatov@vsegei.ru)
[1] ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург
[2] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург

ВЫЯВЛЕНИЕ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ, ПРИ СОЗДАНИИ ГОСГЕОЛКАРТЫ-1000/3 НА ПРИМЕРЕ ЛИСТОВ О-55, О-56 (СЕВЕРНОЕ ПРИОХОТЬЕ, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

По результатам ГК1000/3 листов О-55, О-56 в Северном Приохотье выделены новые рудные узлы: Мотыклейский, Чистоозерный и Павловичский, перспективные на молибден-медно-порфировое оруденение. Обоснована связь оруденения с альб-сеноманским гранитоидным магматизмом Приохотского плутонического пояса. Даны рекомендации проведения дальнейших крупномасштабных геолого-съемочных и поисковых работ.

Ключевые слова: Мотыклейский, Чистоозерный, Павловичский рудные узлы, Cu-Mo-Au-порфировая система, порфировидные гранодиориты, кварцевые диориты, U-Pb SHRIMP датировки.

Введение. Создание Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения (Госгеолкарта-1000/3) – один из важнейших этапов региональных геологосъемочных работ, направленных на комплексные геолого-минерагенические исследования, главным результатом которых является прогнозная оценка территорий на высоколиквидные и стратегические виды полезных ископаемых с выделением перспективных рудных объектов ранга рудных узлов (РУ). По итогам работ по созданию Госгеолкарты-1000/3 листов О-55-Талон, О-56-Магадан (Хабаровский край, Магаданская область), выполненных в 2021–2023 гг., выделены новые металлогенические таксоны в ранге РУ – Мотыклейский, Чистоозерный, Павловичский РУ, перспективные на Au-Mo-Cu-порфировое оруденение.

В основу работы положены результаты полевых и лабораторных исследований, выполненных в ФГБУ «ВСЕГЕИ». Аналитические исследования проводились в Центральной лаборатории (ICP-MS, AAS, РСФА, РЭМ) и в Центре изотопных исследований (локальный U-Pb SIMS SHRIMP-II, изохронный Re-Os методы, определение РЗЭ в цирконах).

Геолого-структурное и металлогеническое районирование. Глобальным тектоническим фактором выделения перспективных рудных объектов является их расположение в зоне конвергентного взаимодействия Евразийской окраины континента с Тихоокеанской плитой и островными дугами [1], элементы которых фиксируются в пределах исследуемой территории. К структурам регионального порядка относятся пермско-раннемеловая Охотско-Тайгоносская палеоостроводужная система, коллизионный альб-сеноманский Приохотский плутонический пояс [8], сформировавшийся на границе скольжения литосферных плит [7], и позднемеловой Охотско-Чукотский вулкано-плутонический пояс. С мезозойскими вулкано-плутоническими поясами Тихоокеанского складчатого обрамления на Дальнем Востоке России связаны такие крупные золото-медно-порфировые месторождения как Малмыж и Песчанка Сихотэ-Алинской и Охотско-Чукотской минерагенических провинций соответственно [4, 6]. На площади листов О-55, О-56 известны только проявления порфирового типа: Лора, Мыс Павловича (Викинг), Осеннее и Усинское, локализованные в Магадан-Ямской и Кони-Пьягинской минерагенических зонах Охотско-Чукотской провинции.

Геология и рудоносные магматические комплексы. Оруденение порфирового типа Мотыклейского, Чистоозерного и Павловичского РУ ассоциирует с ранне-позднемеловыми гранитоидами, интрудирующими юрско-меловые осадочно-вулканогенные образования, представленные островодужными базальтами, андезибазальтами, андезитами и их туфами толеитовой и переходной от толеитовой к известково-щелочной серий. Гранитоиды преимущественно диорит-тоналит-плагиогранитовой формации, часто порфировидные, относятся к нормальноще-

лочному ряду с преобладанием натрия, с подчиненным количеством умереннощелочных гранитов и монцонитов. Согласно полученным данным (U-Pb 97–108 млн лет), рудоносные интрузии относятся к альб-сеноманскому магаданскому комплексу Приохотского плутонического пояса. Изотопный возраст гидротермального рудообразующего процесса согласуется с возрастом интрузий, что подтверждено Re-Os изохронным датированием рудных минералов (94–108 млн лет). В составе гранитоидов выявлены адакиты (штоки Малоойринский, Мыс Речной) – специфичные породы, свойственные окисленным магмам, инициирующим образование порфировых рудных систем с содержанием SiO_2 > 56 %, Al_2O_3 > 15 %, с низкими концентрациями Y и Yb < 18 и 1,9 г/т соответственно, с высокими содержаниями Sr > 400 г/т. Для оценки потенциальной рудоносности гранитоидов и их металлогенической продуктивности на Cu±Mo±Au-порфировое оруденение изучались индикативные параметры цирконов по методике, изложенной в [5].

Мотыклейский медно-молибден-золоторудный РУ выделен в Магадан-Ямской минерагенической зоне. На площади РУ известно одно проявление золота Малоойринское и пункты минерализации меди, золота и серебра [3], развиты ореолы гидротермально-измененных пород – пропилитов, кварц-серицит-хлоритовых метасоматитов, вторичные литохимические ореолы рассеяния с содержаниями золота до 0,01 г/т, серебра до 0,2 г/т, меди до 0,1 %, молибдена до 0,005 %.

На площади Мотыклейского РУ нами в береговых обнажениях бухты Лужина выявлена протяженная (до 1 км) минерализованная зона гидротермально измененных базальтов сигланской свиты (J_3–K_1) в зоне тектонического контакта с интрузией Онара. В эндоконтакте интрузии развиты кварц-сульфидные прожилки, кварц-мусковитовые грейзены с обильной сульфидизацией. Анализ (ICP-MS) штуфных проб показал повышенные содержания Cu 0,01–0,18 % и Ag 0,2–7,8 г/т, Au 0,031 г/т.

Индикативные геохимические параметры цирконов показали наивысшую потенциальную продуктивность на Cu-Mo-Au оруденение гранодиоритов Малоойринской интрузии магаданского комплекса, к которому приурочено Малоойринское проявление золота (таблица).

Павловичский серебро-медно-молибденоворудный РУ выделен в южной части п-ва Кони в Кони-Пьягинской минерагенической зоне. В контурах узла известны Cu-Mo проявление Мыс Павловича, приуроченное к одноименному плутону, пункты минерализации золота и серебра, шлиховые ореолы золота. Оруденение представлено штокверком в порфировидных гранодиоритах с вкрапленной сульфидной минерализацией, с сульфидно-кварцевым прожилкованием с молибденитом. Среди гранитоидов развиты зоны вторичных кварцитов, ортоклазитов.

По результатам полевых работ 2022 г. и лабораторных исследований в штуфных пробах из минерализованной зоны на Мысе Павловича определены повышенные концентрации (ICP-MS): Cu – 10,7 %, Mo – 0,23 %, Ag –142 г/т, Au – 0,35 г/т, Bi –23,4 г/т, Te – 5 г/т.

Таблица. Геохимические параметры цирконов

№№ образца	Месторождение, проявление, интрузивный массив, порода	Возраст, млн лет	Индикативные геохимические параметры циркона – PIZ (Porphyry Indicator Zircons) [4]							Продуктивность
			Ce/Nd	Eu/Eu*	(Ce/Nd)/Y	Dy/Yb	(10000xEu/Eu*)/Y	Th/U	T °C (Ti-in-zircon thermometer)	
			> 1	> 0,4	> 0,01	< 0,3	> 1	0,1 ÷ 1,0	637 ÷ 738	
Эталон	**Месторождение Малмыж**	**98 ± 1**	**10**	**0,6**	**0,02**	**0,16**	**10**	**0,6**	**680 ± 20**	**Наивысшая**
Мотыклейский рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
32061/1	Малоойринское Малоойринский массив (гранодиорит)	100 ± 1	15,6	0,53	0,024	0,21	6,9		677	Наивысшая высшая
SH-22 (32049/1)	Мотыклейский массив (габбродиорит)	100 ± 1	5,9	0,88	0,011	0,17	13,9		512	Высокая
Чистоозерный рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
41036/1	Массив Мыс Речной, (кварцевый диорит)	100 ± 1	3,9	0,43	0,001	0,27	1,1	0,6 ÷ 1,3	721	Умеренная

Чистоозерный медно-молибден-золоторудный РУ выделен в районе мыса Речной Тауйской губы. В пределах РУ выделяются две перспективных площади – Олачанская и Мыс Речной с пунктами минерализации меди, серебра и золота, выявленными О. В. Петровым с соавт. [4]. В результате полевых исследований в 2021 г. нами (с участием Е. Е. Коловой, СВКНИИ ДВО РАН) опробованы минерализованные зоны участка Мыс Речной. Установлены признаки слабо вскрытой порфировой системы, образованной штоком кварцевых диоритов, интрудирующих стратифицированные нижнемеловые образования: базальты, андезиты и их туфы. Шток с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией разбит серией тектонических нарушений северо-восточного простирания, сопровождающихся сульфидизированными зонами дробления. Анализы (ICP-MS) показали повышенные концентрации рудогенных элементов в штуфной пробе из минерализованной зоны: Cu – 1,1 %, Au – 63 г/т, Ag – 17,3 г/т, Bi – 33, 4 г/т. Микрозондовым исследованием рудных минералов обнаружены теллуриды золота и серебра – сильванит и гессит, а также минералы свинца – галенит и алтаит. Стоит подчеркнуть, что эпитермальная минерализация в порфировых системах, согласно эпитермально-порфировой модели Р. Силитоу [6], указывает на верхнерудный срез и может рассматриваться нами как хороший поисковый признак на обнаружение невскрытых рудных тел медно-молибденового типа в пределах мыса Речного.

Выводы. Авторы данной работы предполагают, что металлогенический потенциал Дальневосточного региона на золото, молибден и медь не исчерпывается выявленными в последние десятилетия крупными месторождениями Песчанка и Малмыж, и связывают перспективы территории изученных листов с возможным обнаружением рудных объектов молибден-медно-порфировой рудной формации в Мотыклейском, Чистоозерном и Павловичском РУ. Обоснованием прогнозирования перспективных РУ послужили прогнозно-поисковые критерии и признаки, сопоставимые с Баимской рудной зоной с золото-молибден-медно-порфировым месторождением Песчанка, а также золото-медно-порфировым месторождением Малмыж, которые приняты в качестве эталонных объектов, а именно:

1. Наличие островодужного субстрата (Песчанка), представленного верхнеюрско-нижнемеловыми вулканогенно-осадочными породами;
2. Рудообразующие порфировые интрузии – раннемеловые монцонит-диоритовой, монцонит-сиенитовой формаций (Песчанка) и альб-сеноманские диорит-тоналитовой формации (Малмыж);
3. Гидротермально-метасоматические образования: метасоматиты калиево-полевошпатовые; серицит-кварц-пиритовые; кварц-сульфидные, окварцевание, пропилитизация.
4. Минеральная ассоциация руд: борнит, халькопирит, халькозин, молибденит, ковеллин, блеклые руды, галенит, магнетит.

В заключение стоит отметить, что территория листов О-55, О-56, на которой выявлены рассмотренные выше перспективные РУ, изучена недостаточно хорошо. Авторы рекомендуют постановку крупномасштабных геолого-сьемочных и поисковых работ на площади выявленных перспективных объектов.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2022 г. № 049-00018-22-01 по объекту «Создание и подготовка к изданию государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения по группе листов территории Российской Федерации в 2021–2023 годах (листы О-55, 56)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Ред. А. И. Ханчук. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 981 с.
2. Корольков В. Г., Королькова А. М. Обьяснительная записка к Государственной геологической карте СССР листа О-55-IV, X масштаба 1 : 200 000, 1976 г.
3. Корольков В. Г., Королькова А. М. Обьяснительная записка к Государственной геологической карте СССР листа О-56-II масштаба 1 : 200 000, 1987 г.
4. Петров О. В., Ханчук А. И., Иванов В. В. и др. U-Pb SIMS геохронология рудоносных магматических пород золото-медно-порфировых проявлений Малмыжского и Понийского рудных полей (Нижнее Приамурье) // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 41–56.

5. Петров О. В., Киселев Е. А., Ханчук А. И. и др. Распределение элементов-примесей в цирконе как индикатор рудоносности магматических пород Au-Cu-порфировых проявлений Малмыжского и Понийского рудных полей (Нижнее Приамурье, Дальний Восток) // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 55–70.
6. Читалин А. Ф., Николаев Ю. Н., Бакшеев И. А. и др. Порфирово-эпитермальные системы Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов (Смирновский сборник-2016). – М. : Макс-Пресс. – 2016. – С. 85–115.
7. Ханчук А. И., Гребенников А. В., Иванов В. В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 3. – С. 4–37.
8. Шпикерман В. И. Объяснительная записка к Государственной геологической карте листа P-55 масштаба 1 : 1 000 000. – Спб. : ВСЕГЕИ, 2016.

Алферова В. А. [1] (alferova@tsnigri.ru), Столяренко В. В. [1] (stolyarenko@tsnigri.ru), Минаева С. В. [1] (minaeva@tsnigri.ru), Бондаренко Н. В. [1] (bondarenko@tsnigri.ru), Соколов Е. П. [2] (geol63@mail.ru)

[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва,

[2] АО «Якутскгеология», г. Якутск

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МАЛОМУРУНСКОЙ ТРУБКИ ЭКСПЛОЗИВНЫХ БРЕКЧИЙ С НАЛОЖЕННОЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Проведенные исследования в пределах Мурунского рудного узла и предварительный анализ полученных материалов позволил наметить поисковые предпосылки, определяющие условия локализации золотого оруденения в эксплозивных брекчиях. К их числу относятся: структурные, магматические, стратиграфо-литологические, минералого-геохимические.

Ключевые слова: Мурунский массив, вулкано-плутоническая структура, эксплозивные брекчии, месторождения золота, тектоническая позиция, золото.

Необходимость разработки прогнозно-поисковой модели Маломурунской трубки эксплозивных брекчиевых образований обусловлена тем, что во многих регионах мира установлены образования подобного генезиса, формирующие трубки взрыва и тела сложной формы, широко проявленные в пределах вулкано-плутонических структур.

Пространственно они располагаются либо внутри предшествующих фаз интрузивных тел, формирование которых происходило на сравнительно небольшой глубине, либо во вмещающих интрузив породах на флангах вулканоструктур.

Эксплозивные брекчии (ЭБ) являются показателем неравновесного механизма геологических процессов и формируются на высокопроницаемых участках земной коры. Их образование связано с дроблением и последующим перемещением пород вулканического аппарата, интрузии или вмещающих пород газово-жидким флюидом *при резком изменении давления и температуры,* на заключительных стадиях развития магматогенной структуры из остаточных расплавов. На многих месторождениях их образование предшествовало рудному процессу или было синхронно рудообразованию.

Тела эксплозивных брекчий имеют форму трубок, конусов, сложно разветвляющихся жил и грибообразных тел и крутые подводящие каналы. Поперечное сечение в плане составляет обычно десятки, первые сотни метров, редко более. При этом вертикальные размеры могут достигать 1,5 км. В составе обломков развиты интрузивные, вулканогенные, терригенные образования. Цемент представлен перетертым материалом вмещающих и подстилающих пород и поздними метасоматическими минералами: кварцем, карбонатом, адуляром, турмалином, каолинитом, серицитом, баритом, сульфидами и др.

ЭБ, локализующиеся в гипабиссальных и приповерхностных зонах земной коры, широко распространены на золото-медно-порфировых, золоторудных, молибденовых и других типах месторождений, на которых они бывают безрудными, но также являются рудоподводящими и рудовмещающими структурами [3, 4, 9]. На подобных месторождениях содержания Au в ЭБ изменяются в широком диапазоне: от десятых долей–первых г/т (наиболее распространенные содержания) до сотен–первых тысяч г/т (рудные столбы Кочбулака) [8].

Подобные тела могут обладать высоким рудным потенциалом. Наиболее яркий пример золотоносных ЭБ – уникальный «Крессонов раздув» на месторождении Крипл-Крик в США, явившийся источником порядка 500 т золота при средних содержаниях 12 г/т. Изолированная кальдерная постройка месторождения сформировалась в узле пересечения нескольких древних разломов двух поперечных сечений. Вырезанный ими и опущенный небольшой тектонический блок выполнил роль основания для развившейся на нем вулкано-тектонической постройки. В пределах кальдеры в узле пересечения двух сближенных зон разломов северо-восточного и северо-западного простираний локализовано трубообразное тело эксплозивных брекчий размером 100 × 200 м, отработка которого велась до глубины 900 м. Золото представлено преимущественно теллуридами. В самородном виде золото встречается в основном в виде вкраплений микронного размера. Среднее содержание Au 10–12 г/т [5, 9].

Мурунский рудный узел, в пределах которого локализована Мурунская трубка эксплозивных брекчий, расположен на северо-западной окраине Алданского щита и представляет собой купольно-сводовое вулкано-плутоническое поднятие, приуроченное к пересечению Кеме-Кебектинского, Атбастах-Торгойского и Гольцового региональных разломов, являющихся основными магмоподводящими каналами.

Мурунский массив включает Большемурунский, Маломурунский и Догалдынский массивы. Последний имеет кольцевое строение, а два других обладают выраженными чертами диапирового строения. Указанные купола в современном эрозионном срезе представляют собой одноименные обособленные интрузивы щелочных пород, которые, как считают многие исследователи, имеют общие корни. Предполагается, что становление массива протекало в условиях нестабильной тектонической обстановки с формированием блоковых структур и осложнениями за счет даек разного состава.

Магматические образования Мурунского узла в современных схемах объединяются в мурунскую вулкано-плутоническую ассоциацию [5]. Всеми исследователями выделяются несколько фаз внедрения:

- ранняя фаза массива представлена ультраосновными-щелочными породами;
- главная фаза массива представлена серией различных сиенитов;
- вулканическая фаза занимает более 50 % площади и представлена лавами и покровами, туфолавами, лавобрекчиями. Завершается вулканическая фаза внедрением дайковой серии.

Самыми поздними образованиями массива являются гидротермальные кварц-карбонатные и кварцевые жилы и зоны.

Формирование Маломурунской брекчиевой трубки связывается либо с началом вулканической фазы внедрения [2], либо с завершающей фазой дайковой серии (Росгеолфонд. Геологический отчет № 486750, 2005, Л. 250).

Подобные образования эксплозивных брекчий, выполняющих трубки, установлены и в поле архейских гнейсо-гранитов к северо-западу от оз. Атбастах, в верховье р. Торго на водоразделе, к юго-западу от участка Южный и на водоразделе р. Ингаригды и ее правого притока, а также в соседних районах Алданского щита (рудопроявление Тохто в пределах Джекондинской вулкано-плутонической структуры).

Тектоническое строение Мурунского узла предопределено его положением на стыке западной части Алданского щита с Березовским прогибом, в узле пересечения разноориентированных систем региональных глубинных разломов. В целом для описываемого района характерно блоковое строение. Складчатым дислокациям подвержены только образования нижнего этажа – кристаллического фундамента. Блоки ограничиваются разломами трех основных направлений: субмеридионального, субширотного и северо-восточного. По этим разломам блоки смещены относительно друг друга по вертикали с различными амплитудами (от первых десятков метров до 300–400 м).

Структура Мурунского рудного узла сформирована в каркасе Атбастах-Торгойского, Гольцового и Кеме-Кебектинского глубинных разломов. Одним из основных структурных уровней является мезозойская грабенообразная структура, заложенная по разломам Кеме-Кебектинской группы и расположенная в центральной части Мурунского узла.

Учитывая данные геофизических исследований, в частности структуру поля силы тяжести, аномального магнитного поля, предполагается, что строение кристаллического основания, представляет собой синформную структуру субширотного простирания.

На крыльях синформной структуры, значения поля силы тяжести и аномального магнитного поля положительные. В центральной части значение поля силы тяжести понижается, магнитное поле представлено знакопеременными значениями. К наиболее пониженным значениям гравиметрического поля и повышенным значениям (ΔT)а приурочена вулкано-плутоническая структура г. Малый Мурун с Маломурунской трубкой. Подобное строение фундамента хорошо согласуется с вышеописанной наложенной поперечной структурой мезозойского грабена.

Как следствие вышесказанного и по результатам поисковых работ 2022–2023 гг. можно сделать вывод, что Маломурунская брекчиевая трубка расположена *в опущенном тектоническом блоке*, локализованном между Гольцовым, Атбастах-Торгойским и Кеме-Кебектинским разломамии (Росгеолфонд. Геологический отчет № 486750, 2005, Л. 250; ЦНИГРИ. Геологический отчет № 13197, 2023, Л. 57).

Рядом исследователей подчеркивается приуроченность многих золоторудных месторождений эксплозивных брекчий к опущенным тектоническим блокам, что можно использовать в качестве одного из поисковых критериев для выявления «скрытых» эксплозий в подобной тектонической обстановке [6, 8].

В плане брекчиевая структура имеет размеры около 1,5 × 3 км, в геохимических полях выделяется повышенными концентрациями Au, Ag, Pb, Zn, Mo, V, Cu, Bi, As, W, V и фиксируется магнитной аномалией трубочного типа [6].

Вмещающие породы представлены в разной степени измененными щелочными сиенитами. Щелочные сиениты секутся дайками псевдолейцитовых фонолитов, трахитов, тингуаитов и в приповерхностной части содержат ксенолиты сильно фенитизированных (с новообразованиями эгирина, калиевого полевого шпата, щелочного амфибола) песчаников.

Предыдущие исследователи выделяют три типа брекчий, образующихся преимущественно по щелочным сиенитам и отвечающих различным стадиям брекчиеобразования (от ранних к поздним): с глинисто-биотит-полевошпат-эгириновым, эгирин-биотит-полевошпат-гранатовым цементом и гидротермальные брекчии с рудно-карбонатно-кварц-флюоритовым цементом.

Золотоносны гидротермальные брекчии с барит-флюорит-кварцевым цементом, с сульфидной полиметаллической минерализацией (до 30 % объема породы). Золото мелкое и тонкодисперсное, обнаружено в тесной ассоциации с пиритом [6].

Ряд признаков рассматриваемых брекчий позволяет предполагать их эксплозивное происхождение. Механизм образования ранних брекчий – скорее всего результат прорывов остаточного магматогенного флюида, а поздних – результат периодического вскипания гидротермального раствора, перемежавшегося с периодами «спокойного» минералообразования в жильной форме, что обусловило полиимпульсный характер брекчирования.

В брекчиях выявлены пирит, пирротин, халькопирит, борнит, ковеллин, галенит, сфалерит, флюорит, барит, ильменит, магнетит, гематит, гетит, шеелит, брукит, титанит, рутил, анатаз, апатит, циркон, церуссит, бедантит, ярозит, плюмбоярозит, вивианит, монацит и лейкоксен. Минералы распределяются неравномерно, их количество варьирует от единичных зерен, рудных скоплений в прожилках и цементе самых ранних, эгириновых брекчий, а также поздних брекчий с гидротермальной минеральной ассоциацией. На отдельных участках содержание сульфидов до 10 %, местами переходящее в массивные колчеданные руды с содержанием сульфидов не менее 30 %.

Минералогия золота. В процессе полевых работ было проведено опробование рудных интервалов со значимыми содержаниями золота (1,0–3,42 г/т). Отбор протолочных проб весом 10–12 кг проводился из полотна канавы по интервалам с наиболее высокими содержаниями, с последующей промывкой. Всего было отобрано 40 протолочных проб. В одной из проб получено два знака золота класса -0,315+0,045 мм. В остальных пробах золото россыпеобразующих

классов крупности (> 0,1 мм) отсутствует. Не исключено, что золото может быть менее 0,01 мм. Кроме того, по результатам фазового анализа выяснено, что золото также находится в сульфидах (пирит, арсенопирит), кислоторастворимых минералах и силикатах.

Для эксплозивных золотоносных брекчий в большинстве характерно тонкодисперсное золото величиной единицы мкм, редко десятки мкм, часто сконцентрированное в пирите и описанное на месторождениях Крипл-Крик, Бестоме, Кочбулак, Уштаган и др. [4, 8].

На аналогичном рудопроявление Тохто в пределах Джекондинской вулкано-плутонической структуры (Центрально-Алданский рудный район) за все время ее изучения было получено два знака золота класса +0,1 мм. При этом из частной пробы весом 50 кг, отобранной на поверхности трубки из выветрелых пород, было выделено 150 золотин размером – 0,05–0,15 мм [1].

Столь широкое развитие тонкодисперсного золота можно объяснить дегазацией при резком падении давления и температуры, что приводит к образованию большого количества центров кристаллизации (кристаллических зародышей), при этом скорость их образования возрастает быстрее, чем скорость их роста, что и проводит в конечном счете к образованию тонкого золота микронных размеров [7]. Реже отмечаемое золото класса +0,2 мм, вероятно, является более поздним, связанным с гидротермальными жилами.

Данные, полученные в ходе проведенных поисковых исследований в районе, и предварительный анализ полученных материалов по золотоносности, позволяют наметить конкретные поисковые предпосылки, определяющие условия локализации золотого оруденения в пределах Маломурунской трубки, выполненной эксплозивными брекчиями.

К их числу относятся: структурные, магматические, стратиграфо-литологические, минералого-геохимические.

Учитывая весьма сложное строение Мурунского рудного узла, предложенная прогнозно-поисковая модель является предварительной и в дальнейшем будет уточняться и детализироваться с выделением типов золотого оруденения.

В заключение необходимо отметить, что трубки эксплозивных брекчий, связанные с щелочными вулканоструктурами Южной Якутии, чрезвычайно привлекательны в прикладном аспекте – как рудолокализующий фактор, приоритетный объект поиска и оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абдрахманова А. Т., Леонтьев В. И., Бушуев Я. Ю. Минералого-петрографические и геохимические особенности золоторудных флюидо-эксплозивных брекчий проявления Тохто (Центрально-Алданский рудный район) // Новое в познании процессов рудообразования. – М. : ИГЕМ РАН, 2016. – С. 36–39.
2. Владыкин Н. В. Уникальный Мурунский массив ультракалиевых агпаитовых щелочных пород и карбонатитов // Прикладная геохимия. – 2005. – Вып. 7, Кн. 2. – С. 124–143.
3. Иванкин П. Ф. Морфология глубоко вскрытых магматогенных рудных полей. – М. : Недра, 1970. – 278 с.
4. Константинов М. М. Генетические типы рудоносных брекчий // Советская геология. – 1977. – № 3. – С. 124–129.
5. Константинов М. М., Некрасов Е. М., Сидоров С. Ф. и др. Золоторудные гиганты России и мира. – М. : Научный мир, 2000. – 269 с.
6. Макарьев Л. Б., Митрофанов Г. Л., Митрофанова Н. Н. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Лист О-50 (Бодайбо). Объясн. зап. – СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2010. – 612 с.
7. Мурашкевич А. Н., Жарский И. М. Теория и методы выращивания монокристаллов. – Минск : БГТУ, 2010. – 14 с.
8. Рафаилович М. С., Колоскова С. М. Эксплозивные брекчии на золоторудных и золото-медно-порфировых месторождениях Центральной Азии // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2014. – № 4. – С. 11–29.
9. Thompson T. B., Trippel A. D., Dwelley P. C. Mineralized breccias of the Cripple Creek district, Colorado // Econ. Geol. – 1985. – V. 80. – P. 1669–1688.

Андреенок А. В. (an.andreenok@gmail.com),
Станишевская Ю. Л. (www2325962@gmail.com)
ООО «СЗГГК «ГЕОКОМПЛЕКС», г. Санкт-Петербург

ВЫДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ НА ОБНАРУЖЕНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

На площади «Бобровый» Республики Коми был апробирован комплекс геофизических методов, по результатам которого были разработаны критерии, позволяющие выделить наиболее перспективные участки для обнаружения тел кимберлитового состава. Геофизические работы проводились методами магниторазведки, электроразведки установкой срединного градиента и гамма-спектрометрии. По результатам работ шесть из 11 аэромагнитных аномалий были рекомендованы под бурение как перспективные. Остальные оказались неперспективными. В статье описываются используемый комплекс геофизических критериев для решения поставленных задач, примеры интерпретации полученных данных, а также приводятся результаты выполненных работ на примере четырех аэромагнитных аномалий.

Ключевые слова: комплексирование, геофизика, поисковые работы, Республика Коми, электроразведка, гамма-спектрометрия, магниторазведка, трубки взрыва, кимберлитовые трубки.

Обоснование необходимости проведения детальных поисковых работ. В результате работ предшественников по прогнозу кимберлитового вулканизма (Н. М. Пармузин, ОАО «Интагео») на участке «Бобровый» было выделено 11 объектов, перспективных на обнаружение коренных источников алмазов. В основе прогноза лежит генетическая концепция (связь кимберлитового вулканизма с плечевыми магнитоактивными зонами авлакогенов) и метод аналогий.

При прогнозных построениях предшественников учитывались особенности локализации известных в пределах Четласского Камня проявлений кимберлитов и распространение минералов-спутников алмаза, самих алмазов, наличие полиминеральной россыпи Ичет-Ю вблизи изучаемой площади.

Исследования, проведенные В. А. Лебедевым, Б. А. Яцкевичем (1975, 1998 гг.), показали, что образование россыпи Ичет-Ю произошло в результате размыва образований Четласского Камня.

Также при прогнозе коренной алмазоносности Н. М. Пармузиным были использованы следующие основные критерии: наличие приподнятого блока фундамента, малоамплитудное поднятие в породах чехла, наличие сближенной пары разломов, наличие линейных аномалий электрических сопротивлений, природа которых связывается с повышенной безамплитудной трещиноватостью кимберлитовмещающих пород, наличие ультраосновного магматизма, наличие потоков и ореолов минералов индикаторов и самих алмазов, положительная локальная аэро-гравимагнитная аномалия.

Исходя из вышеперечисленных критериев, был выделен участок, перспективный на обнаружение коренных алмазов (рис. 1).

Краткое описание геологии района работ. Участок недр «Бобровый» расположен в районе Манского поднятия. Данная территория по структурно-фациальному районированию относится к Канино-Тиманской структурно-фациальной области и Западно-Тиманской структурно-фациальной зоне (СФЗ).

В северо-западном направлении участок пересекает Четласский (Цилемский) разлом, который представляет собой структурообразующий и рудоконтролирующий разлом – наиболее древнего и глубокого заложения.

Он разделяет участок на две крупные структуры: Цилемский вал и Четласский выступ. Эти структуры относятся к двум разным структурно-фациальным подзонам (СФПЗ), различающимся по строению разрезов: Четласско-Обдырской СФПЗ и Цилемско-Ропчинской СФПЗ. Большая часть территории участка недр «Бобровый» относится к Цилемскому валу (породы быстринской серии ($R_3 bs$)), небольшая часть участка на его северо-западе относится к Четласскому выступу (породы четласской серии ($R_2 ct$)).

Критерии определения перспективности участка. Геофизические маркеры – геофизические аномалии или особенности полей, характерные для месторождений аналогов:

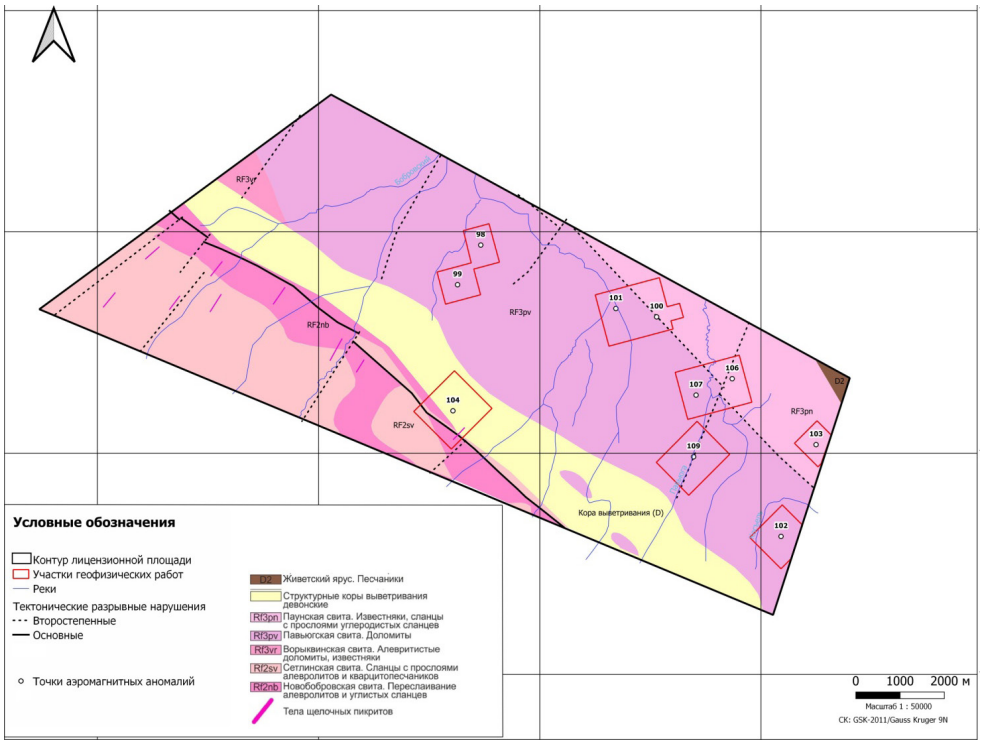


Рис. 1. Фрагмент обзорной геологической схемы лицензионного участка «Бобровый» с точками заверяемых аэромагнитных аномалий

1. Магнитные аномалии «трубочного» типа [5];
2. Концентрические, изометричные линеаментные структуры магнитного поля (МП);
3. Зона повышенной электропроводности пород [3];
4. Присутствие в области поиска превышения Th над U и K или Th/K [1, 2, 6].

Маркеры обстановок, характерные для размещения кимберлитовых трубок:

1. Разрывные нарушения, их повышенная концентрация по площади;
2. Наличие поблизости интрузий у/о состава.

Результаты работ. Участок 98-99. Участок 98-99 расположен на северо-востоке лицензионной площади, карта изолиний аномального магнитного поля (АМП) представлена на рис. 2, А.

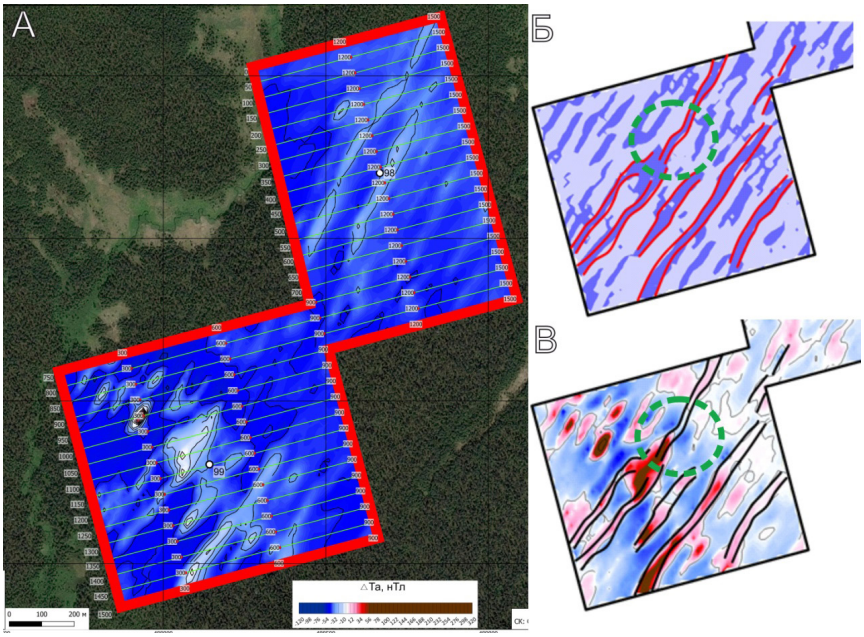


Рис. 2. А – карта изолиний АМП, Б – фрагмент использования тилт-трансформации, В – пример выделения слабопроявленных аномалий на карте локальной составляющей МП

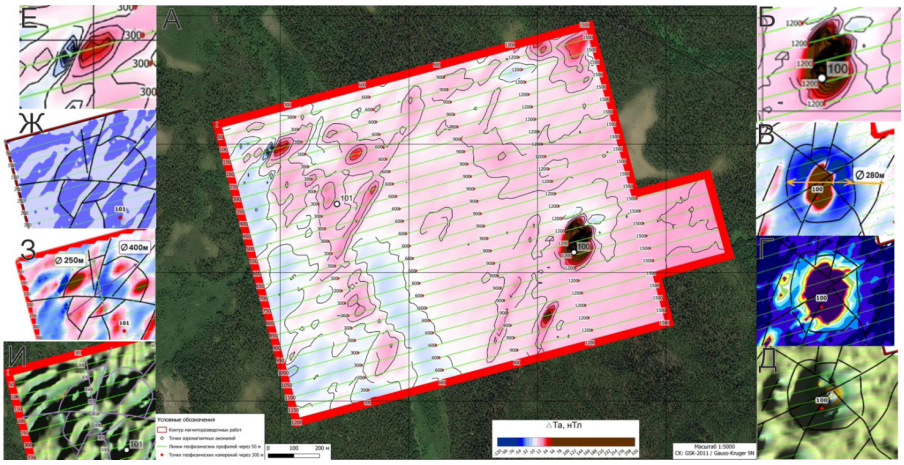


Рис. 3. А – карта изолиний АМП. Поперечный размер аномалии 100 на фрагментах карт: Б – локальной составляющей, В – аналитического сигнала, Д – горизонтального градиента. Поперечный размер аномалии 101 на фрагментах карт: Ж – тилт-трансформации, З – локальной составляющей, И – горизонтального градиента

Для всего участка характерны пониженные значения поля. Ярких магнитных аномалий не выделяется, прослеживается северо-восточное направление структур.

Для корректной интерпретации АМП необходимо исключить местный градиент. Для этого была использована фильтрация Гаусса (см. рис. 2, В). Чтобы проследить слабые линейные аномалии и выявить слабопроявленные пликативные и разрывные тектонические дислокации была применена тилт-трансформация (см. рис. 2, Б).

При заверке пешеходной съемкой аэромагнитная аномалия 99-98 не подтвердилась, она дискретизированна и представлена рядом локальных объектов.

Участок 100-101. Аэромагнитные аномалии 100-101 были заверены наземными магниторазведочными работами.

Аномалия 100 определена как перспективная: в юго-восточной части участка выделяется изометричная структура с высокими значениями положительного АМП, максимум – +355 нТл (ПР750-850 ПК110-1350) (рис. 3. Б). Для упрощения интерпретации результатов магниторазведки были построены трансформанты АМП (см. рис. 3. В, Г, Д).

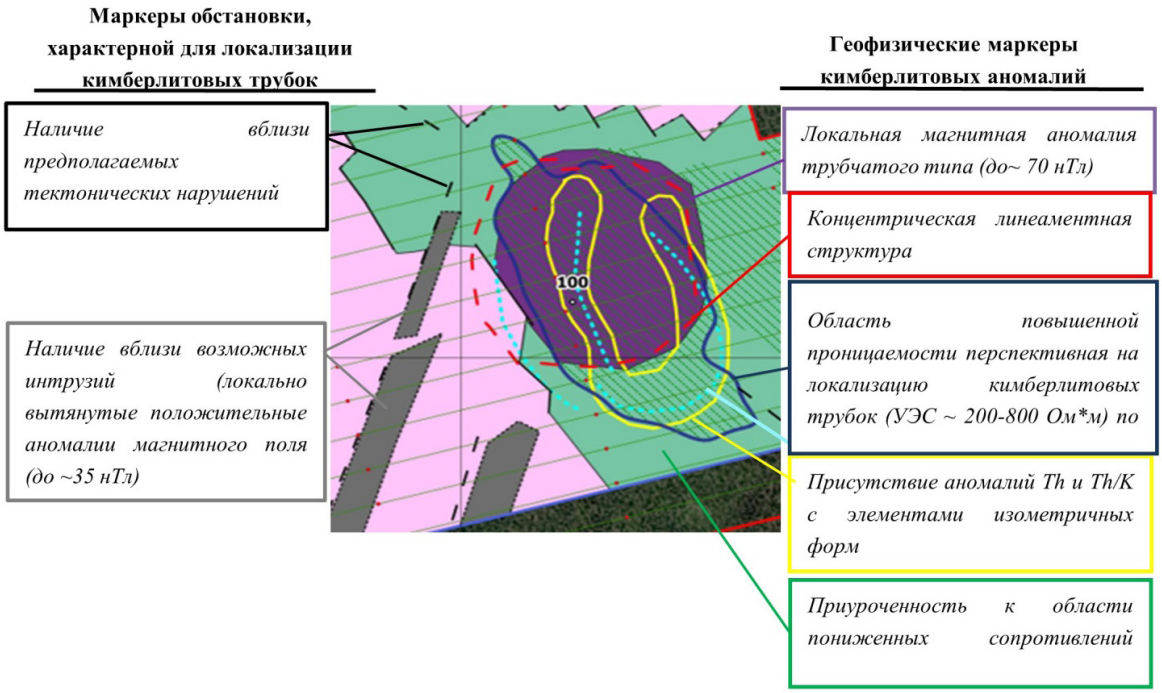


Рис. 4. Анализ маркеров обнаружения кимберлитовых трубок для аномалии 100



Рис. 5. Анализ маркеров обнаружения кимберлитовых трубок для аномалии 101

На некотором расстоянии от аномалии 101 выделяется кольцевая структура (см. рис. 3, Е). Аномалия не типична, схожее поведение магнитного поля наблюдалось над трубкой Ломоносовская – повышенные значения МП на периферии трубки и пониженные в центре [4].

Дополнительно, для подтверждения перспективности аномалии 100, был проведен анализ критериев, являющихся маркерами отражения кимберлитовых трубок в геофизических полях (рис. 4).

Для второй аномалии (101) также проводился анализ маркеров, наиболее благоприятных для обнаружения кимберлитовых объектов (рис. 5).

Заключение. По результатам работ две из четырёх аномалий были рекомендованы к заверке. Аномалии 99-98, вероятнее всего, являются рядом линейных дайкообразных образований северо-восточного направления. Аномалия 100 является наиболее перспективной на обнаружение кимберлитовых тел, а 101 имеет нетипичное отражение в МП, поэтому рекомендуется к заверке во вторую очередь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бабаянц П. С., Блох Ю. И., Зубов Е. И. [и др.] Интерпретация аэрогеофизических данных при поисках месторождений твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. – 2006. – № 5. – С. 18−26.
2. Леденгский Р. А., Рихванов Л. П. Использование методов гамма-спектрометрии для выделения слабомагнитных алмазоносных кимберлитов // Месторождения полезных ископаемых. Методика поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Геоинформационные системы в геологии. – Томск, 2016. – С. 230–232.
3. Никитин А. А., Бродовой В. В. Комплексирование методов разведочной геофизики: Справочник геофизика. – М. : Недра, 1984. – 386 с.
4. Устинов В. Н., Микоев И. И., Пивень Г. Ф. Поисковые модели коренных месторождений алмазов севера Восточно-Европейской платформы // Записки Горного института. – 2022. – № 255. – С. 299–318.
5. Хмелевской В. К., Костицын В. И. Геофизика. – Пермь : Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2018. – С. 98–147.
6. Mwenifumbo C. J., Kjarsgaard B. A. Gamma-ray logging and radioelement distribution in the Fort de la corne kimberlite pipe 169 // Exploration and Mining Geology. – 1999. – P. 137−147.

Антонов А. Е. (alexander.e.antonov@gmail.com)
Институт геологии и геофизики имени Х. М. Абдуллаева, г. Ташкент, Республика Узбекистан

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ: ВОЗМОЖНОСТИ ОТКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА КЫЗЫЛКУМСКОГО ТИПА

Посвящается памяти Геннадия Николаевича Гамянина – выдающегося исследователя рудных месторождений Якутии

На основе сопоставления с Кызылкумской золоторудной провинцией (Узбекистан) оценены перспективы обнаружения крупных и сверхкрупных месторождений золота в Восточной Якутии. Обе провинции принадлежат к складчато-надвиговым системам на месте закрывшихся палеоокеанов – соответственно палеозойского Туркестанского и мезозойского Южно-Анюйского. В обеих провинциях имеются перспективы дальнейшего выявления крупных месторождений, в том числе с «невидимой» минерализацией типа Карлин в Неваде (США).

Ключевые слова: золоторудная провинция, Кызылкумы, Восточная Якутия, Карлин-тренд, ОЧВП.

Как и в Неваде, в Кызылкумской провинции Южного Тянь-Шаня и в Восточно-Якутской провинции золоторудные месторождения образуют тренды, контролируемые региональными структурами. Намечены десять золоторудных трендов, девять из них конформны общему простиранию Южно-Тянь-Шанского складчатого пояса, один – поперечный [12]. Позиция сверхкрупного месторождения Мурунтау контролируется пересечением Мурунтау-Айракского тренда с поперечным Мурунтау-Даугызтау [1].

В Восточно-Якутском металлогеническом поясе (ВЯМП) (рисунок), выделены семь наиболее перспективных линейно вытянутых трендов (рудных зон, или районов), конформных простиранию Верхоянской складчато-надвиговой системы, – от Дьяндинско-Охонсойского и Куларского на севере, вблизи Лаптевоморского побережья, до Юрско-Бриндакитского и Нявленгинского на юге, вблизи пересечения с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом (ОЧВП) [1, 10]. Месторождения и рудопроявления этих районов имеют значительные черты сходства с оруденением кызылкумского типа и типа Карлин в Неваде.

Мы рассматриваем ВЯМП как континентальное звено сквозной океанически-континентальной минерагенической системы [2], включающей также подводный хребет Гаккеля и Лаптевоморскую структуру шельфа.

В Кызылкумской провинции сопряженные со складчатостью продольные разломы, характеризуемые в качестве зон смятия, относят к числу главных рудоконтролирующих элементов. По П. Ф. Иванкину и др. [6], они отвечают зонам пластического рассланцевания с переходом их вверх по восстанию в веерно-каркасную систему вязких разломов, сложенных углеродистыми катаклазированными, милонитизированными породами.

По мнению Т. Ш. Шаякубова и др. [6], основной особенностью месторождения Мурунтау является приуроченность к пересечению рудовмещающей «пестро-бесапанской» подсвиты (O–S) крутопадающими разломами субширотного и северо-восточного простирания. Эта подсвита, отличающаяся частым переслаиванием песчаников, сланцев и алевролитов, обладает максимальной внутренней контрастностью свойств пород по отношению к деформациям, что благоприятно для рудолокализации.

На большинстве кызылкумских месторождений основная часть золота представлена микровключениями в пирите и арсенопирите, за исключением Мурунтау, где много свободного золота в составе основной продуктивной шеелит-золото-карбонат-хлорит-калишпат-кварцевой ассоциации.

На пересечении Восточно-Якутского пояса с ОЧВП образовались два сверхкрупных месторождения золота с запасами более 500 т – Нежданинское и Наталка.

Оруденение Нежданинского месторождения, как и кызылкумских месторождений, относится преимущественно к прожилково-вкрапленному типу, при содержании сульфидов до 3 % (преимущественно арсенопирит, меньше пирит). По данным Г. Н. Гамянина [4], месторождение

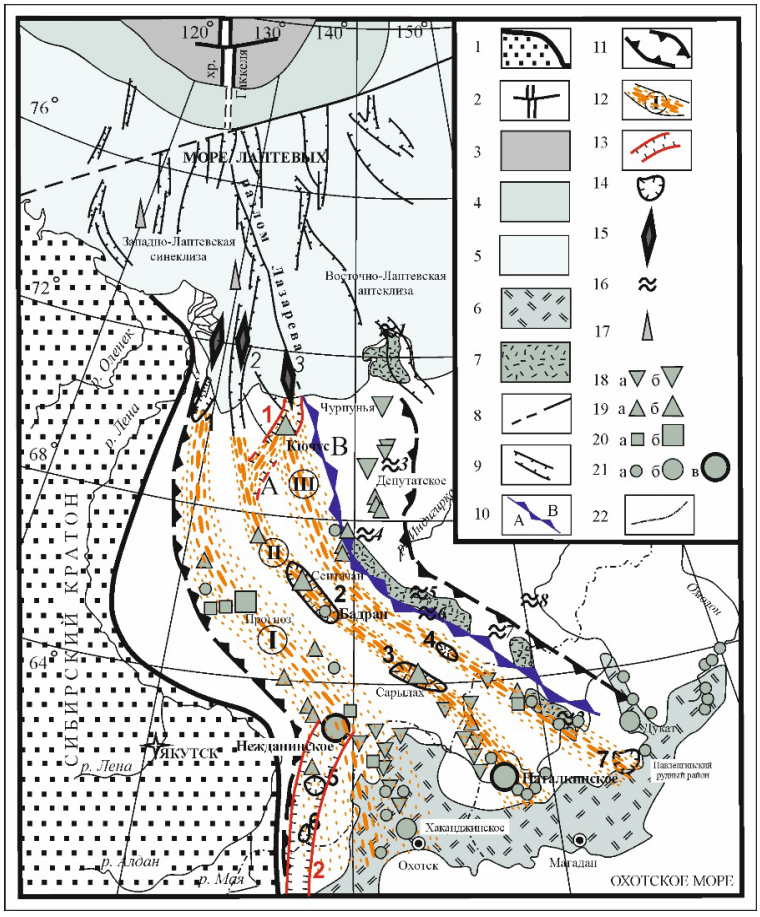


Рисунок. Схема металлогенических зон Восточной Якутии. Составил А. Е. Антонов по материалам Л. М. Парфенова, Г. Н. Гамянина и др. (2001), Н. А. Малышева и др. (2010):
1 – Сибирский кратон; 2 – хребет Гаккеля; 3 – Евразийский океанический бассейн; 4 –континентальный склон; 5 – шельф; 6 – Охотско-Чукотский окраинно-континентальный позднемеловой вулканический пояс; 7 – вулканические пояса юрского возраста; 8 – трансформный разлом; 9 – рифтовые впадины; границы: 10 – юго-западного (А) и северо-восточного (В) секторов, 11 – Восточно-Якутского металлогенического пояса, 12 – металлогенических зон (I – Верхоянская, II – Тарынская, III – Нижнеянско-Селянняхская), 13 – металлогенических подзон (1 – Куларская, 2 – Аллах-Юньская); 14 – перспективные рудные районы: 1 – Дьяндинско-Охонсойский, 2 – Бадранский, 3 – Туора-Тасский, 4 – Интахский, 5 – Булар-Оночолохский, 6 – Юрско-Бриндакитский, 7 – Нявленгинский; 15 – рифты: 1 – Усть-Ленский, 2 – Омолойский, 3 – Усть-Янский; 16 – массивы офиолитов: 1 – Шалауровский, 2 – Дебинский, 3 – Уядинский, 4 – Мунилканский, 5 – Кабытыгаский, 6 – Индигирский, 7 – Гарыньский, 8 – Увязкинский; 17 – перспективные нефтегазоносные области; месторождения: 18 – Sn, W, Mo; 19 – Au, Sb, Hg; 20 – Ag, Pb, Zn; 21 – Au, Ag; 22 – административные границы

сформировано в три этапа – гидротермально-метаморфогенный, гидротермальный золото-кварцевый и серебро-полиметаллический. В первый этап сформировались метаморфогенные кварцевые жилы с убогой сульфидной (менее 1 %) минерализацией с содержаниями золота до 2 г/т. В основной продуктивный этап образовались золотоносные березиты с жильной пирит-аренопирит-кварцевой, халькопирит-галенит-сфалеритовой, блеклорудно-сульфоантимонитовой минерализацией.

К югу от Нежданинского района в Аллах-Юньской металлогенической зоне размещаются перспективные Булар-Оночолохский и Юрско-Бриндакитский золоторудные районы [10], в которых усматриваются признаки сходства с крупномасштабными месторождениями Тянь-Шаня, включая Мурунтау.

Вытянутый в меридиональном направлении, согласно простиранию металлогенической зоны, Юрско-Бриндакитский район протяженностью 35 км сложен смятыми в складки верхнепалеозойскими (C_2–P_1) пачками песчано-сланцевых отложений общей мощностью 1200–2200 м.

По данным В. Ю. Фридовского [10], к нижним частям пачек приурочено многоярусное оруденение в зонах скалывания, сопряженных со складчатостью.

В Кызылкумской провинции значительные перспективы дальнейших обнаружений также связываются с трендами, тяготеющими к краевым частям Южно-Тянь-Шанской покровно-складчатой системы – Кокпатас-Окжетпесским и Восточно-Кульджуктауским. Первый прослеживается в северной части провинции вдоль границы Казахского континента на расстоянии около 50 км. Важные характеристики сближают Кокпатасское рудное поле с месторождениями типа Карлин – значительное участие в разрезе рудовмещающих толщ карбонатных отложений, присутствие тонкодисперсного коллоидного золота, наличие ртутной минерализации [13]. Региональная позиция Восточно-Кульджуктауского тренда определяется приуроченностью к краевой части Каракумо-Таримского континента. Месторождения золота (Таушан, Янгиказган и др.) локализованы преимущественно в узлах пересечения разрывных нарушений субширотного и северо-восточного простираний. Перспективы тренда на обнаружение крупных месторождений золота весьма значительны. Обращает на себя внимание наличие в пределах тренда ртутных проявлений среди карбонатных отложений силура и нижнего девона, что является одним из признаков золотой минерализации типа Карлин.

При этом в связи с летучестью ртути следует иметь в виду возможность частичной потери ее первичных концентраций в процессе деформации горных пород [8].

Для месторождений ВЯМП также характерна ртутная специализация [3]. При этом ртуть рассматривается в качестве индикатора участия ртутьсодержащих мантийных флюидов в формировании месторождений [7].

Основная часть известных ртутных и ртутьсодержащих месторождений территории (Гал-Хая, Балгикакчанское, Звездочка, Кючус, Арбат, Яшка и др.) локализуется в краевых зонах ВЯМП – Нижнеянско-Селенняхской на востоке и Екюччу-Чекурдахской, Хандыгской на западе.

Самое крупное ртуть-сурьмусодержащее месторождение золота ВЯМП – Кючус – представлено минерализованными зонами мощностью до 15 м при протяженности до 3,8 км в терригенных отложениях среднего триаса. Ртутная минерализация представлена самородной ртутью, киноварью, при наличии метациннабарита, реальгара, аурипигмента, в то время как включения арсенопирита и пирита в джаспероидах и березитах являются основными минералами-носителями золота.

Главные рудные минералы – сульфиды (6–7 %) – в основном арсенопирит, пирит, а также халькопирит, антимонит, киноварь. Золото субмикроскопическое высокопробное (960–970‰), образует тонкие включения в сульфидных минералах.

При среднем содержании золота в руде около 9 г/т, а ртути 0,03 % кларк концентрации (КК) ртути выражается цифрой порядка 3600, а золота – 2100, то есть концентрация ртути по сравнению со средним содержанием в земной коре в рудах Кючуса существенно превышает таковую золота, которое по экономической значимости является главным и практически единственным полезным компонентом руд.

Далее к юго-востоку вдоль Омулевского террейна, сложенного преимущественно карбонатными породами нижнего и среднего палеозоя, протягивается Уяндино-Ясачненский ртутный пояс, включающий Догдинский и Сакынджинский рудные районы с многочисленными золото-ртутными месторождениями и рудопроявлениями.

Второй ртутный пояс, насчитывающий около трех десятков месторождений и рудопроявлений ртути, тяготеет к западной периферии Верхояно-Колымской орогенной области – к интенсивно дислоцированному Верхоянскому складчато-надвиговому поясу.

Считая ртуть индикатором глубинности процесса рудообразования, можно отнести краевые зоны ВЯМП с ртутными поясами к его наиболее глубинным частям, коррелирующим с главными рифтовыми структурами Западно-Лаптевской синеклизы континентального шельфа и всей Гаккель-Лаптевоморско-Восточноякутской сквозной океанически-континентальной минерагенической системы. Эти зоны следует считать весьма перспективными для дальнейшего выявления крупных месторождений цветных и благородных металлов, а также нефти и газа.

Наталкинское месторождение в Магаданской области, второе по запасам золота в России, размещается на юго-восточном окончании Тарынской металлогенической зоны Восточно-

Якутского металлогенического пояса вблизи его пересечения с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом.

Локализация месторождения определяется Тенькинским глубинным разломом – сбросо-сдвигом, к которому приурочено несколько рудных узлов, в том числе Омчакский с месторождением Наталка [5, 11] в осадочно-терригенном комплексе пород пермского возраста.

Как и на Мурунтау, между основными разрывными структурами сформировалась мощная протяженная минерализованная взбросо-сдвиговая зона с углеродистыми милонитами и сульфидной вкрапленностью (арсенопирит, пирит и др.). Эта мощная зона смятия, трещиноватости, дробления вмещает золотоносные кварцевые и кварц-карбонатные прожилки, образующие штокверк, погружающийся на северо-восток.

Нявленгинский рудный район находится в сходной структурной позиции с Нежданинским и Наталкинским рудными районами – на пересечении одной из трех металлогенических зон ВЯМП с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом. Здесь предполагается наличие еще одного сверхкрупного месторождения золота [11].

К числу важных задач дальнейшего изучения золоторудных месторождений Узбекистана и Якутии относится также установление масштаба распространения «невидимой», наноразмерной золотой минерализации «типа Карлин», часть которой может теряться в процессе переработки руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Антонов А. Е. Сверхкрупные месторождения золота России и Узбекистана: перспективы новых открытий // Золото и технологии. – 2020. – № 4. – С. 30–38.
2. Антонов А. Е., Гамянин Г. Н. Сквозная океанически-континентальная минерагеническая система (СОКС) Якутии // Отечественная геология. – 2015. – № 6. – С. 52–59.
3. Галкин М. А. Ртутная формация Якутии / Строение земной коры Якутии и закономерности размещения полезных ископаемых. – М. : Наука, 1969. – С. 302–308.
4. Гамянин Г. Н., Бортников Н. С., Алпатов В. В. Нежданинское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М. : ГЕОС, 2001. – 230 с.
5. Гамянин Г. Н., Горячев Н. А. Близповерхностное оруденение Восточной Якутии // Тихоокеанская геология. – 1988. – Т. 7, № 2. – С. 82–89.
6. Золоторудное месторождение Мурунтау / Под ред. Т. Ш. Шаякубова. – Ташкент : Фан, 1998. – 539 с.
7. Озерова Н. А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М. : Наука, 1986. – 231 с.
8. Степанов И. И., Стахеев Ю. И., Мясников И. Ф., Сандомирский А. Я. Новые данные о формах нахождения ртути в горных породах и минералах // Доклады АН СССР. – 1982. – Т. 266, № 4. – С. 1007–1011.
9. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. М. И. Кузьмин, Л. М. Парфенов. – М. : Наука/Интерпериодика, 2001. – 571 с.
10. Фридовский В. Ю. Золотоносные структуры Верхояно-Черского коллизионного орогенного пояса // Известия вузов. Геология и разведка. – 1998. – № 3. – С. 52–62.
11. Antonov A. E., Gamyanin G. N., Radchenko Yu. I. Factors of Localisation of Super-Large Gold Deposits in the Russian North-East / 14th SGA Biennial Meeting August 20–23, 2017, Quebec City, Canada. – P. 119–123.
12. Antonov A. E., Nurtaev B. S. Typical features of Carlin type gold deposits (CTGD) – how consistent are they? KTGD (Kyzylkum type gold deposits), Uzbekistan, Southern Tien-Shan, vs CTGD / Proceedings of the 16th SGA Biennial Meeting, 28–31 March, 2022. – 2:5-8.
13. Cline J. S., Hofstra A. H., Muntean J. L., Tosdal R. M., and Hickey K. A. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geologic characteristics and viable models // Economic Geology. 100th anniversary volume. – 2005. – P. 451–484.

Аптин И. Н.
Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), г. Москва

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ И ПЕРЕОТЛОЖЕНИИ ДРЕВНИХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ БУШВЕЛЬДСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮАР)

На примере Бушвельдского комплекса (ЮАР) рассматриваются признаки формирования и переотложения древней коры выветривания по платиноносным породам.

Ключевые слова: Бушвельдский комплекс, Ватербергские жилы, платина, палладий, кора выветривания, переотложение, палеороссыпь.

В 2008 г. автором был начат сбор материалов для написания диссертации на соискание степени PhD в Университете Западного Кейпа (ЮАР). К сожалению, работа над диссертацией была прервана по независящим от автора обстоятельствам на стадии сбора полевых материалов. Тем не менее, полученные данные представляют определенный интерес. Приводимые в данном докладе данные, полученные автором в ходе полевых и лабораторных работ, ранее не публиковались.

Объектом изучения был выбран процесс переотложения металлов платиновой группы и золота, высвобождавшихся из минеральной в самородную форму при выветривании пород Бушвельдского комплекса (ЮАР). Так как породы Бушвельдского комплекса выходят на дневную поверхность с протерозоя [3] и в течение длительного времени подвергались процессам выветривания и эрозии, то объемы высвободившихся в ходе экзогенных процессов металлов платиновой группы и золота могут быть весьма значительны. Не исключено, что при разрушении древних кор выветривания, содержавших металлы платиновой группы и золото в самородной форме, происходило их накопление в древних россыпях, которые теоретически могут быть обнаружены в осадочных отложениях, в формировании которых принимал участие материал размыва древних кор выветривания, формировавшихся по платино- и золотоносным породам Бушвельдского комплекса.

Отправной точкой полевых работ было выбрано отработанное месторождение, известное в литературе под названием «Ватербергские жилы». Месторождение было открыто в 1923 г. в Трансваале, в 13 км к ЗСЗ от города Naboomspruit. Жилы обнаружены в пределах крупной разломной зоны Thabazimbi-Murchison-Lineament в фельзитах и фельзитовых туффах, отнесённых к Бушвельдскому комплексу, и датированы как пост-Кару (Супергруппа Кару – поздний мел–ранняя юра). Их минеральный состав следующий: кварц, халцедон, гематит, хромистые хлориты, слюда, платина, палладий, отдельные зерна окисленого пирита (?), монацит [2–4]. Тесная ассоциация между платиной и монацитом отмечена как «очевидная, но загадочная» [3]. Содержание платины достигало 5,2 кг/т. В некоторых участках среднее содержание достигало 435 г/т. Платина встречалась как в самородном виде, так и в виде платино-палладиевых сплавов. Было отмечено, что самородная платина данного месторождения представляла собой едва ли не наиболее чистую платину, когда-либо встречавшуюся в природе [3].

Несмотря на то, что платиновая минерализация в жилах прослеживалась на несколько километров, разрабатывался только один объект, имевший промышленные запасы. Участок с промышленными запасами имел протяженность порядка 500 метров. На глубине 8–9 м жилы резко выклинились, и разработка месторождения была остановлена в 1926 г. [1–4].

По мнению автора, описанное месторождение является исходно плотиковой частью палеороссыпи, подвергшейся впоследствии гидротермальной проработке. Исходя из этого предположения автором был пройден ряд маршрутов в предполагаемом направлении сноса материала во время формирования россыпи. В ходе полевых работ установлено:

1. Формирование отложений базальной части группы Ватерберг (начало формирования приблизительно 2045 млн лет) [5] в районе работ производилось водными потоками, систематически менявшими характер энергетики (возможно сезонными).

2. Ко времени начала отложения базального горизонта Ватербергской свиты по платиноносным породам Бушвельдского комплекса была сформирована кора выветривания полного латеритного (?) профиля, включая железную кирасу.

3. Цемент обломочного материала подошвы базального горизонта Ватербергской свиты в районе работ состоит из высокожелезистых продуктов размыва железной кирасы и подстилающего горизонта коры выветривания.

4. Вверх по разрезу базального горизонта Ватербергской свиты в районе работ количество железа резко уменьшается, а литологический состав пород позволяет предположить, что они сложены перемещенным материалом нижележащих горизонтов упомянутой коры выветривания. Размывавшиеся ранее верхние горизонты коры выветривания отлагались в подошве базального горизонта Ватербергской свиты, нижележащие горизонты коры выветривания по мере их размыва отлагались в вышележащих слоях. Таким образом, материал базального горизонта Ватербергской свиты в районе работ имеет вид «перевернутой» коры выветривания.

5. Во всех подвергшихся исследованиям 14 аншлифах ватербергских песчаников, гравелитов и конгломератов установлено наличие мелких (1–30 мк) зерен минералов платиновой группы в количестве до 15–16 зерен на мм^2. В девяти аншлифах установлено наличие мелких (0,5–10 мк) зерен самородного золота. В одной из 12 проб, проанализированных масс-спектральным методом, установлено рудное содержание платины – 3,1 г/т. Пробирный анализ семи проб из терригенных пород показал, что в каждой из них содержание палладия составляет от 0,2 до 0,3 г/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. The Mineral Resources of South Africa. – Silverton : Council for Geoscience, 1998. – Handbook 16. – 740 p.
2. Martini J. E. J. Hydrothermal veins and pre-Waterberg palaeogossans in the Bushveld granite of Blackwood Camp, Transvaal // South African Journal of Geology. – 1990. – 93. – P. 754–760.
3. McDonald I., Vaughan D. J., Tredoux M. Platinum mineralization in quartz veins near Naboomspruit, central Transvaal // South African Journal of Geology. – 1995. – 98. – P. 168–175.
4. McDonald I., Ohnenstetter D., Rowe J. P., Tredoux M., Pattrick A. D., Vaughan D. J. Platinum precipitation in the Waterberg deposit, Naboomspruit, South Africa // South African Journal of Geology. – 1999. – 102. – P. 184–191.
5. Huthmann F. M., Yudovskaya M. A., Frei D., Kinnaird J. A. Geochronological evidence for an extension of the Northern Lobe of the Bushveld Complex, Limpopo Province, South Africa // Precambrian Research. – 2016. – V. 280. – P. 61–75.

Ахмадов Ш. И. (shokirbekaxmadov@gmail.com), Гоипов А. Б. (goipov9700@mail.ru), Муротов Ф. Б. (feruzmurotov19@gmail.com)

ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент, Республика Узбекистан

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ЭНДОГЕННОЙ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГОР БУКАНТАУ

В данной статье приведена информация об основных рудовмещающих свитах гор Букантау и влиянии литологического фактора в эндогенном оруденении. Среди проявлений эндогенной рудной минерализации в районе выделяются следующие типы: редкоземельная минерализация, медно-молибденовое оруденение, золото-сульфидно-вкрапленное оруденение, золоторудная минерализация кварцево-жильных образований и метасоматически измененных пород, серебряно-сурьмяная и медная минерализация в кварцевожильных образованиях и окварцованных породах, медная минерализация, медные проявления в кремнистых породах.

Ключевые слова: горы Букантау, литологический фактор, рудная минерализация, карашахская и кокпатасская свиты, измененные породы.

Горы Букантау относятся к геологически хорошо изученным районам, где на протяжении века проводились геологические исследования различными учеными. Исходя из этого предложено несколько стратиграфических схем домезозойских отложений (Пятков и др., 1957 ф, 1967 ф,

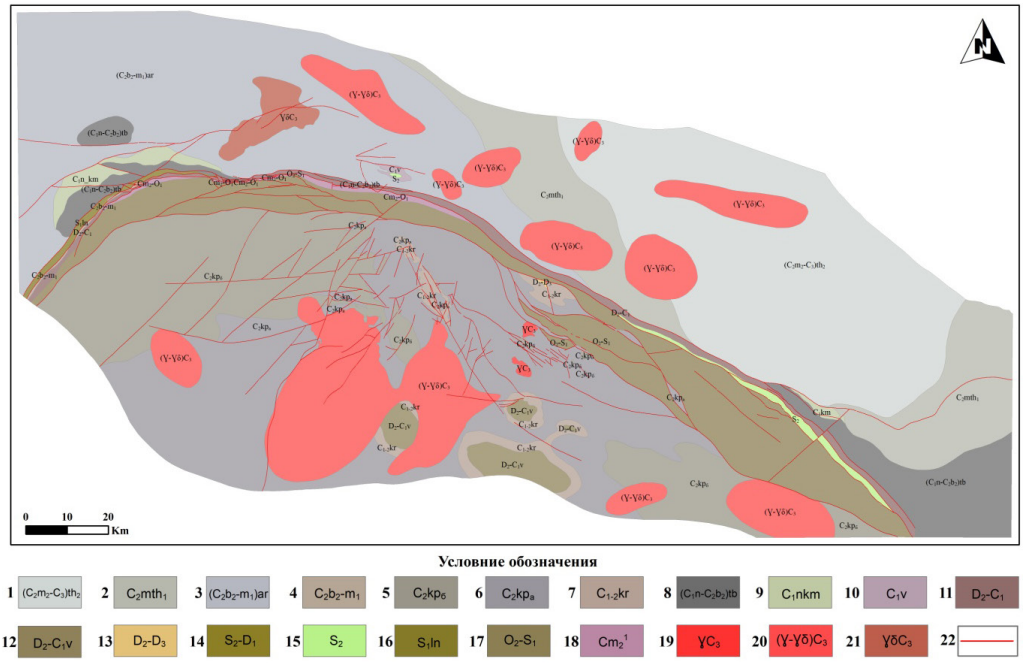


Рис. 1. Схематическая геологическая карта гор Букантау масштаба 1 : 200 000 со снятым чехлом мезо-кайнозойских отложений (по материалам Н. И. Крилова, А. А. Рубанова, А. К. Воронкова):
1 – верхнемосковский ярус среднего отдела – верхний отдел, тохтатауская свита, верхняя подсвита; 2 – московский ярус среднего отдела, тохтатауская свита, нижняя подсвита; 3 – верхнебашкирский–нижнемосковский подъярусы среднего отдела, архарская свита; 4 – верхнебашкирский–нижнемосковский подъярусы среднего отдела: 5 – средний отдел, кокпатасская свита, терригенная толща, 6 – средний отдел, кокпатасская свита, кремнисто-терригенная толща; 7 – нижний–средний отделы, карашахская свита; 8 – намюрский ярус нижнего отдела–нижнебашкирский подярус среднего отдела, тубабергенская свита; 9 – намюрский ярус нижнего отдела, кумбулакская свита; 10 – визейский ярус нижнего отдела; 11 – средний отдел девонской–нижний отдел каменноугольной систем; 12 – средний отдел девонский–визейский ярусы нижнего отдела каменноугольной системы; 13 – верхний отдел силурийской–нижний отдел девонской системы; 14 – средний–верхний отделы девонской системы; 15 – верхний отдел силурийской системы; 16 – лландоверский ярус нижнего отдела силурийской системы; 17 – средний отдел ордовикской–нижний отдел силурийской систем; 18 – нижняя часть среднего отдела кембрийской системы; 19 – граниты; 20 – граниты и гранодиориты; 21 – гранодиориты; 22 – разломы

1971 ф; Лихачев и др., 1962; Швей и др., 1965 ф; Ахмеджанов и др., 1967а, 1970-г. и др.). Основные различия в схемах касаются датировки новых или фаунистически слабо охарактеризованных толщ: кумбулакской, кокпатасской, коксайской свит и др. (рис. 1). Основными рудовмещающими свитами являются кокпатасская и карашахская [3].

Карашахская свита – $C_{1–2}$*kr* нижний–средний отделы. Название предложено В. И. Зоновым и др. (1969ф) для обозначения бывших аналогов «архарской» свиты гор Кокпатас (Южнобукантауская зона). Породами карашахской свиты почти полностью контролируется размещение золото-сульфидного оруденения Кокпатасского рудного поля, поэтому изучение свиты имеет большое значение для оценки золотоносности района.

Отложения Карашахской свиты распространены в центральной части Кокпатасских гор, обнажаясь на крыльях Кокпатасской и Бозтауской брахиантиклиналей. Отложения, которые по характеру осадков и положению в разрезе являются аналогами карашахской свиты, выделяются в горах Окжетпес в районе сел Бешбулак и Огузтау. Сложена свита преимущественно терригенными осадками, среди которых повсеместно (в разных пунктах на разных уровнях) в переменных количествах присутствуют вулканогенные и карбонатные образования. Состав свиты разнообразен: алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты, различные сланцы, спилиты, диабазы, их туфы, кремнистые породы, известняки, доломиты и другие разновидности пород. Окраска зелено-цветная и темноцветная за счет присутствия углисто-графитового вещества.

Средний отдел каменноугольной системы. Кокпатасская свита – C_2kr. В кокпатасскую свиту К. К. Пятковым и др. (1957ф) выделены кремнисто-терригенные осадки – переслаивающиеся кремнистые породы, кварциты, песчаники, алевролиты с линзами и прослоями известняков и доломитов, распространенные в центральной части района (Южнобукантауская зона). К кокпатасской свите отнесены также сланцево-песчано-алевролитовые образования, развитые на Аякащи-Айтым-Аксайской площади (западные и юго-западные предгорья гор Джаманкаскыртау и Улькенкаскыртау). Эта толща, ранее относившаяся к коксайской свите, является аналогом кокпатасской свиты в терригенной фации, что подтверждается следующими фактическими данными. Комплекс полезных ископаемых, характерных для Букантауского района, представлен золотом, бирюзой, сурьмой, медью, бокситами, редкими землями, молибденом. Определяющими металлогенический облик описываемой территории являются золото и медь. Благодаря открытию в последние годы Кокпатасской группы месторождений золота Букантау выдвигается в число крупных золоторудных районов [1].

Среди проявлений эндогенной рудной минерализации в районе выделяются следующие типы: 1) редкоземельная минерализация, связанная с пегматитами (Алтынтау); 2) медно-молибденовое оруденение, пространственно совмещенное со скарнами, скарнированными и ороговикованными породами (Оразалы); 3) золото-сульфидно-вкрапленное оруденение, сопровождающееся зонами гидротермально-метасоматически измененных пород альбит-серицит-кварц-карбонатного состава (Кокпатасское рудное поле); 4) золоторудная минерализация кварцево-жильных образований и метасоматически измененных пород: А – в метаморфогенных кварцевых жилах, без видимых изменений вмещающих пород (золоторудные проявлении Аякащи-Айтым-Аксайской, Турбайской, Джетымтауской площадей, месторождения Айтым), Б – в гидротермальных кварцевых жилах и сопряженных с ними окварцованных породах (участки Центральный и Кварцевый Кокпатасского рудного поля, Окжетпес, возможно, рудная зона № 3 месторождения Айтым); 5) серебряно-сурьмяная и медная минерализация в кварцевожильных образованиях и окварцованных породах (Кокпатас, участки Серебряные Кокпатасского рудного поля, Ирлир, Аксай, Архар, Окжетпес, Турбай); 6) медная минерализация метасоматически измененных пород алунит-гидрослюдисто-кварцевого состава (Каскыртау); 7) медные проявления в кремнистых породах кокпатасской свиты и конгломератах архарской свиты. Таким образом, рудная минерализация в районе связывается с пегматитовыми и кварцевыми жилами или размещается в осадочных и вулканогенных толщах, часто сопровождается зонами гидротермально-метасоматических измененных пород (рис. 2) [2].

Пегматиты и связанная с ними редкоземельная минерализация: максимальная концентрация пегматитовых жил приурочена к восточному контакту Алтынтауского интрузива (здесь они встречаются через 2–5 м). На расстоянии 0,5–1 км в обе стороны от контакта они отсутствуют. Средняя мощность пегматитовых жил 0,5–1 м, протяженность составляет первые метры или десятки метров. В экзоконтакте они более протяженные и часто более мощные. Внутри интрузива какая-либо закономерность в ориентировке жил не установлена.

Контактово-метаморфические породы и связанная с ними рудная минерализация: по редким прослоям, линзам известняков и карбонатизированных песчаников на контакте с интрузивами развивается скарнирование или кварц-эпидотовое и известково-силикатное ороговикование. В контакте с дайками известны маломощные зоны «закалки», в районе Кокпатаса – слабая альбитизация. Максимальная мощность контактовых ореолов отмечена вокруг Бокалинского и Алтынтауского интрузивов; здесь же установлено самое интенсивное проявление метаморфизма. Ореолы вокруг Кокпатасского интрузива и штоков в горах Турбай проявлены несколько слабее. Метаморфизм наложен на породы кокпатасской свиты, в результате чего возникли кварцевые роговики и ороговикованные сланцы. Единственными контактово-метаморфическими образованиями, благоприятными для размещения рудной минерализации, являются скарны или сканированные породы. Они наиболее проявлены в юго-западном экзоконтакте Бокалинского интрузива, в районе к. Оразалы. К ним приурочена медно-молибденовая минерализация (проявление Оразалы). Скарновые образования в районе изучены недостаточно, и говорить об отрицательных результатах пока не следует.

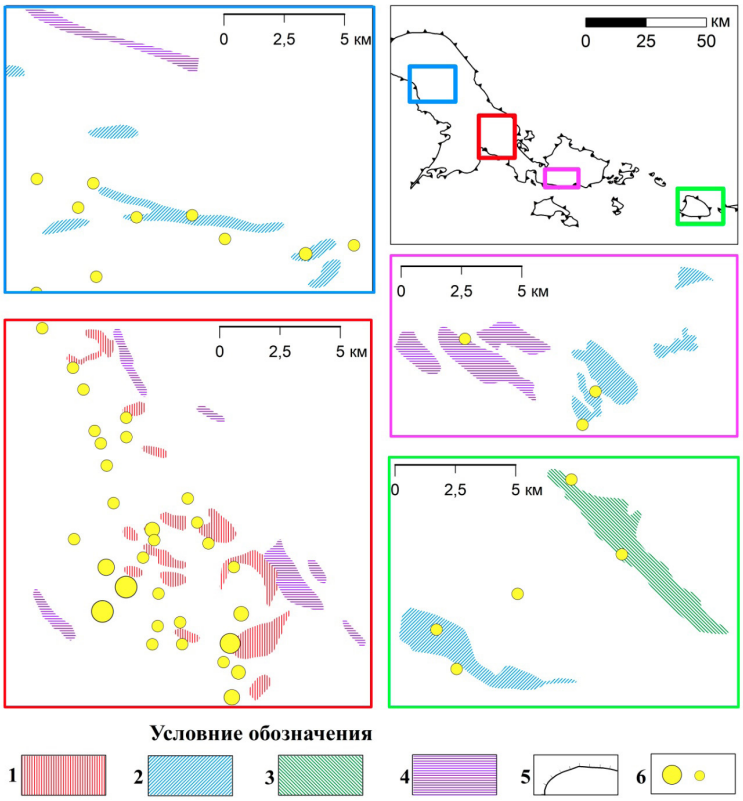


Рис. 2. Схематическая карта гидротермально измененных пород территории обрамления Букантауских гор:
1–4 – измененные породы: 1 –хлорит-альбит-кварц-карбонатного состава, 2 – полевошпат-слюдисто-кварцего состава, 3 – слюдисто-кварц-карбонатного состава, 4 – породы алунит-глинисто-слюдистого состава; 5 – границы выхода палеозоя; 6 – известные месторождения и рудопроявления; контуры: синий – Айтимское, красный – Кокпатаское, фиолетовый – Окжетпеское, зеленый – Жетимтоуское рудные поля

Кварцево-жильные образования и связанная с ними рудная минерализация: эти широко развитые образования представлены телами, различными по форме, размерам, условиям залегания, минеральным комплексам и генезису. По генетическим и морфологическим признакам они разделены на две группы – метаморфогенную и гидротермальную. Определение принадлежности кварцевых жил к той или иной группе представляет значительную трудность. В полевых условиях основными признаками для отнесения кварцевых образований к гидротермальной группе являлось размещение их в зонах тектонических нарушений, прямолинейная форма тел, сопряженность с зонами метасоматического изменения пород и сложный минеральный состав. Метаморфогенная группа характеризуется сложной конфигурацией кварцевых выделений, преимущественно субсогласным характером их залегания, сравнительно простым минеральным составом, отсутствием каких-либо сопровождающих изменений. Все эти признаки условны и иногда трудно различимы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ахмадов Ш. И. [и др.]. Космогеологические исследования по территории Западной и Центральной части гор Букантау в масштабе 1 : 50 000. Отчет. – Ташкент, 2021.
2. Дементеенко Л. И., Киндерова Л. П., Шпак А. А. и др. Выделение первоочередных прогнозных площадей на золото и другие полезные ископаемые в пределах гор Букантау на основе создания и обработки базы данных геолого-геофизической, геохимической и дистанционной информации методами районирования полей и технологий компьютерного прогноза. Отчет. – Ташкент, 2007.
3. Рудные месторождения Узбекистана: сборник. – Ташкент, 2001.

Ащепков И. В. [1] (igora57@mail.ru), Граханов С. А. [2] (s.grakhanov@yandex.ru), Костровицкий С. И. [3] (serkost@igc.irc.ru), Бабушкина С. А. [4] (ssta@list.ru), Иванов А. С. [4] (asivan@mail.ru), Шелков П. Н. [5] (pshelkov1649@yandex.ru), Логвинова А. М. [1] (logv@igm.nsc.ru)

[1] ФБГУ ИГМ СО РАН, г. Новосибирск,

[2] ПАО «АЛМАР», г. Якутск,

[3] ФБГУН ИГХ СО РАН, г. Иркутск,

[4] ФГБОУ ВО СПбГУ, г. Санкт-Петербург,

[5] АО «Алмазы Анабара», г. Якутск

ОБОГАЩЕННАЯ СУБДУКЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ МАНТИЯ СЕВЕРА СИБИРСКОГО КРАТОНА КАК ИСТОЧНИК АЛМАЗОНОСНОСТИ

Источником алмазов россыпей севера Сибирского кратона являются преимущественно мантийные эклогиты. Доля эклогитовых минералов среди ксеногенного материала кимберлитов и включений в алмазах весьма существенна и индивидуальна для отдельных полей и трубок. Больше всего их в полях Эбелях и Орто-Ыаргын на краю Анабарского щита, много в Булкурском карнийском коллекторе. Мантийные колонны под кимберлитами метасоматизированы. Субдукция со стороны Карского моря в палеозое существенно обогатила летучими основание кратона. Первые извержения под действием среднепалеозойского и раннетриасового плюмов были фреатомагматического типа, дали материал россыпей.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, включения, север Сибирского кратона, эклогиты, гранаты, пироксены, метасоматоз, плюмы.

Северная часть Сибирского кратона богата россыпными месторождениям алмазов [2]. В этих алмазах содержатся преимущественно включения эклогитовых пироксенов и гранатов [10; Zedgenizov [et al.], 2016; Логвинова и др., 2024], а их *PT*-условия, определенные методами мономинеральной термобарометрии, отвечают широкому спектру от основания до средней части (7–3,5 ГПа) мантийного разреза [5–8].

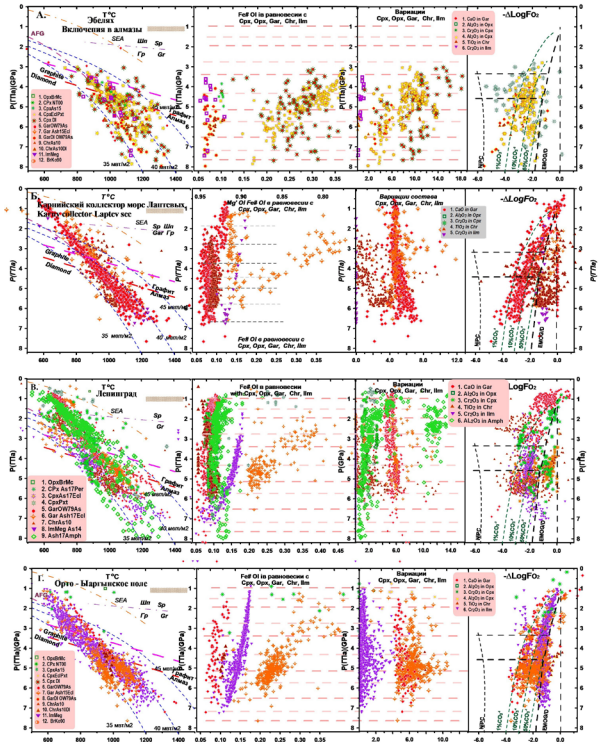


Рисунок. PXFO$_2$ диаграмма для ксенокристов и включений в алмазы:
А – россыпей Эбелях [10]; Б – Карнийского коллектора, Булкур [1], Граханов и др., 2024; В – ксенокристов кимберлитов тр. Ленинград; Г – ксенокристов кимберлитов Орто-Ыаргинского поля (условные обозначения [1])

Среди индикаторных минералов кимберлитов (КИМ) в отдельных полях – Куранахском, Западно- и Восточно-Укукитстком, Куойкском доля эклогитового материала значительна [1], а иногда преобладает, как в Эбеляхском и Отро-Ыаргынском на краю Анабарского щита (рисунок).

Каждое поле отвечает собственному набору субдукционных эклогитовых минералов, так в Эбеляхском преобладают гранаты и пироксены эклогитов группы В, С, по Дж. Доусону [3], а в Булкурском – группы А, В. Преобладание алмазов с легкими изотопами углерода соответствует их преимущественно субукционному генезису [4]. Также среди алмазов много окрашенных в коричнево-желтые тона, что типично для лампроитов тр. Аргайл и Элендейл (Австралия) [9], где преобладают эклогитовые включения и коричневые и розовые алмазы. Алмазы часто округлой формы, оплавлены и резорбированы, вероятно, это происходило на стадии предшествующей извержению при взаимодействии с протокимберлитовыми расплавами и в процессе подъема в газовой струе.

Для многих мантийных разрезов отмечается широкое развитие амфиболового и флогопитового метасоматоза [7], иногда практически непрерывного по всему мантийному разрезу.

Предполагается, что россыпи образовались за счет фреатомагматических извержений, которые имели место на первой стадии как нижнетриасового, так и среднепалеозойского кимберлитового плюмового магматизма. Районы магматизма простираются от побережья моря Лаптевых до среднего течения рек Анабар и Оленек.

Поддержано грантом РНФ 24-27-00411. Выполнено по заданию ИГМ СО РАН, Новосибирск; ГИ СО РАН, Улан-Удэ; ИГАБМ СО РАН, Якутск; ИГХ СО РАН, Иркутск; СПбГУ, Санкт-Петербург.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ащепков И. В., Иванов А. С., Костровицкий С. И., Вавилов М. А., Бабушкина С. А., Владыкин Н. В., Тычков Н. С., Медведев Н. С. Мантийные террейны Сибирского кратона: их взаимодействие с плюмовыми расплавами на основе термобарометрии и геохимии мантийных ксенокристаллов // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 197–245.
2. Граханов С. А., Проскурнин В. Ф., Петров О. В., Соболев Н. В. Алмазоносные туфогенно-осадочные породы триаса Арктической зоны Сибири // Геология и геофизика. – 2022. – № 4. – С. 550–578.
3. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. – М. : МИР, 1983. – 300 с.
4. Соболев Н. В., Логвинова А. М., Николенко Е. И., Лобанов С. С. Минералогические критерии алмазоносности верхнетриасовых россыпей на северо-восточной окраине Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 903–916.
5. Ashchepkov I. V., Ntaflos T., Logvinova A. M., Spetsius Z. V., Vladykin N. V. Monomineral universal clinopyroxene and garnet barometers for peridotitic, eclogitic and basaltic systems // Geoscience Frontiers. – 2017. – V. 8, № 4. – P. 775–795.
6. Ashchepkov I. V., Pokhilenko N. P., Vladykin N. V., Logvinova A. M., Kostrovitsky S. I., Afanasiev V. P., Pokhilenko L. N., Kuligin S. S., Malygina L. V., Alymova N. V., Khmelnikova O. S., Palessky S. V., Nikolaeva I. V., Karpenko M. A., Stagnitsky Y. B. Structure and evolution of the lithospheric mantle beneath Siberian craton, thermobarometric study // Tectonophysics. – 2010. – V. 485. – P. 17–41.
7. Ashchepkov I. V., Babushkina S. A., Oleinikov O. B., Medvedev N. S., Yudin D. S., Karmanov N. S. Unique Amphibole-Bearing Mantle Column Beneath the Leningrad Kimberlite Pipe, West Ukukit Field, NE Yakutia // Pet. Petro. Chem. Eng. J. – 2023. – V. 7, № 2. – 000345.
8. Ashchepkov I. V., Logvinova A. M., Spetsius Z. V., Downes H. Thermobarometry of diamond inclusions: Mantle structure and evolution beneath Archean cratons and mobile belts worldwide // Geosystems and Geoenvironment. – 2022. – V. 2, № 2. – 100156.
9. Jaques A. L., Luguet A., Smith, C. B., Pearson D. G., Yaxley G. M., Kobussen A. F. Nature of the Mantle Beneath the Argyle AK1 Lamproite Pipe: Constraints from Mantle Xenoliths, Diamonds, and Lamproite Geochemistry // Society of Economic Geologists, Special Publication. – 2018. – V. 20. – P. 119–143.
10. Shatsky V. S., Zedgenizov D. A., Ragozin A. L., Kalinina V. V. Diamondiferous subcontinental lithospheric mantle of the northeastern Siberian Craton: Evidence from mineral inclusions in alluvial diamonds // Gondwana Research. – 2015. – № 28. – P. 106–120.

Бабенко И. А., Таловина И. В.
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЛИВИН-ШПИНЕЛЕВЫХ ГЕОТЕРМОМЕТРОВ O'NWBBG, ФАБРИ, ОНО, ДЖЕКСОНА-ИРВАЙНА-РЕДЕРА НА ПРИМЕРЕ УЛЬТРАМАФИТОВЫХ И МАФИТОВЫХ МАССИВОВ

В докладе представлены результаты исследования химических составов породообразующих и акцессорных минералов различных мафитовых и ультрамафитовых формаций. Рассчитываются и сравниваются температуры образования горных пород разных формаций и мантийных ксенолитов на основании четырех оливин-шпинелевых геотермометров. Отмечается, что температуры оливин-шпинелевого равновесия в породах зональных, офиолитовых и расслоенных массивов оказываются сопоставимыми, а в мантийных ксенолитах – повышенными. Делается вывод о применимости различных версий геотермометра к вычислению температур мафит-ультрамафитовых систем для уточнения геологической природы различных блоков земной коры. Рассчитываются некоторые показательные индикаторы формационной принадлежности горных пород, а именно отношение Ni/Mn в оливине и железистость в хромшпинелиде.

Ключевые слова: геотермометрия, формации, ультрамафиты, мафиты, оливин, шпинель, Антарктида.

С середины XX века зарубежными исследователями был выдвинут тезис о возможности использования особенностей химических составов оливина и шпинели в геотермометрии ультрамафитов и мафитов [1, 4]. С тех пор был установлен комплекс различных геотермометров, часть из которых используется и по настоящее время. Основной принцип работы большинства из них основывается на коэффициенте распределения железа и магния между оливином и шпинелью. В последнее время была продемонстрирована эффективность методов геотермометрии при моделировании и реконструкции процессов формирования различных зон земной коры [5]. Анализ химического состава оливинов и шпинелей позволяет рассчитывать температуры их кристаллизации и реконструировать геологические условия формирования различных блоков земной коры. Применение данного метода особенно актуально при исследованиях в труднодоступных для прямого изучения регионах, таких как территории Антарктики и Арктики.

В основе оливин-хромшпинелевой геотермометрии лежит закономерная диффузия $Mg\text{-}Fe^{2+}$ в парагенезисе оливин-хромшпинелид [1, 2]. Для расчетов температуры оливин-шпинелевого равновесия сегодня применяются четыре основных геотермометра: Джексона-Ирвайна-Редера [9], Оно [8], Фабри [6] и О'Нейла-Уолла-Бэллхауза-Берри-Грина (O'NWBBG) [7].

На основании данных собственных анализов, а также информации из открытых источников авторами были рассчитаны температуры оливин-шпинелевого равновесия для мантийных ксенолитов Антарктиды, Монголии, а также для пород формаций зональных, офиолитовых и расслоенных массивов различных регионов России (табл.).

Таблица. Средние значения температур массивов различного типа

Формационные обстановки	*n*	Оливин			Хромшпинель			Геотермометры			
		Fa	Fo	Ni/Mn	Cr"	*f*	XMg	O'NWBBG	Фабри	Оно	Д.И.Р.
Зональные массивы	9	0,08	0,92	0,84	0,81	0,6	0,4	738	775	651	885
Офиолитовые массивы	21	0,07	0,93	5,27	0,72	0,45	0,55	759	774	872	1086
Расслоенные массивы	13	0,22	0,78	1,08	0,68	0,74	0,26	805	817	761	972
Мантийные ксенолиты	20	0,12	0,88	2,35	0,56	0,38	0,62	1158	1055	1168	1536

Примечание. *n* – размер выборки.

В соответствии с представленным в таблице данными и на основании источника [3] формулируются следующие выводы относительно характерных особенностей использования оливин-хромшпинелевого геотермометра:

- Рассчитанные данные хорошо сходятся и согласуются между собой.
- Для рассмотренных в работе массивов отмечается сходимость версий геотермометров O'NWBBG, Фабри и Оно, в то время как геотермометр Джексона-Ирвайна-Редера часто завышает расчетную температуру и является наименее показательным.

• В целом температуры, рассчитанные для зональных, расслоенных и офиолитовых массивов, оказываются сопоставимыми. При этом температуры оливин-шпинелевого равновесия, рассчитанные для мантийных ксенолитов горячих точек, заметно выше.

• Некоторые геохимические соотношения в рассматриваемом парагенезисе также оказываются информативными. Например, отношение Ni/Mn > 2 в оливине характерно для пород офиолитовой ассоциации и мантийных ксенолитов, в то время как для остальных формаций это значение оказывается существенно ниже. Для пород зональной и расслоенной формаций характерны повышенные (0,6–0,7) значения параметра железистости f в хромшпинелиде, в то время как для офиолитов и мантийных ксенолитов эти значения оказываются минимальными (0,3–0,4).

Использование методов оливин-шпинелевой геотермометрии позволит глубже понимать условия формирования месторождений полезных ископаемых, многие из которых связаны именно с ультрамафитовыми и мафитовыми формациями. Отдельно стоит отметить высокий потенциал применения методов геотермометрии для геодинамической реконструкции и уточнения геологической природы сходных объектов в труднодоступных для непосредственного изучения территорий, например, арктических и антарктических.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ваганов В. И., Соколов С. В. Термобарометрия ультраосновных парагенезисов. – М. : Недра, 1988. – 149 с.
2. Малахов И. А., Бурмако П. Л. Температура формирования дунитов и хромитов зональных массивов Урала // Известия Уральского государственного горного университета. – 1998. – С. 83–88.
3. Савельев Д. Е., Артемьев Д. А. Геохимические особенности пластически деформированного оливина из офиолитовых перидотитов и дунитов массива Крака (Южный Урал) // Записки Российского минералогического общества. – 2021. – №1. – С. 101–126.
4. Ширяев П. Б., Вахрушева Н. В. Оливин-хромшпинелевое равновесие в хромититах и ультрамафитах массива Рай-Из, Полярный Урал // Литосфера. – 2016. – № 2. – С. 107–110.
5. Bussolesi M., Grieco G., Cavallo A., Zaccarini F. Different Tectonic Evolution of Fast Cooling Ophiolite Mantles Recorded by Olivine-Spinel Geothermometry: Case Studies from Iballe (Albania) and Nea Roda (Greece) // Minerals. – 2022. – № 12. – P. 1–21.
6. Jianping L., Kornprobst J., Vielzeuf D., Fabries J. An Improved Experimental Calibration of the Olivine-Spinel Geothermometer // Chinese journal of geochemistry. – 1995. – № 14. – P. 68–77.
7. O'Neill H., Wood B. J. An experimental sudy of Fe-Mg partioning between garnet and olivine and its calibration as a geothermometer // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1979. – № 70. – P. 59–70.
8. Ono A. Fe-Mg partioning between spinel and olivine // J Japanese Assoc Miner Petrol Econ Geol. – 1983. – № 78. – P. 115–122.
9. Roeder P. L., Campbell I. H., Jamieson H. E. A Re-Evaluation of the Olivine-Spinel Geothermometer // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1979. – №. – 68. – P. 325–334.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЛЯПИНСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Рассмотрены поисковые критерии и признаки алмазоносности Ляпинского антиклинория Приполярного Урала. Определены границы Верхнещекурьинско-Хартесской площади, предлагаемой к проведению поисковых работ на алмазы. Дана краткая характеристика даек Хар-

тесского кимберлитового комплекса. По аэрогеофизическим данным выделены потенциальные диатремы, идентифицируемые с кимберлитовыми и лампроитовыми трубками.

Ключевые слова: Приполярный Урал, Ляпинский антиклинорий, Хартесский кимберлитовый комплекс, алмазы, потенциальные диатремы кимберлитов и лампроитов.

Центрально-Уральская антиклинорная зона доордовикских образований на Приполярном Урале выделяется под названием Ляпинского антиклинория, в юго-восточной части которого нами оконтурена Верхнещекурьинско-Хартесская площадь, предлагаемая к проведению поисковых работ на алмазы (рис. 1). Правило Клиффорда, предусматривающее наличие древнего жесткого блока земной коры, при выборе Верхнещекурьинско-Хартесской площади, перспективной на алмазы, также учитывалось.

Ляпинский антиклинорий располагается в пределах восточной окраины Тимано-Печорской эпибайкальской платформы с рифейским метаморфическим фундаментом. В южном углу Тимано-Печорской платформы (Полюдов кряж – юго-восточное продолжение Тимана) располагается Красновишерский алмазоносный район с россыпными месторождениями алмазов.

По геологическому строению юго-восточная часть Тимано-Печерской платформы, включая и рассматриваемую Верхнещекурьинско-Хартесскую площадь, перспективна на выявление первоисточников алмазов. Кроме того, вблизи рекомендуемой площади алмазы выявлены в шлиховой пробе при впадении реки Торговая в реку Щугор (в 17 км от юго-западного угла предлагаемой Верхнещекурьинско-Хартесской площади).

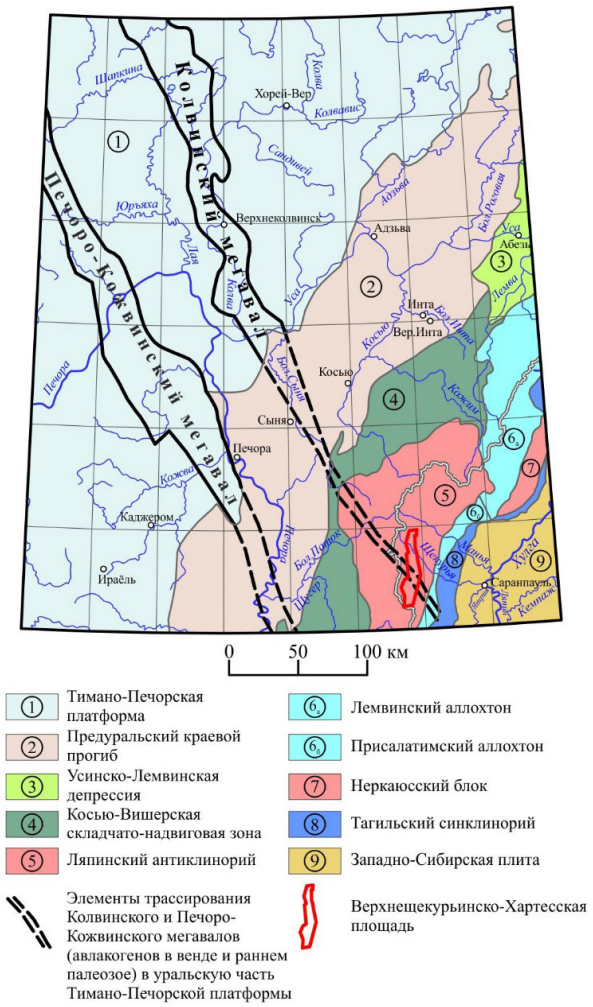


Рис. 1. Расположение Ляпинского антиклинория в зоне сочленения Тимано-Печорской платформы (с выделенными инверсировавшими авлакогенами) и Западно-Сибирской плиты

Следует отметить, что геологическое строение Тимано-Печорской платформы с рифейским фундаментом характеризуется чередованием мегавалов и мегавпадин преимущественно северо-западной ориентировки. Печоро-Кожвинский вал трассируется на Урал в район гранитной интрузии Мань-Хамбо, а Колвинский мегавал – в район группы гранитных интрузий (Малопатокский, Торговской и Хартесский массивы) и, соответственно, в пределы рассматриваемой на алмазы Верхнещекурьинско-Хартесской площади (рис. 1). Под Печоро-Кожвинским и Колвинским валами поверхность рифейского фундамента достаточно резко опущена и именно здесь достигает наинизших для всей Печорской синеклизы отметок (7–8 км). Соответственно мощность докарбоновых и особенно досреднедевонских отложений тут максимальна. Таким образом, Печоро-Кожвинский и Колвинский мегавалы возникли на месте инверсировавших авлакогенов [5].

Исходя из этого, здесь может быть косвенно задействован еще один важный поисковый критерий на выявление первоисточников алмазов, а именно – приуроченность кимберлитовых трубок к бортам авлакогенов [4]. Применительно к рассматриваемой Верхнещекурьинско-Хартесской площади это могут быть элементы трассирования Колвинского мегавала (авлакогена в венде и раннем палеозое), к бортам которого могут быть приурочены кимберлитовые и лампроитовые диатремы (рис. 1).

В геологическом строении рассматриваемой Верхнещекурьинско-Хартесской площади

выделяются девять стратифицированных образований, охватывающих временной интервал от среднего рифея до квартера (четвертичной системы). Интрузивные образования, представленные на геологической карте Верхнещекурьинско-Хартесской площади, имеют возраст от ранневендского до кембрийского и сформированы в байкальский тектоно-магматический этап. Среди них выделяется вендско-раннекембрийский хартесский комплекс кимберлитовый, представленный дайками (рис. 2).

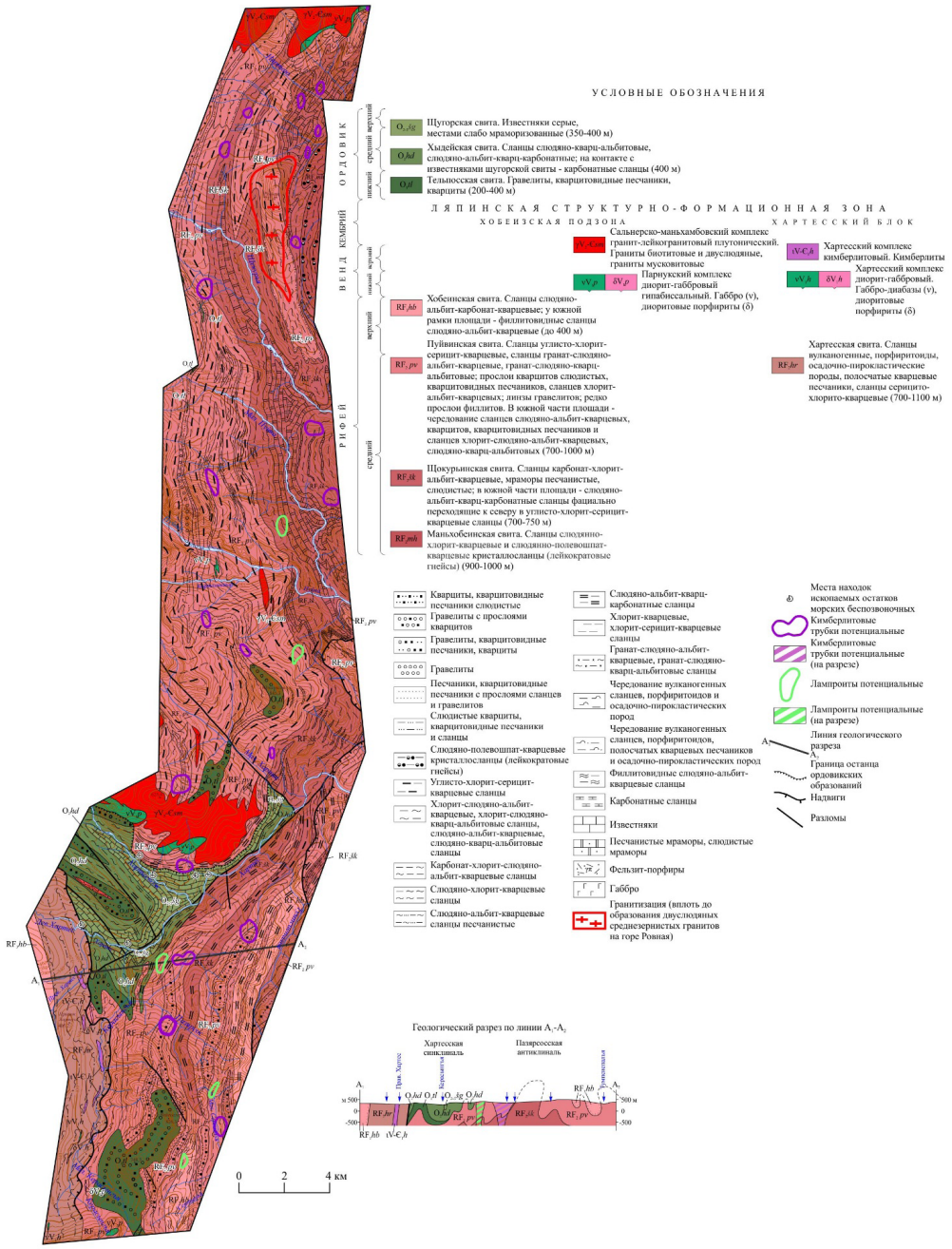


Рис. 2. Геологическая карта Верхнещекурьинско-Хартесской площади с элементами прогноза на первоисточники алмазов

В опубликованной литературе хартесский комплекс потенциально алмазоносных кимберлитов и лампроитов в верховьях рек Хартес и Керасынгъя был впервые описан в 1987 г. Л. И. Лукьяновой и А. В. Бельским [2], и в настоящее время этот комплекс является единственным на Урале достоверно определенным комплексом кимберлитов. Петрологические исследования комплекса состава выполнены специалистами ВСЕГЕИ и ИГЕМа [2, 3]. Коренные выходы кимберлитов распространены в долине р. Керасынгъя и р. Прав. Хартес; размеры даек – от первых метров до нескольких десятков метров, в двух обнажениях – 100–115 м, протяженность –

до 1,3 км. Все выявленные дайки кимберлитов локализованы в пределах надвиговой пластины шириной от 1,5 до 2,0 км, выделяющейся интенсивными положительными магнитными аномалиями. Сместитель надвиговой пластины имеет крутое (около 80°) падение на запад, то есть направление движения пластины было восточным.

Кимберлиты хартесского комплекса характеризуются порфировой структурой и представляют собой мелкозернистую основную массу серпентин-карбонат-амфиболового состава с порфировыми выделениями – округлыми кристаллами измененного оливина I генерации, идиоморфными вкрапленниками оливина II генерации, микровкрапленниками рудных минералов. Собственный (магматический) клинопироксен в них отсутствует, что отличает эти породы от пикритов и меймечитов. Хромшпинелиды в большинстве своем содержат Cr_2O_3 (до 60 %) и близки по составу хромшпинелидам из включений в вишерских алмазах и кимберлитах Русской платформы. Гранаты представлены пироп-альмандинами и альмандинами. Специализированные поисковые работы с крупнообъемным опробованием пород хартесского кимберлитового комплекса по общепринятой методике, ранее рекомендовавшиеся отделом Урала ВСЕГЕИ, в настоящее время не потеряли своей актуальности [1].

В 2003–2007 гг. для обеспечения прогнозно-поисковых работ на минеральное сырье в пределах зоны проектируемой железной дороги Ивдель–Лабытнанги ОАО «Александровская опытно-методическая экспедиция» выполнена высокоточная комплексная аэрогеофизическая съемка (магнитная и гамма-спектрометрическая) масштаба 1 : 50 000. Нами на Верхнещекурьинско-Хартесской площади при комплексной интерпретации магнитного поля и содержаний калия (K) с учетом карт гамма-поля, содержаний урана (U), (Th), а также, исключая интрузивные образования, в рифейских образованиях были выделены потенциальные диатремы: два десятка кимберлитовых и 5 лампроитовых (рис. 2).

При выборе перспективой площади на первоисточники алмазов и выделении потенциальных диатрем учитывались также следующие факторы:

- гравиметрия (Верхнещекурьинско-Хартесской площади соответствует отрицательное гравитационное поле с локальными минимумами);
- минералогия (В 1999 г. при проведении тематических работ на алмазы в нескольких пробах из аллювия были выявлены спутники алмазов: хромшпинелиды и гранаты);
- геохимия (Использовались потоки рассеяния хрома, титана, никеля, кобальта, бора, стронция при прогнозировании алмазоносности Верхнещекурьинско-Хартесской площади);
- литология (Учитывалось наличие на пути прорыва магмы образований рифейской щекурьинской свиты, содержащей линзы и прослои песчанистых и слюдистых мраморов).

Для установления на местности и уточнения параметров выявленных геофизических аномалий, предварительно идентифицируемых с диатремами, необходимо проведение наземной магнитометрии высокоточными протонными магнитометрами «Минимаг» с шагом 20 м с целью определения мест заложения поисковых скважин (на первом этапе – скважин ручного бурения) для выяснения природы аномалий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Водолазская В. П. [и др.] Государственная геологическая карта Российской федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Q-40 Печора. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013.
2. Лукьянова Л. И., Бельский А. В. Кимберлитовый магматизм на Приполярном Урале // Советская геология. – 1987. – № 1. – С. 92–102.
3. Махоткин И. Л., Подкуйко Ю. А., Журавлев Е. Д. Раннепалеозойский кимберлит-мелноитовый магматизм Приполярного Урала и геодинамическая обстановка его формирования // Щелочной магматизм и проблемы мантийных источников : Мат-лы междунар. семинара. – Иркутск, 2001. – С. 143–157.
4. Францессон Е. В. Роль авлакогенов в формировании кимберлитов на древних платформах // Геология рудных месторождений. – 1986. – № 5. – С. 91–93.
5. Хайн В. Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. – М. : Недра, 1977. – 359 с.

Барабаш Е. О. (egorovaeo@igm.nsc.ru), Афанасьев В. П. (avp-diamond@mail.ru)
ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

О МЕХАНИЧЕСКОМ ИЗНОСЕ АЛМАЗОВ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

По результатам изучения форм и степени износа алмазов из россыпей Сибирской платформы выделено две их популяции. Первая – с отсутствующим или слабым износом, связанная с фанерозойскими источниками, вторая – с повышенным до предельной степени, с предположительно докембрийскими источниками.

Ключевые слова: алмаз, механический износ алмазов, фанерозойские источники алмазов, докембрийские источники алмазов, Сибирская платформа.

Несмотря на высочайшую твердость алмазов, они подвержены механическому износу различной степени. На алмазах из россыпей Сибирской платформы можно проследить любую степень и формы износа – от полного отсутствия до предельной окатанности. Естественен вопрос: в каких условиях, как и в какое время осуществлялся износ алмазов? По степени, формам и времени износа алмазов выделяются две основные популяции алмазов: первая – с отсутствующим или слабым износом, вторая – с повышенным до предельной степени износом [1].

Первая популяция определенно связана с фанерозойским этапом формирования кимберлитов и связанных с ними россыпей. В россыпях континентального генезиса, типа россыпей Новинка, связанной с трубкой Интернациональная, или Водораздельные галечники, связанной с трубкой Мир, износ на алмазах практически не фиксируется. Для россыпей прибрежно-морского генезиса типа Солур-Восточная в Мало-Ботуобинском районе, Тарыдакская в Красноярском крае, в турнейских гравелитах бассейна р. Кютюнгдэ, связанных со среднепалеозойскими кимберлитами, износ минимальный и выражен либо в механогенной полировке по ребрам кристаллов (леденцовая скульптура), либо с выкрашиванием острых ребер сколов и вершин кристаллов (рис. 1). В данном случае механический износ алмазов осуществлялся на мягком ложе карбонатных пород нижнего палеозоя, не обеспечивающих условия для сильного износа. Но среди индикаторных минералов в этих условиях пикроильменит практически полностью исчезал за счет истирания, а пиропы окатывались до шариков [2] (см. рис. 1).

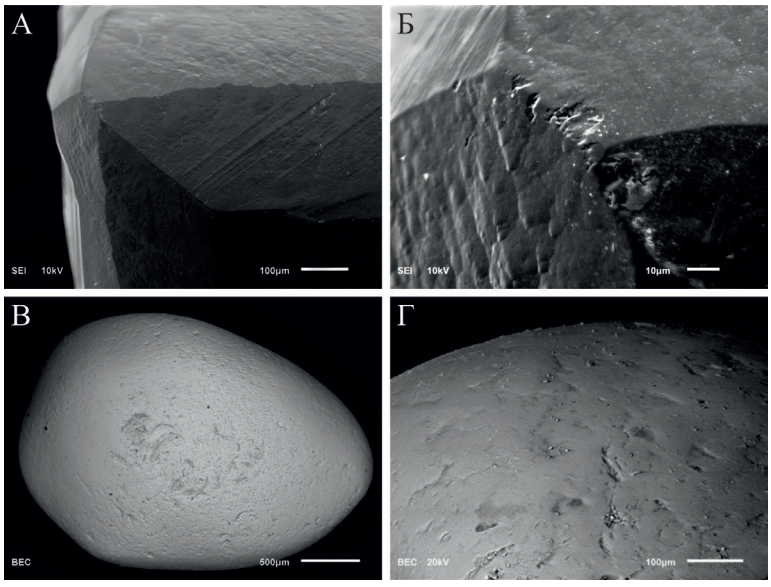


Рис. 1. Алмаз и пироп из россыпи реки Маят прибрежно-морского генезиса:
А, Б – кристалл алмаза со следами слабого механического износа; В, Г – предельно окатанный пироп

Для второй популяции алмазов в фанерозое не было ни места, ни условий для высокой степени износа [5]. Степень износа, показанная на рис. 2, заставляет выйти за рамки фанерозоя в докембрий, когда механический износ осуществлялся на жестком ложе метаморфических или магматических пород в соответствующей жесткой обломочной среде при высокой динамике

волновой деятельности, обеспечивавших сильный износ и шероховатую механогенную поверхность. Соударения с твердыми частицами оставляли на алмазах микротрещинки по спайности, которые при дальнейшей обработке превращались в бороздки с формированием ромбической сеточки (рис. 2). Никакие индикаторные минералы коренных источников этих алмазов не сохранялись при таких условиях механического износа, что служит препятствием для определения их типа. Так, в Шелеховской россыпи в Иркутской области все алмазы имеют повышенный износ при полном отсутствии глубинных минералов.

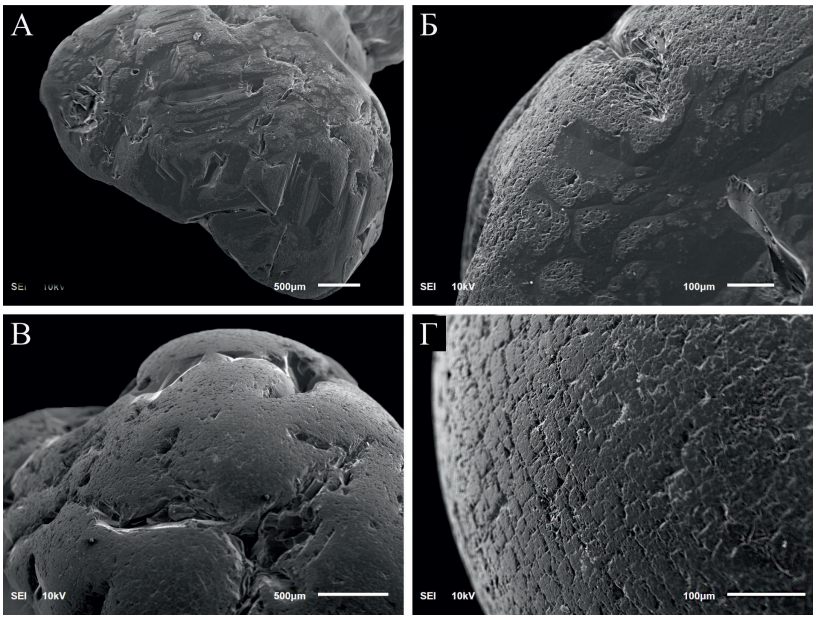


Рис. 2. Алмазы с максимальной степенью механического износа
А, Б – алмаз VII разновидности [4]; В, Г – алмаз V разновидности [4]

Вместе с тем для второй популяции алмазов возможна разная степень механического износа. На рис. 2 показана максимальная степень износа, но нет запрета на меньшую степень износа в других ландшафтно-динамических условиях, как и в фанерозое [3].

Кроме того, степень и формы износа зависят от размерности кристаллов: чем крупнее кристаллы алмаза, тем более выражен на них механический износ.

Таким образом, степень механического износа алмазов служит важнейшим критерием для определения возраста их коренных источников: износ алмазов из россыпей, связанных фанерозойскими источниками, никогда не превышает слабый, тогда как повышенный и высокий износ указывает на докембрийский возраст коренных источников и длительную россыпную историю этих алмазов.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400157-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Афанасьев В. П. [и др.] Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 3. – С. 335–353.
2. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – 2001. – 650 с.
3. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Егорова Е. О., Линденблот Е. С. Древнейшие кристаллы алмаза Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 489, № 6. – С. 611– 615.
4. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. – М. : Наука, 1973. – 223 с.
5. Afanasiev V. P., Pokhilenko N. P. Approaches to the diamond potential of the Siberian craton: A new paradigm // Ore Geology Reviews. – 2022. – V. 147. – P. 104980.

Баранова С. А. [1, 2] (s.baranova@igc.irk.ru), Блинов А. В. [1, 2] (ablinov@igc.irk.ru),
Просекин С. Н. [1, 2] (pros.sergey@igc.irk.ru)
[1] ФГБУН ИГХ СО РАН, г. Иркутск,
[2] ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск

СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Работа посвящена системе хранения и эффективного управления данными геолого-поисковых работ, основанной на геоинформационном подходе. Предложена унифицированная структура БД, которая может быть адаптирована к геологической деятельности различных организаций без необходимости полной реструктуризации.

Ключевые слова: геолого-поисковые работы, база данных, унифицированная структура, эффективное управление данными, геоинформационные системы.

На всех этапах геолого-поисковых работ скапливается большой объем разнородной информации, в результате чего наблюдается тенденция к оптимизации процессов сбора, хранения, обработки и представления разнородной информации. Как правило, это решается комплексным объединением различных инструментов и методов в единую систему. С данной задачей в настоящее время отлично справляются геоинформационные системы (ГИС), которые являются уже неотъемлемой частью геологоразведочных работ [2]. Основным компонентом любой ГИС является база или совокупность баз данных (БД), функционирующая посредством системы управления базами данных (СУБД). От адекватности БД, то есть ее соответствия реальной предметной области, во многом зависят функциональные возможности, производительность и эффективность работы как самой БД, так и системы в целом. В данной работе рассматривается унифицированная структура БД, которая может быть использована на различных объектах без необходимости создания индивидуальной БД под конкретную площадь или под разные методы поисков. Стоит отметить, что авторами ведутся работы над созданием информационной системы (ИС), которая позволит проводить весь цикл геолого-поисковых работ с применением средств автоматизации определенных процессов сбора, обработки и представления данных. На основании этого следует, что предлагаемая структура БД является центральном звеном всей ИС в целом.

Геолого-поисковые работы представляют собой длительный многоэтапный процесс, следовательно, БД должна хранить данные, поступающие в нее на всех этапах работ, начиная с координат участка исследований, которые являются первичными для формирования и ведения ГИС-проекта, заканчивая различными производными данными [3]. С учетом разного типа входного материала разработана универсальная гибкая структура БД, в которой предполагается разбиение данных по отдельным блокам (рис. 1). Всего выделены 4 блока, каждый из которых соответствует определенному этапу проведения поисковых работ. Связь между разными блоками производится через главную таблицу «Площадь». Таким образом, каждый объект (площадь) исследований подразумевает под собой отдельную базу унифицированных данных с возможностью вывода необходимой информации по любой из исследуемых площадей. Но несмотря на независимость каждой базы, остается возможность их взаимодействия друг с другом для использования данных, содержащих актуальную информацию по изучаемому объекту, например, при работах на соседних лицензионных площадях.

Каждый блок отвечает за конкретный этап работ. Первый соответствует подготовительному, в нем собраны и структурированы все материалы, получаемые исполнителями перед началом работ над новым объектом. Не менее 90 % материалов, хранящихся здесь, используются на протяжении всего процесса работ. Во втором блоке содержатся данные, получаемые во время проведения полевых геолого-поисковых работ. Третий блок с аналитическими данными содержит в себе материалы камерального этапа, относящиеся к химическому анализу, оценке качества данных и последующему многомерному анализу. В четвертом блоке хранится информация о результатах проведенных геолого-поисковых работ, а также производные данные, полученные уже на основании всех проанализированных материалов. Он базируется на данных, содер-



Рисунок. Логическая модель БД

жащихся в предыдущих блоках, но, в отличие от них, при необходимости изменяется наполнение уже имеющихся таблиц или создаются новые.

Достоинство такой организации данных в том, что за счет разбиения всей информации на отдельные блоки при расширении комплекса поисковых работ новыми методами и, как следствие, возникновении необходимости добавления новых видов данных структура БД будет только дополняться, а не целиком изменяться. К примеру, при добавлении магниторазведочных или электроразведочных работ возникнут новые данные о магнитном и электрическом полях соответственно. В такой предложенной структуре данные разместятся в том блоке, на какой стадии работ были получены, с дополнением, которое будет указывать на метод работ (для ЛГХ-метода шифр будет «_LGH»).

Неоспоримым преимуществом такой структуры является возможность автоматизированной оценки и проверки первичных данных непосредственно в процессе полевых работ, поскольку, как правило, в большинстве подобных исследований проверка качества данных проводится после полевых работ [1]. Данный аспект исключает вероятность возникновения ошибок на последующих этапах работ за счет оперативного решения, что в свою очередь сокращает трудо- и времязатраты при последующих операциях с данными.

В результате данного исследования необходимо подчеркнуть важность интеграции различных ГИС, БД и других программных средств путем объединения их функциональных возможностей с самых ранних стадий и до конца проекта. Созданная структура БД позволяет оптимизировать систему хранения данных каждого этапа при проведении геолого-поисковых работ, а также привнести дополнительную функциональность в работе конечному потребителю. В рамках предполевого и полевого этапов реализованы процедуры импорта и экспорта необходимых таблиц между БД и полевой рабочей станцией, что позволяет производить операции

на этапе полевых работ сразу в том виде, который был запланирован для всей поступающей информации. На финальном этапе работ сокращение затрачиваемого времени допустимо за счет одновременного подключения к базе нескольких специалистов, параллельного использования и редактирования данных, без необходимости их дублирования.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.130.3.1 (№0284-2021-0001). Работа осуществлена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск). Подготовка материала проведена на анализаторе фрагментов микроструктуры твердых тел Минерал С7 с линией пробоподготовки в МНОЦ «Байкал».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Didero Takodjou Wambo J., Tanni Quinter W. GIS and Database Management for Mining Exploration // GIS and Spatial Analysis. IntechOpen. – 2023. – P. 115–140.
2. Thomas. U. Omali. Utilization of Remote Sensing and GIS in Geology and Mining // International Journal of Scientific Research in Multidisciplinary Studies. – 2021. – V. 7, № 4. – P. 17–24.
3. Vangu G. M., Croitoru A., Mitrache M., Dima N. Design of a GIS Database for Surface Mining // Journal of Applied Engineering Sciences. – 2023. – V. 3. – P. 289–296.

Баринова М. Е., Юрченко Ю. Ю.
ФГБУ ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УЛЬИНСКОГО ПРОГИБА НА ПРИМЕРЕ СЕКЧИНСКОЙ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ (ЗАПАДНОЕ ПРИОХОТЬЕ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

Дальневосточный регион уже много лет является одним из локомотивов золотодобычи в России. В последние годы здесь выявлен целый ряд месторождений, которые существенно расширяют минерально-сырьевую базу РФ – Малмыж, Светлое (Хабаровский край), Совиное, Купол (Чукотский АО), Верхнее-Золотое (Приморский край) и др. Однако фонд легко открываемых рудных объектов исчерпывается, что требует реализации новых подходов в прогнозе и поисках месторождений, а также необходимость изучения удаленных и труднодоступных территорий.

Изучаемая площадь расположена в Западном Приохотье, на севере Хабаровского края. В геолого-структурном отношении площадь принадлежит Охотско-Чукотскому вулканическому поясу (ОЧВП) и входящему в его состав Ульинскому прогибу. Ульинский прогиб (УП) является отрицательной «корытообразной» структурой наложенного типа, сформированной в позднеюрско-раннемеловое время при активности Удско-Мургальской дуги. Строение УП осложнено многочисленными кольцевыми положительными или отрицательными вулкано-тектоническими структурами (ВТС) [1]. Стоит отметить, что кольцевые структуры в вулканических поясах, получившие распространение не только на Дальнем Востоке, но и в Средней Азии, Забайкалье, Сибири, считаются потенциально рудоносными структурами [6].

Объектом изучения является Секчинская вулкано-тектоническая депрессия (СВТД), площадью 1100 км^2, расположенная в центральной части УП и охватывающая бассейны рек Секча и Уенма. СВТД имеет телескопированную систему кольцевых разломов и включает в себя более мелкие вулкано-тектонические просадки и купольные структуры. Разрез СВТД представлен продуктами многостадийного вулканизма – нижнемеловыми вулканитами учуликанского андезитового комплекса (750 м), еманринского риолит-андезибазальтового (1500 м), ранне-верхнемелового ульинского базальт-риолитового (1800 м), верхнемелового сухореченского трахитового (900 м) комплекса.

Предшественниками в пределах СВТД проведено множество работ, направленных на геологическое картирование, поиски и разведку объектов полезных ископаемых (преимуществен-

но россыпей золота) [1, 2]. На территории всей структуры отмечается знаковая золотоносность аллювия. Известны несколько промышленных россыпей (Колка-I, Давакит, Амундакит, Уенма и др.), однако вопрос коренных источников россыпной минерализации во многих случаях остается актуален. Между тем, открытие в пределах СВТД в последние годы средних по запасам месторождений, таких как Светлое и Левобережное, свидетельствует о высоком потенциале ВТС.

В основу данной работы положены ретроспективные данные геологосъемочных и поисковых работ – результаты шлихового опробования, геологической съемки масштаба 1 : 50 000 и крупнее (неопубликованные данные Бутвин, 1987, Ардашев, 2001), а также результаты собственных полевых и лабораторных работ 2022 г. Анализ результатов шлихового опробования территории СВТД и изучение минералого-геохимических особенностей золота из шлихов позволяет отметить следующее:

1. Размер агрегатов золота из шлихов варьирует от 0,3 до 5 мм, при этом большую часть (около 30 % от общего числа при наличии пяти размерных классов) составляет мелкое (по классификации Петровской Н. В. [5]) по размерам золото – 0,3–1 мм. Агрегаты преимущественно слабоокатанные, морфология комковидная, губчатая, иногда интерстициальная (рис. а–в). Химический состав неоднороден: примесей, кроме серебра, не зафиксировано, однако встречаются зерна средне-высокопробные (800–900 ‰) и весьма низкой и низкой пробности (550–600 ‰) (по классификации Петровской Н. В. [5]). Последний факт предшественниками интерпретировался как наличие двух разных типов источников золота в пределах СВТД (неопубликованные данные Бутвин, 1987).

2. Минеральные ассоциации золота разнятся в зависимости от пробности. Для более низкопробного золота характерно срастание с киноварью, пиритом, хлоритом (см. рис. 1, г), а также интерстициальная морфология (для некоторых агрегатов), которая может свидетельствовать об его образовании на поздних стадиях. Стоит подчеркнуть, что отмечается пространственная сопряженность шлиховых ореолов золота и киновари. В свою очередь, высокопробное золото встречается в срастании с кварцем, биотитом, в некоторых случаях – с эпидотом, гранатом ряда гроссуляр-андрадит (см. рис. д). Данная минеральная ассоциация может указывать на наличие зон скарнирования вблизи рудных объектов, однако геологическая съемка на данный момент не зафиксировала распространение подобных метасоматитов на площади.

3. Наличие агрегатов золота с «пятнистой текстурой» (см. рис. е), где темные зоны характеризуются более низкой пробностью (AuI), светлые – более высокой (AuII), а в краевых зонах наблюдается третья «генерация» золота AuIII. Вполне вероятно, в коренном источнике происхо-

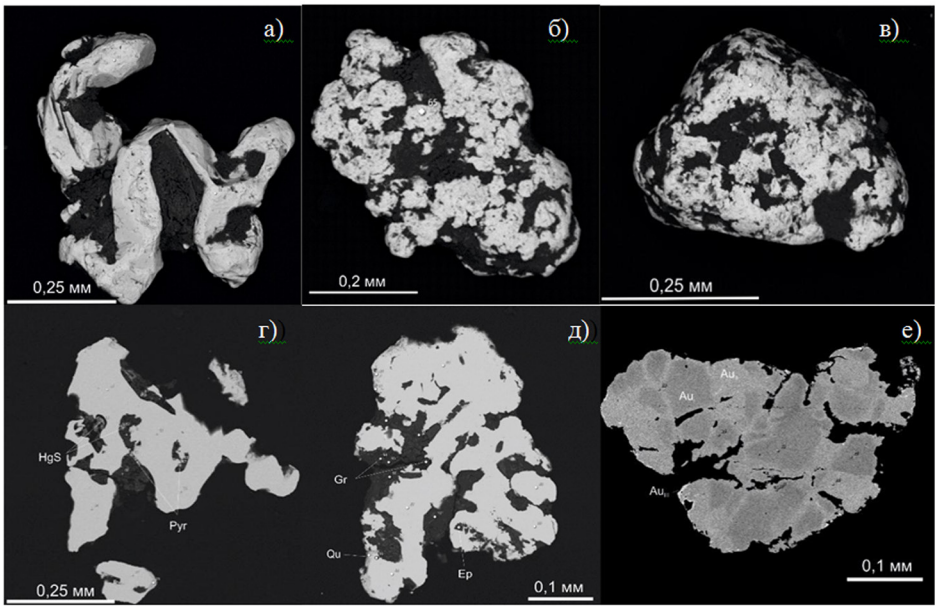


Рисунок. Самородное золото из аллювиальных отложений СВТД (долины рек Колка, Секча, Уенма, Аринда):
а–в – морфология самородного золота; г–е – внутреннее строение. SEM изображение

дили процессы преобразования и гибридизма, отражающие многоэтапность рудообразующего процесса. По-видимому, это связано с образованием небольших кор выветривания.

Интерпретация данных комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1 : 50 000 (КАГС-50) и материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет выделить ряд закономерностей:

1. Рудные объекты, которые характеризуются наличием золота высокой пробности, в том числе месторождение Светлое, приурочены к геофизическим аномалиям, связанным с глубинными интрузиями этанджинского габбро-гранитового плутонического комплекса позднемелового возраста, часто не выходящими на поверхность. В структурном плане они выделяются как куполовидные вулканические постройки, которые также дешифрируются по данным ДЗЗ. В геофизических полях, полученных с помощью КАГС-50, читается пространственная связь построек с аномальными значениям отношения Th/K, что подтверждает данные других исследователей по месторождению Светлое [3]. Аномальные значения Th/K обусловлены интенсивными гидротермально-метасоматическими преобразованиями, которые в разрезе составляют «пустоты» в интрузиях, что может свидетельствовать о постмагматических преобразованиях пород. Ареалы развития гидротермально-метасоматических образований (ГМО) также дешифрируются по данным ДЗЗ.

2. Вблизи рудных объектов, содержащих золото средней пробности (например, месторождение Левобережное), отмечается распространение приповерхностных ранне-позднемеловых субвулканических интрузий среднего состава сухореченского трахитового комплекса позднемелового возраста в виде изометричных штоков небольшого размера. Подобные образования приурочены к кольцевым разломам периферийных частей ВТС II порядка.

ГМО в пределах изучаемой территории имеют пространственную и генетическую связь с оруденением и представлены вторичными кварцитами разных фаций, хлорит-гидрослюдистыми метасоматитами, пропилитами, аргиллизитами, кварцевым прожилкованием. По данным исследователей, залежи вторичных кварцитов представляют наибольший интерес и маркируют надрудную зону невскрытого оруденения, что, например, наблюдается на месторождении Светлое [1, 4].

На основании вышеизложенного можно выделить две группы коренных источников золоторудной минерализации в пределах СВТД:

1) объекты с низкотемпературной ассоциацией золота с весьма низкой и низкой пробностью (550–700 ‰), с киноварью и сульфидами, связанные с распространением близповерхностных субвулканических образований сухореченского трахитового комплекса позднемелового возраста и пространственно приуроченные к кольцевым разломам в бортовых частях ВТС II порядка;

2) объекты с преобладанием высокопробного золота в куполовидных структурах, контролирующиеся на глубине интрузивными образованиями этанджинского габбро-гранитового комплекса позднемелового возраста.

Оба типа источников рудного золота, наиболее вероятно, связаны с постмагматическими гидротермально-метасоматическими процессами, однако формирование их происходило в разные этапы мелового магматизма СВТД.

Настоящая работа выполнена в рамках объекта «Проведение в 2022–2024 гг. региональных геолого-съемочных работ масштаба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Дальневосточного ФО (Южные районы)» (листы O-54-VIII, IX) (Государственное задание Федерального агентства по недропользованию от 27.12.2023 г. № 049-00003-24-00).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Дальневосточная. Лист O-54 – Охотск. Объяснительная записка / В. Н. Зелепугин, В. А. Дымович, Б. Г. Лопатин и др. – СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2021. – 519 с.
2. Ивлев А. Н. Отчет по геологической съемке масштаба 1 : 200 000, лист O-54-VIII (Кадакчан) // Мингео СССР, ВА НПО «Аэрогеология». – М., 1977. – 355 с.
3. Лесняк Д. В. Структурные, геофизические и геохимические критерии эпитермального кислотно-сульфатного золотого оруденения на примере рудного поля Светлое (Хабаровский

край) / Д. В. Лесняк, Ю. С. Ананьев, Р. Ю. Гаврилов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 8. – С. 60–72.
4. Мишин Л. Ф. Прогнозирование невскрытого оруденения, связанного с вторичными кварцитами на примере Дальнего Востока России : методические. рекомендации) / Л. Ф. Мишин, Н. В. Бердников. – Хабаровск : ИТиГ ДВО РАН, 2004. – 26 с.
5. Петровская Н. В. Самородное золото : общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. – М. : Наука, 1973. – 347 с.
6. Трушко В. В. Связь между геодинамикой и рудоносностью континентальных вулканоструктур // Тезисы докладов к совещанию «Научные принципы прогнозирования эндогенного оруденения в восточно-азиатских вулканических поясах СССР. – Хабаровск, 1988. – С. 32–33.

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИЙ С ПОЗИЦИЙ ОБЩЕЙ МИНЕРАГЕНИИ, ПРИРОДЫ ЕЕ ИСТОЧНИКОВ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Рассмотрены результаты новых разработок в области общей минерагении, факторы геодинамики в формировании и преобразовании источников алмазов, цветных и благородных металлов, роль при этом субдукции, сопряженной с ячеистой конвекцией, создающей концентрическую зональность провинции. Охарактеризованы магматогенно-рудные узлы, их структура и периодичность размещения, основы совершенствования критериев прогноза месторождений, оценки перспектив территорий при учете упомянутых факторов.

Ключевые слова: алмаз, золото, цветные металлы, минерагения, геодинамика, субдукция, транстенсия, периодичность размещения,критерии прогноза.

Исследования, направленные на обеспечение отраслевой минерально-сырьевой базы, используют главным образом методологию прикладной специальной минерагении. В ее основе лежат эмпирические обобщения и формационный анализ. Вопросы генетической природы полезного ископаемого, геодинамическая сущность тектоники исследуемой территории из-за их дискуссионности отодвигаются на второй план. Вместе с этим при формационном подходе недостаточно внимания уделяется как геодинамике и тектонике при накоплении рудоносных толщ, так и тщательному анализу их крупных деформаций и перемещений. Исследование этих проблем в комплексе с общей минерагенией позволяет получить выводы, дающие возможность совершенствовать уже существующие критерии прогноза рудоносности и оценки территорий, тем самым совершенствовать не только критерии, но и методологию подхода. Минерагенические исследования в этом аспекте проводились в ЦНИГРИ, последние из них суммированы в двух монографиях «Азот и водород в алмазах: следствия минерагении» и «Геодинамика, тектоника, минерагения: системный анализ». В первой [5] при рассмотрении изменения кристаллохимических особенностей алмаза на фоне геодинамического развития тектоники фундамента Сибирской платформы по модели ячеистой конвекции обоснованы условия образования источника алмаза на глубине, охарактеризована его первичная структура в виде чаши, стенки которой формируются зонами субдукции в виде сжатых синклиналей, полого погружающихся к центру Якутской провинции. Последующий подъем глубинных масс к поверхности, эволюция структурных форм, приводящая в конечном итоге к трубкам, вызываются транстенсией. Не только образование алмаза является следствием этих условий и процессов. Следствием является и то, что позволило вникнуть в суть древней глубинной структуры фундамента платформы, по-новому взглянуть на минерагению, в частности карбонатиты, медно-никелевые месторождения [1, 2].

Во второй [3] исследованы проблемы общей и глобальной минерагении, единые закономерности развития рудоносных процессов и структур. Геодинамика охарактеризована в аспекте фазового развития неустановившейся конвекции, приводящей к перемещению геологических масс одновременно с уменьшением их вязкости при подъеме, вплоть до состояния магматических расплавов. При этом снизу вверх уменьшается размер фракталов системы, увеличивается их количество. Примечательно то, что в каждом масштабе фракталов последовательное усиление конвекции приводит к переходу формы подъема в виде вала к образованию серии ячей. Этот геодинамический фактор вызывает необходимость деления минерагенических таксонов в каждом масштабе на линейные и относительно изометричные. В монографии предложена усовершенствованная схема минерагенической таксономии полного их масштабного ряда. Особое внимание уделено магматогенно-рудным узлам (МРУ), строгим принципам их выделения, закономерностям структуры, рудной зональности, которые редко выделяются и недостаточно используются в прикладной минерагении. Узел развивается при выплавлении магм из базитового протолита. В зависимости от состава земной коры, последовательных фаз развития МРУ образуется комплекс выплавок, которые лежат в основе выделения типов вулканогенных формаций, а фазам развития узла соответствует определенная вулканическая структура. Наиболее резкое изменение структурных форм, состава толщ и мест размещения месторождений происходит при кальдерообразовании. Узлы определяют первичную структуру их фрагментов – рудных полей. Важнейшим свойством узлов является их периодическое размещение в пространстве, т. к. они зарождаются при волновых осложнениях среды в обстановках двух типов геодинамики: 1) конвективной при плотностной инверсии, 2) транстенсионной адвекции за счет растяжения при сдвиге, в результате чего происходит снижение давления, обеспечивая подъем и плавление масс, даже не обладающих плотностной инверсией. Периодичность подтверждена тектонофизическими экспериментами. Закономерности МРУ, как рудно-магматических систем (РМС), позволяют опознавать и выделять узлы на картах. В разных обстановках крупные базальтоидные центры (МРУ), например колчеданоносные, повторяются через расстояния около 30 км или кратно этой величине. Сходную периодичность имеют интрузивы лакколитов Платиноносного пояса Урала с комплексной минерагенией. К краям лакколитов отжаты щелочные гранитоиды с молибден-медно-порфировыми рудопроявлениями бощекульского типа. При повышенной вязкости адвектирующих масс периодичностью обладают и кусты кимберлитовых трубок, расположенные вдоль линейных глубинных поднятий (полей) через расстояния около 3 км (в Якутии), около 2 км (в Архангельской области) или кратно таким величинам [3].

Важное теоретическое и практическое значение имеет разработка модели субдукции как краевого эффекта ячеистой конвекции, принципиально отличной от субдукции в концепции тектоники плит. Модель позволяет уяснить многие системные соотношения минерагении и тектоники, которые не учитываются при разработке критериев прогноза и оценки территорий. Особо важен учет процесса субдукции как фактора образования нового источника полезного ископаемого за счет преобразования и перемещения древних рудоносных толщ на большие расстояния. Это определяет геохимическую специализацию продуктивности возрожденного магматизма в надсубдукционных вулканоплутонических поясах, что следует учитывать при разработке прогнозных критериев общей минерагении. Некоторые из этих вопросов, касающиеся развития структуры алмазоносных территорий, карбонатитов, медно-никелевых месторождений, золота в терригенно-сланцевых толщах, рассматривались автором на предыдущих конференциях [1, 2].

Учет структурных особенностей субдуцированных толщ при извлечении их из глубин дает возможность глубже понять условия образования крупнейших медно-порфировых месторождений. Состав и размеры их запасов в Андах находятся в зависимости не только от продуктивности источника, которому служили меденосные толщи, субдуцированные с запада, но и от того, что эти толщи, поднимаясь после субдукции, приобрели почти вертикальное падение при образовании фундамента ВПП. В такой ситуации магматизм и гидротермальная деятельность извлекали большие массы меди на ограниченной площади из большого вертикального

интервала продуктивной стратиформной толщи. В пределах этих поставленных на голову толщ месторождения образуют цепочки. Роль подобной геоструктурной обстановки должна учитываться при прогнозе, что обычно не делается. В методических основах прогнозно-металлогенических построений перечень графики не предусматривает составление карты для специального тектонического анализа [4]. Создание тектонической карты-схемы необходимо при прогнозно-металлогенических построениях. В схеме должен быть отражен ряд геодинамических и тектонических факторов. Первый – их место при создании условий для главного скопления рудоносных масс, например, при магматическом, гидротермально-осадочном или осадочном процессах. Второй – условия гипогенных преобразований руд (например, скарнирование), которые мало влияют на место локализации и размеры ресурсов. Третий – современная тектоническая структура и геодинамическая история ее развития. Особое внимание при этом должно обращаться на крупные латеральные перемещения, отсутствие или наличие шарьяжей, нормальное или опрокинутое залегание толщ, претерпевших региональный метаморфизм. Третий фактор очень важен. Рассмотрение геологии, тектоники и минерагении Средиземноморья, Кубы, Урала и других территорий показывает наличие в них шарьяжей с громадными амплитудами перемещений крупных блоков с толщами, имеющими опрокинутое залегание [3]. Например, на Кубе главные крупнейшие базит-гипербазитовые массивы, определяющие никелевые ресурсы страны, были извлечены из глубин в перевернутом виде. Хромитовые месторождения оказались вверху массивов, а не внизу. Для ситуаций такого рода критерии надо «ставить с ног на голову». Примеры учета исторического анализа тектоники и геодинамики приведены для территории, расположенной северо-восточнее Байкала, где удалось уяснить взаимосвязь разных типов золоторудных месторождений: рифейских (Сухого Лога, перевернутого Чертова Корыта), кембрийского Куранаха, мезозойских (Рябинового, Лебединого). Щелочные интрузивы последних регенерируют древнее золото. Перспективы золота на уровнях мезозойских толщ зависят от распределения и былой насыщенности им кембро-силурийских и рифейских толщ.

Итак, анализ соотношений минерагенических систем с окружающей средой, ее тектоникой, геодинамикой может совершенствовать критерии прогноза. Для этого следует шире использовать геологические карты территории РФ масштаба 1 : 1 000 000, 1 : 200 000 и их объяснительные записки. Их материал требует учета и постоянного системного анализа при решении актуальных и перспективных проблем. Последними должны стать комплексные модели богатых минерагенических провинций и областей типа Южной Африки и Забайкалья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышев А. Н. Минерагения норильских Cu-Ni месторождений как пермь-триасовое выплавление магм из раннепротерозойского базальтового слоя земной коры, вмещающего вулканогенные колчеданные руды, и геоструктурные преобразования среды // Сборник тезисов докладов научно-практической конференции. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2022. – С. 26–30.
2. Барышев А. Н. Актуальные проблемы минерагении, их место в совершенствовании прогноза и расширении комплексной минерально-сырьевой базы // Сборник тезисов докладов научно-практической конференции. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2023. – С. 40–43.
3. Барышев А. Н. Геодинамика, тектоника, минерагения: системный анализ. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 438 с.
4. Кривцов А. И. Методические основы прогнозно-металлогенических построений // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 69-73.
5. Хачатрян Г. К., Барышев А. Н. Азот и водород в алмазах: следствия минерагении. – М.: ЦНИГРИ, 2022. – 188 с.

Берзин С. В. [1, 2] (sbersin@ya.ru), Петров С. В. [2], Конопелько Д. Л. [2], Курапов М. Ю. [2], Головина Т. А. [3], Черненко Н. Я. [4], Червяковский В. С. [1]

[1] ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург,

[2] СПбГУ, г. Санкт-Петербург,

[3] АО «Полиметалл УК», г. Санкт-Петербург,

[4] ООО «Полярная экспедиционная компания», г. Санкт-Петербург

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ-ИНДИКАТОРОВ Cu-Mo-Au-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ (ЦИРКОН, АПАТИТ, ТИТАНИТ) ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРАНИТОИДОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ П-ВА ТАЙМЫР

Были изучены методами EPMA и LA-ICP-MS циркон, апатит и титанит из гранитоидов ряда массивов северо-восточной части п-ова Таймыр. Сделаны выводы об окислительно-восстановительных условиях и флюидонасыщенности расплавов и перспективах обнаружения связанного Au-Cu-Mo-порфирового оруденения.

Ключевые слова: порфировое оруденение, гранит, Таймыр, циркон, апатит, титанит.

Одними из наиболее интенсивно развивающихся в последние годы методов поисковых работ на Au-Cu-Mo-порфировые месторождения являются методы оценки и дискриминации гранитоидов с точки зрения перспективности развития в них порфировых рудно-магматических систем, основанные на использовании акцессорных минералов-индикаторов. Широко развитые на Таймыре позднепалеозойские–раннемезозойские гранитоиды входят в число наиболее перспективных объектов для обнаружения новых рудных месторождений [2], однако данные массивы, как правило, характеризуются крайне слабой изученностью (без применения современных методов исследований). Задачей работы является изучение геохимических особенностей циркона, апатита и титанита гранитоидов п-ва Таймыр с целью установить условия кристаллизации расплавов и определить перспективы существования связанного Cu-Au-Mo-порфирового оруденения.

Были изучены циркон, апатит и титанит из гранитоидов Пекинского, Дорожнинского, Тесемского, Кристифенсенского, Симсовского и Широкинского массивов северо-восточной части п-ова Таймыр. Содержания элементов в минералах определено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) на приборе NexION 300S с приставкой NWR 213 в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН по методике [1] (диаметр кратера 25 мкм).

В цирконах для анализа LA-ICP-MS выбирались участки кристаллов с тонкой «осцилляторной» зональностью, соответствующие «магматическим» цирконам по геохимическим признакам, по [5], без механических включений. Ce- и Eu-аномалии в цирконах традиционно рассматриваются как индикаторы окислительно-восстановительного состояния расплавов [8 и др.]. Обогащение Eu и дефицит Y в расплаве и в цирконах обычно объясняется фракционированием амфибола и граната и замедлением фракционирования плагиоклаза в глубинных очагах за счет повышенного содержания воды [11]. Однако, по данным [6], совместная кристаллизация с титанитом приводит к изменению Eu/Eu* в цирконе и отчасти изменению Ce/Ce*, поэтому были использованы цирконы с содержанием Ta > 0,2 г/т. Температура кристаллизации циркона по содержанию Ti в цирконе, по [15], соответствует для большей части анализов температуре < 738 °C, что является благоприятным признаком для выявления порфирового оруденения, по [14]. Значения ΔFMQ для цирконов, по оксибарометру [7], из разных массивов перекрываются в пределах вариаций внутри отдельных проб и в пределах погрешности (± 0,6), что не позволило использовать этот параметр для ранжирования массивов гранитоидов.

Апатит – распространенный акцессорный минерал-индикатор для оценки петрогенезиса магматических горных пород и оруденения [3, 9]. В гранитоидах апатит является минералом-концентратором летучих компонентов (F^-, Cl^-, SO_3^{2-}). Апатиты из изученных массивов соответствует апатиту из адакитов, связанных с медно-порфировой минерализацией, по [13]. Вариации содержания Sr в апатите могут свидетельствовать о кристаллизации различных зерен апатита на разных этапах эволюции магматического расплава. Низкие содержания в апатитах

Mg, по [12], могут свидетельствовать о кристаллизации апатита из существенно фракционированных магм в условиях верхней земной коры. Окислительно-восстановительные условия магм по содержанию Mn в апатите, по [10], в изученных пробах гранитоидов были оценены в диапазоне $\log fO_2$ -10–12, погрешность $\log fO_2 \pm 2{,}7–3{,}0$ (1σ), что не позволяет использовать этот параметр для ранжирования массивов по перспективам рудоносности.

Титанит из изученных проб гранитоидов характеризуется низким отношением Fe/Alат. – 0,6–1,2, что указывает на магматическое (не гидротермальное) происхождение [4]. Титанит из большинства образцов характеризуется высокими содержаниями REE + Y 13 000–31 000 г/т, Ta 180–1100 г/т, Nb 1300–7800 г/т, низким отношением Zr/Hf < 17,5, что указывает на сходство с титанитом из рудоносных гранитоидов, связанных с порфировыми месторождениями пояса Красной реки (юго-восток Китая), по данным [16].

Таким образом, по данным изучения состава циркона, апатита и титанита, показана перспективность ряда массивов п-ва Таймыр на наличие связанного с ними Cu-Au-Mo-порфирового оруденения. Критическое рассмотрение признаков рудоносности по минералам-индикаторам открывает дорогу к заданию весов отдельным признакам, что, в свою очередь, позволяет более точно ранжировать массивы гранитодов по перспективам рудоносности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 23-27-00283).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зайцева М. В., Пупышев А. А., Щапова Ю. В., Вотяков С. Л. U-Pb-датирование цирконов с помощью квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой NexION300S и приставки для лазерной абляции NWR213 // Аналитика и контроль. – 2016. – Вып. 20, № 4. – С. 294–306.
2. Проскурнин В. Ф., Петров О. В., Романов А. П., Курбатов И. И., Гавриш А. В., Проскурнина М. А. Центрально-Арктический золотосодержащий медно-молибден-порфировый пояс // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 85. – С. 31–49.
3. Cao M., Li G., Qin K., Seitmuratova E. Y., Liu Y. Major and trace element characteristics of apatites in granitoids from C. Kazakhstan: implications for petrogenesis and mineralization // Resource Geology. – 2012. – Vol. 62. – P. 63–83.
4. Cao M., Qin K., Li G., Evans N. J., Jin L. In situ LA-(MC)-ICP-MS trace element and Nd isotopic compositions and genesis of polygenetic titanite from the Baogutu reduced porphyry Cu deposit, Western Junggar, NW China // Ore Geology Reviews. – 2015. – Vol. 65. – P. 940–954.
5. Hoskin P. W. O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of hadean zircon from the Jack Hills, Australia // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2005. – Vol. 69. – P. 637–648.
6. Loader M. A., Wilkinson J. J., Armstrong R. N. The effect of titanite crystallisation on Eu and Ce anomalies in zircon and its implications for the assessment of porphyry Cu deposit fertility // Earth and Planetary Science Letters. – 2017. – Vol. 472. – P. 107–119.
7. Loucks R. R., Fiorentini M. L., Henríquez G. J. New magmatic oxybarometer using trace elements in zircon // Journal of Petrology. – 2020. – Vol. 61, № 3. – egaa034.
8. Lu Y.-J., Loucks R. R., Fiorentini M., McCuaig T. C., Evans N. J., Yang Z.-M., Hou Z.-Q., Kirkland C. L., Parra-Avila L. A., Kobussen A. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu ± Mo ± Au Deposits // Society of Economic Geologists Special Publication. – 2016. – Vol. 19. – P. 329–347
9. Mao M., Rukhlov A. S., Rowins S. M., Spence J. Coogan L. A. Apatite trace element compositions: a robust newtool for mineral exploration // Economic Geology. – 2016. – Vol. 111. – P. 1187–1222.
10. Miles A. J., Graham C. M., Hawkesworth C. J., Gillespie M. R., Hinton R. W., Bromiley G. D. Apatite: a new redox proxy for silicic magmas // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2014. – Vol. 132. – P. 101–119.
11. Müntener O., Kelemen P. B., Grove T. L. The role of H2O during crystallization of primitive arc magmas under uppermost mantle conditions and genesis of igneous pyroxenites: An experimental study // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2001. – Vol. 141. – P. 643–658.
12. Nathwani C. L., Loader M. A., Wilkinson J. J., Buret Y., Sievwright R. H., Hollings P. Multi-stage arc magma evolution recorded by apatite in volcanic rocks // Geology. – 2020. – Vol. 48, Is. 4. – P. 323–327.

13. Pan L.-C., Hu R.-Z., Bi X.-W., Wang Y., Yan J. Evaluating magmatic fertility of Paleo-Tethyan granitoids in eastern Tibet using apatite chemical composition and Nd isotope // Ore Geology Reviews. – 2020. – Vol. 127. – 103757.
14. Pizarro H., Campos E., Bouzari F., Rousse S., Bissig T., Gregoire M., Riquelme R. Porphyry indicator zircons (PIZs): Application to exploration of porphyry copper deposits // Ore Geology Reviews. – 2020. – Vol. 126. – P. 1–18.
15. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2006. – Vol. 151. – P. 413–433.
16. Xu L., Bi X., Hu R., Tang Y., Wang X., Xu Y. LA-ICP-MS mineral chemistry of titanite and the geological implications for exploration of porphyry Cu deposits in the Jinshajiang – Red River alkaline igneous belt, SW China // Mineralogy and Petrology. – 2015. – Vol. 109. – P. 181–200.

Блинов А. В. [1, 2] **(ablinov@ igc.irk.ru), Ефремов С. В.** [1] **(esv@igc.irk.ru),**
Просекин С. Н. [1, 2] **(pros.sergey@igc.irk.ru)**
[1] ФГБУН ИГХ СО РАН, г. Иркутск,
[2] ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКИХ СТРУКТУР, СВЯЗАННЫХ С ПОРФИРОВЫМИ РУДНЫМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ

Статья посвящена анализу и визуализации палеовулканических структур, связанных с порфировыми рудными объектами, с помощью геоинформационных технологий. Представлен способ обработки цифровых моделей геологического строения, интегрирующих разные типы данных на примере одного объекта порфирового типа.

Ключевые слова: геоинформационные системы, ГИС, порфировые системы, ДЗЗ, моделирование, палеовулканические структуры.

В работе рассматривается один из способов геоинформационного анализа картографической информации в целях выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты, для которых характерен определенный набор структурных элементов и вещественных комплексов [3]. К таким элементам и комплексам относятся остатки вулканических построек, наличие штоков порфиритов, проявления метасоматических преобразований, различные типы рудной минерализации.

Рассматриваемый способ картирования основывается на комплексном анализе свободно распространяемых картографических материалов, к которым относятся данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), геологические, геофизические и геохимические карты региональных исследований, а также фондовые материалы. На основе этих данных формируется структурированная база данных и ГИС проект, в которых производится наполнение и обработка разнородных пространственных данных, в первую очередь, оцифровка геологической карты, разрывных нарушений, зон минерализации и проч.; загрузка данных ДЗЗ, например, спутник SRTM, по которым выполняется построение цифровой модели рельефа (ЦМР). По итогу всех манипуляций с данными подготавливается модель местности, на которой вынесены все интересующие критерии, перспективные с точки зрения нахождения объекта порфирового типа. Последующий анализ и выделение структурных элементов выполнялись визуальным анализом полученной модели с использованием метода аналогии по составу, строению и внешнему облику современных вулканических аппаратов.

Район работ расположен в пределах Восточного Забайкалья и приурочен к мезозойской вулканической депрессии в пределах Аргунского террейна. Непосредственно на площади работ наибольшее распространение получили изверженные породы, которые представлены вулканитами приаргунской серии ($J_{2–3}$), гранитоидами шахтаминского ($J_{2–3}$) и нерчинско-заводского

(J_{2-3}) комплексов. Осадочные породы развиты крайне ограниченно и представлены карбонатами дырбылкейской свиты (R_3) [1].

При анализе созданной модели были выделены две крупные вулканические постройки, осложненные серией небольших паразитических куполов. По внешним морфологическим признакам это полигенные андезитовые вулканы центрального типа с экструзивным куполом в центральной части. Таким образом выделились главные структурные элементы в пределах эродированных вулканических аппаратов (рис. 1).

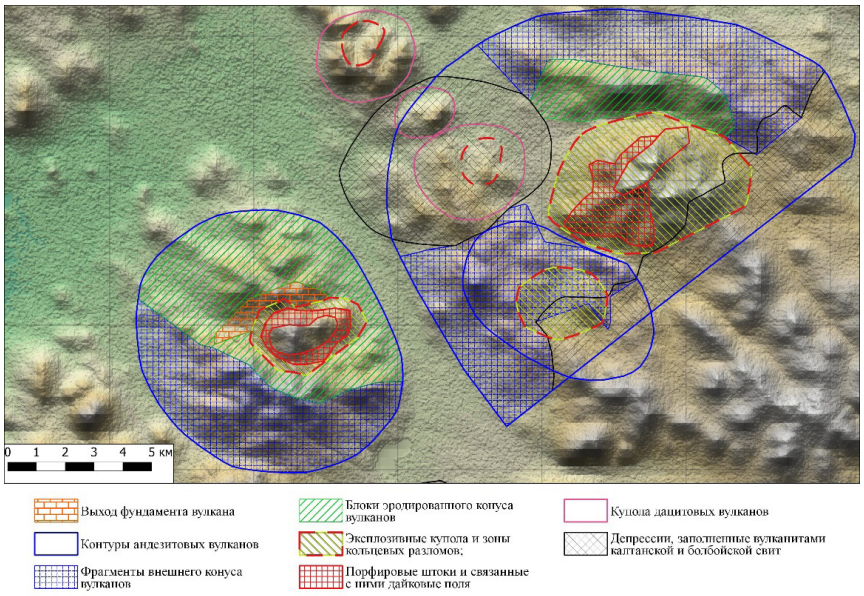


Рис. 1. Выделенные геологические блоки в пределах вулканических построек

Для каждого структурного элемента порфировой системы характерен свой собственный набор типов руд и метасоматических преобразований, поэтому для пространственного контроля используются геохимические поля в виде карт ассоциаций элементов (методика построений подробно описана в работах [2]), фиксирующие тот или иной этап эволюции порфировой системы. В качестве примера, на рис. 2 представлены некоторые из геохимических ассоциаций, вещественно характеризующих выделенные структурные элементы порфировой системы для западной вулканической постройки. Распространение контрастных ореолов ассоциации Rb, Li, Cs (биотитизация) характеризует кольцевую зону вокруг штока порфиритов (см. рис. 2, а), кото-

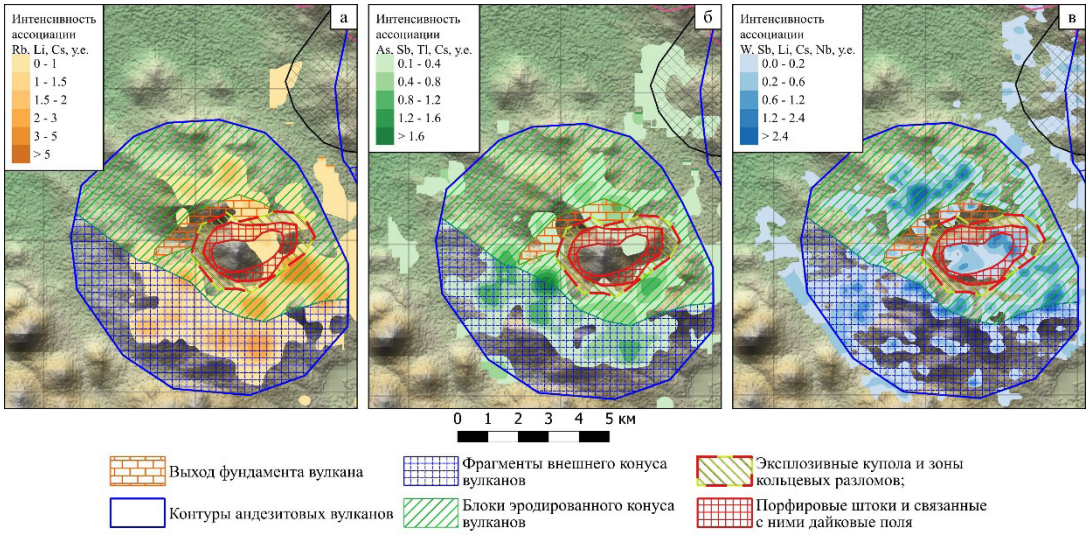


Рис. 2. Геохимические ассоциации:
а – ассоциация Rb, Li, Cs; б – ассоциация As, Sb, Tl, Cs; в – ассоциация W, Sb, Li, Cs, Nb, Ta

рый может быть соотнесен с пневматолитовым ореолом, фиксирующим ранние этапы становления порфировой рудной системы. Распространение ассоциации As, Sb, Tl, Cs (см. рис. 2, б) имеет схожие очертания кольцевой структуры, фиксирующей шток порфиритов. Наибольшую контрастность ассоциация имеет в пределах малоэродированного фрагмента конуса вулканического аппарата. Распространение ассоциации W, Sb, Li, Cs, Nb, Ta (см. рис. 2, в) фиксирует минерализацию непосредственно над границей сульфидации. Ореол также приближается к кольцевой форме с преимущественным расположением контрастных полей в пределах эродированного фрагмента конуса вулканического аппарата и штока порфиритов.

Таким образом, видно закономерное распространение геохимических ассоциаций в пределах выделенных структурных элементов вулканических построек, что при комплексном анализе позволяет выделять перспективные участки для постановки поисковых работ.

Приведенный пример показывает, что использованная методика выделения структурных элементов на основе картографических материалов и их комплексной оценки в единой геоинформационной среде может быть полезна на начальных этапах проведения геологических работ по поиску рудных объектов известного генетического типа. Используя генетическую модель, выделяя описываемые структурные элементы и вещественные комплексы, можно уверенно выделять участки, перспективные на обнаружение промышленных рудных объектов заданного типа.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.130.3.1 (№ 0284-2021-0001). Работа осуществлена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск). Подготовка материала проведена на анализаторе фрагментов микроструктуры твердых тел Минерал С7 с линией пробоподготовки в МНОЦ «Байкал».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ефремов С. В., Горячев Н. А., Будяк А. Е., Скузоватов С. Ю., Блинов А. В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы науч. конф. – 2023. – С. 100–102.
2. Ефремов С. В., Спиридонов А. М., Горячев Н. А., Будяк А. Е. Эволюция Карийской рудно-магматической системы (Восточное Забайкалье, Россия): опыт применения мелкомасштабной геохимической съемки // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63. – С. 283–294.
3. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems // Economic Geology. – 2010. – V. 105. – P. 3–41.

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

ПУЛЬСИРУЮЩИЙ ХАРАКТЕР ПРОЯВЛЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА И СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ

В докладе пульсирующий характер проявления кимберлитового магматизма объясняется контролирующей ролью суперконтинентальной цикличности.

Ключевые слова: кимберлитовый магматизм, суперконтинентальный цикл (СЦ), стадии и фазы СЦ, различная предрасположенность фаз СЦ к кимберлитовому магматизму.

Анализ распространения во времени алмазоносных кимберлитов и лампроитов обнаруживает четкую тенденцию увеличения активности алмазоносного магматизма в истории Земли от докембрия к фанерозою. При этом данное увеличение носит дискретный и неравномерный, скачкообразный, характер. Существующие модели связывают общую направленность в развитии

глобального алмазоносного магматизма с прогрессивным улучшением геодинамических и петрологических условий, наиболее благоприятных для продуцирования высокомагнезиальных углеродных расплавов, например, модель, объясняющая эту тенденцию развитием тектоники литосферных плит, происходящим на фоне падения теплового потока Земли [8]. Роль геодинамического фактора в эволюции алмазоносного магматизма при этом подчеркивалась автором [2].

Если эти и другие соображения могут объяснить указанную направленность, то его эпизодичность можно отнести за счет различной предрасположенности отдельных фаз суперконтинентального цикла (СЦ) к проявлению алмазоносного магматизма. Несколько слов о структуре суперконтинентального цикла [1]. Независимо от оценки периодичности, в его структуре выделяются две стадии, отражающие смену двух состояний Земли: 1) один континент – один океан и 2) несколько континентов – несколько океанов. Каждая из этих стадий состоит из двух фаз, разделенных кратковременным состоянием кульминации, стабилизации. В рамках первой стадии различаются *фаза аггломерации* с тенденцией уплотнения «слипания» частей только что образованного суперконтинента и *фаза деструкции* в виде проявлений континентального рифтогенеза. Первая фаза второй стадии – *фрагментация*, соответствующая распаду суперконтинента, характеризуется быстрыми спрединги в новообразованных океанах, вторая фаза – *конвергенция*, соответствующая сборке, – замедленными спрединги или их отсутствием и активными субдукциями, приводящими к коллизиям и закрытию океанов.

В настоящее время установлена взаимосвязь формирования многих типов полезных ископаемых с определенными подразделениями СЦ [4] и другие. В этом аспекте данный вопрос рассматривается в литературе и в отношении алмазоносных кимберлитов начиная с работы Х. Джелсма с соавторами [7], в которой активность кимберлитообразования в мезокайнозое была связана с распадом Пангеи. В статье [8] отмечены пауза в проявлении глобального алмазоносного магматизма, соответствующая слитному существованию Родинии, и его усиление во время сборки и распада этого суперконтинента. При этом месторождения такого класса отсутствуют в стадии слитного суперконтинента.

Данная тема затрагивалась и автором [1] в свете разработанной им суперконтинентальной цикличности с периодом 400 млн лет. На основании проведенного анализа по проявлениям алмазоносного магматизма в различных фазах СЦ согласно стадиям и фазам его структуры последние, включая крупные промышленные месторождения коренных алмазов, охарактеризованы в аспекте их предрасположенности к алмазоносному магматизму. Выделены интервалы наиболее активного такого проявления, соответствующие фазам распада и сборки; умеренного или незначительного проявления (фазы деструкции) и периоды отсутствия или незначительного проявления в фазы агломерации новообразованного суперконтинента.

При этом указывалось, что выявленное распространение во времени алмазоносного магматизма по фазам суперконтинентального цикла в целом коррелируется с установленным ранее автором непрерывно-дискретным характером проявлений во времени основного-ультраосновного магматизма, иными словами КМП, связанных непосредственно с деятельностью мантийных плюмов. Данное замечание приобретает значение в свете того, что, как выяснилось, активность суперплюмов в высокой степени коррелируется в абсолютном времени с фазами полной сборки и распада суперконтинентов [6].

Из сказанного следует, что основная роль в формировании алмазоносных магматитов принадлежит мантийным плюмам, которые присутствуют во всех фазах СЦ, в той или иной мере генерируя кимберлиты и лампроиты. Вместе с тем роль тектоники литосферных плит в этом также неоспорима, так как ее механизм действует в основном только в фазы распада и сборки СЦ, но именно они являются наиболее продуктивными в этом плане. Вступление механизма тектоники плит в СЦ, по-видимому, благоприятствует усилению алмазоносного магматизма за счет появления длинноволновой конвекции и лавинообразного поступления застойных слебов после субдукций к границе ядро–мантия, что способствует рождению суперплюмов [5]. Таким образом, только сочетание плюмовых и плитнотектонических процессов обеспечивает максимальное проявление алмазоносного магматизма.

Итак, в течение СЦ продуктивность алмазоносного магматизма прогрессирует от первой к четвертой фазе с кульминацией в фазы распада и сборки. Период наименьшей его активности,

достигающей паузы, охватывает фазу агломерации и прилегающих интервалов соседних фаз. При этом следует иметь в виду, что сказанное не определяется строго означенными границами фаз. Так, практическое отсутствие алмазоносоного магматизма в последние 50 млн лет, возможно, фиксирует рубеж в конце фазы конвергенции, отмечающий переход к эпохе его затухания.

Рассматриваемая проблема требует дальнейшего изучения, но сказанное позволяет сделать вывод о том, что неравномерный, пульсационный характер алмазоносного магматизма в истории Земли на фоне суперконтинентальной цикличности контролируется фазами СЦ от его отсутствия или незначительного проявления в одних фазах до максимального – в других.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Божко Н. А. Алмазоносный магматизм в суперконтинентальных циклах // Руды и металлы. – 2019. – № 3. – С. 22–27.
2. Божко Н. А. Геодинамический фактор в эволюции алмазоносного магматизма Земли // Научная конференция Ломоносовские чтения. Секция геологии. – 2022. – С. 26–27.
3. Божко Н. А. Суперконтинентальная цикличность в истории Земли // Вестник московского ун-та. Сер. 4. Геология. – 2009. – № 2. – С. 13–27.
4. Barley M. E., Groves D. I. Supercontinent cycle and the distribution of metal deposits through time // Geology. – 1992. – V. 20. – P. 291–294.
5. Condie K. C., Episodic continental growth and supercontinents: a mantleavalanche connection // Earth and Planetary Science Letters. – 1998. – V. 163. – P. 97–108.
6. Gamaleldien H., Doucet L. S., Li Z.-X. Global geochemical fingerprinting of plume intensity suggests coupling with the supercontinent cycle // Nature Communications. – 2019. – V. 10(1). – P. 1–6.
7. Jelsma H, Barnett W, Richards S, Lister G. Tectonic setting of kimberlites // Lithos. – 2009. – V. 112. – P. 155–165.
8. Tappe S., Katie S., Torsvik T., Massuyeau M., Wit M. 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.

Борисов В. В. [1], (vabo@search-centric.ru), Вахрушев А. М. [2], (vahrushev@tsnigri.ru), Юон Е. М. [3], (eyuon@rfgf.ru), Сысоев В. С. [1], (vlsy@search-centric.ru)

[1] ООО «Серч Сентрик», г. Москва,

[2] ФГБУ «ЦНИРИ», г. Москва,

[3] ФГБУ «Росгеолфонд», г. Москва

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОСТУПА К ПУБЛИЧНЫМ ДАННЫМ ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Российские государственные институты и государственные организации проводят большую работу в целях обеспечения общественности доступом к открытым данным по недропользованию и инфраструктуре на территории Российской Федерации. Несмотря на большой прогресс в этой области анализ и фактический доступ к данным по-прежнему имеет существенный потенциал к упрощению и улучшению в силу разнообразия форм представления данных, способов и мест их публикации и обновления.

Рассмотрена инициатива по консолидации всех таких данных в рамках единого интерфейса с возможностью доступа по принципу единого окна и интегрированного базового анализа данных.

Ключевые слова: публичные данные, изученность, недропользование, ЕФГИ, Росгеолфонд, Роснедра, ГКЗ, ГБЗ, пространственные данные, геологические данные, инфраструктурные данные.

На настоящий момент по территории Российской Федерации доступен существенный объем публичных данных по недропользованию. Основным источником информации является федеральная государственная информационная система ЕФГИ, однако это не единственный источник. Данные так же доступны на информационных страницах агентства Роснедра и ГКЗ

ФГИС ТП, подведомственных Роснедрам институтов ВСЕГЕИ, ВНИГНИ, ЦНИГРИ, территориальных фондов геологической информации [2–4].

Представлены данные в разных формах и форматах в зависимости от их типа и состава. Excel таблицы и PDF файлы онлайн, интерфейсы поиска и представления данных в виде веб страниц, реестры Excel, пространственные данные изученности в виде онлайн картографических интерфейсов, шейп-файлов и сервисов WFS/WMS, JSON-объектов, API точек доступа [1–3].

Все эти данные так или иначе взаимосвязаны. Для эффективного их анализа необходимо предварительно произвести их сбор увязку и консолидацию или загрузку в единую систему. Однако работа с такими данными осложняется еще и тем, что эти данные во многих источниках непрерывно обновляются. Либо загружаются и публикуются новые, либо меняется статус конфиденциальности исторических данных и они становятся доступны для скачивания [1, 2].

Таким образом, необходимо еще и вести постоянный «мониторинг» доступных данных, что в силу разнообразий форм их представления и способов обновления, затруднительно.

Во исполнение положений 205-ФЗ в 2020 г. была реализована и запущена в эксплуатацию ключевая цифровая инициатива Роснедр – Единый фонд геологической информации о недрах (ФГИС «ЕФГИ»). Одна из ее ключевых задач – консолидация сведений обо всей геологической информации о недрах, накопленной по территории Российской Федерации и хранящейся в организациях различных форм собственности, включая федеральные и региональные органы власти, фонды геологической информации, компании-недропользователи [4]. Все эти сведения отображаются в реестре первичной и интерпретированной геологической информации – Реестре ЕФГИ. Благодаря этой инициативе удалось проинвентаризировать большой объем геологической информации – известно, что к настоящему моменту произведено и хранится по всей территории РФ более 2,7 млн геологических документов. Более 330 тысяч из них переведены в электронный вид и доступны пользователям в режиме онлайн. В первую очередь, это геологические отчеты, геологические карты, паспорта месторождений.

Вместе с тем Единый фонд геологической информации – это не единственный источник сведений о недропользовании, существуют иные Государственные системы и ресурсы Федерального агентства по недропользованию, иные публичные реестры.

Мы в «Серч Сентрик» поставили задачу организовать автоматизированный сбор данных с тем, чтобы получить постоянно актуализируемый доступ как к пространственным, так и текстовым данным и физическим файлам через единое окно с возможностью создания удобных выборок данных по пространственному или тематическому принципу, или их совокупности.

На данный момент организован регулярный (еженедельный) сбор данных из открытых реестров Росгеолфонда. Все данные подразделяются на:

1. Текстовые данные, собираемые из открытых реестров, например, реестр геологических документов.

2. Пространственные данные, собираемые из картографических вэб-сервисов, например, изученность, сведения из Реестра первичной и интерпретированной геологической информации ЕФГИ.

3. Текстовые данные из открытых реестров, конвертированные в пространственные путем распознания координат, например, реестры работ по ГИН и участков недр и лицензий.

Данные дополнены «неизменяемыми» слоями, такими как административно-территориальное деление РФ, номенклатурные листы 10, 5 и 2 км.

В представленных таким образом данных, кроме традиционного поиска (по ключевым словам) и вынесения соответствующих слоев на карту, доступных в публичных интерфейсах ЕФГИ и других систем, имеются следующие возможности [2, 3]:

1. «Геопоиск» по произвольному контуру, или контуру федерального округа или района, номенклатурного листа, конкретных работ по ГИН, лицензионного участка, месторождения и т. п., с целью определения всех прочих данных (например, данных изученности), пересекающих этот контур прямо из табличного интерфейса, без необходимости выносить какие-либо слои на карту.

2. Дальнейшее уточнение полученной выборки путем фильтрации по атрибутам метаданных или поиска по ключевым словам.

3. Сохранение выборок в именованных «корзинах».

4. Подписка на новые данные, удовлетворяющие вышеупомянутым критериям, которые могут появиться в системе в дальнейшем в силу обновления государственных публичных реестров.

Отдельный интерес в рамках планирования и постановки работ по геологическому изучению как для государственных, так и для негосударственных организаций (особенно занимающихся greenfield-проектами) представляет информация по инфраструктурной обеспеченности планируемых регионов работ и сведения о пространственном положении объектов с особыми условиями использования территорий. К инфраструктурным относятся объекты (существующие и планируемые): транспортные сети, транспортировочные сети (трубопроводы различных субстанций), объекты энергетики (ЛЭП, электростанции и т. п.), перерабатывающие и добывающие предприятия, кластеры и зоны преференций для ведения предпринимательской деятельности (ТОР, ТОСЭР, МСЦ, ПСУ) и т. п., то есть объекты, характеризующие доступность и перспективность развития территорий. Ко второму типу относятся объекты, ограничивающие или делающие невозможным проведение геологических работ: ЗОУИТ (защитные зоны водных объектов, лесничества, объекты МО и т. п.), ООПТ и т. д.

Сведения о таких объектах представлены как в ГИС (государственных информационных системах) и их подсистемах, так и коммерческих ресурсах. Например, в «ФГИС ТП» (Федеральной государственной информационной системе территориального планирования) и ее геоинформационной подсистеме имеются данные (схемы, действующие и проекты) по территориальному планированию по РФ в целом и по субъектам по многим инфраструктурным объектам, ООПТ и др. [5]. На Портале ПД НСПД (Портал пространственных данных Национальной системы пространственных данных) представлена информация по административному делению РФ, кадастровому делению, ЗОУИТ, ООПТ и другие [6]. Ресурс «energybase.ru» представляет информацию по отраслям и объектам электроэнергетики, нефти, газа, угля, но на коммерческой основе (без платной подписки доступен ограниченный набор сведений) [7]. Также существуют узкопрофильные ресурсы, посвященные отдельным тематикам и содержащие большой объем данных и документов по определенной предметной области, например, ресурсы информационно-аналитической системы «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ») в области ООПТ России [8].

Как отмечено выше, такого рода ресурсы не имеют унифицированного способа предоставления данных, а имеют различные процедуры получения авторизованного доступа к ним (подписка, авторизация через ЕСИА и др.) или определенные условия выдачи и использования информации. При этом существуют API-способы автоматизированного получения данных из них, но слабо документированные (ArcGis REST, OGC API, WFS/WMS REST, JSON from API endpoint). Также имеются технические ограничения доступности (недостаточные серверные мощности ресурсов, отсутствие индексирования БД, недостаточная настройка), что приводит в том числе и к ошибкам вида «504 Gateway Time Out» и др. Данные нюансы снижают доступность востребованной информации и требуют индивидуального подхода к индексации каждого ресурса.

Дальнейшее развитие автоматизированного подхода сбора данных предполагает 2 основных направления:

1. Сбор дополнительных данных для пополнения системы, например:
   b. объекты учета ГБЗ (гос. баланс запасов);
   c. балансы (сборник балансов полезных);
   d. анализ минерально-сырьевой базы;
   e. прогнозные ресурсы;
   f. объемы ГРР – объектный план-выполнение;
   g. координаты объектов ГРР;
   h. заявки на лицензирование недр;
   i. особо охраняемые природные территории;
   j. путепроводы и трубопроводы;
   k. дорожная сеть;
   l. объекты энергетики;
   m. документы ГКЗ;

n. инфраструктура РФ;

o. ЗОУИТ;

p. ограничения недропользования.

2. Углубление способов интеграции с государственными реестрами через соответствующие инструменты API, например:

c. индексация дополнительных, доступных через API данных, например, списков файлов и приложений геологических отчетов;

d. интеграция дополнительного, доступного через API функционала, например, формирование заявки на выгрузку файлов геологических отчетов, собранных в «корзину» после авторизации через ЕСИА.

Система доступна в режиме тестирования бесплатно по адресу www.search-centric.com/monline.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Борисов В. В., Ратьков С. С., Юсуфов Б. С. Возможности по обеспечению контроля качества исторических цифровых геолого-геофизических данных // Материалы XII международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2023.
2. Гончаров Е. М., Ратьков С. С., Борисов В. В. ИС «Единое геоинформационное пространство» – технология комплексного анализа многомерных геоданных для решения геологоразведочных задач // Материалы XI международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2022.
3. Борисов В. В., Ратьков С. С., Юсуфов Б. С. «Интеграция геолого-геофизических данных в единое геоинформационное пространство». Труды конференции «Актуальные проблемы поисковой геологии», ФГБУ «ВИМС». – М., 2022.
4. ЕФГИ. Единый фонд геологической информации о недрах. Реестр первичной и интерпретированной информации: [Электронный ресурс]. – URL: https://www.efgi.ru/ (Дата обращения: 06.03.2024).
5. ФГИС ТП. Федеральная государственная информационная система территориального планирования: [Электронный ресурс]. – URL: https://fgistp.economy.gov.ru. (Дата обращения: 06.03.2024).
6. Национальная система пространственных данных. Геоинформационный портал: [Электронный ресурс]. URL: https://nspd.gov.ru/map . (Дата обращения: 06.03.2024).
7. Веб сайт energybase.ru: [Электронный ресурс]. – URL: https://energybase.ru . (Дата обращения: 06.03.2024).
8. ООПТ России. Сайт информационно-аналитической системы «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ»): [Электронный ресурс]. – URL: http://oopt.aari.ru . (Дата обращения: 06.03.2024).

Будяк А. Е. (budyak@igc.irk.ru), Тарасова Ю. И. [1, 2], (j.tarasova84@yandex.ru)

[1] ИГХ СО РАН, г. Иркутск,

[2] ИрНИТУ, г. Иркутск

ЭВОЛЮЦИЯ РУДНОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОРОГЕННОГО ТИПА БОДАЙБИНСКОГО РЕГИОНА

Рассмотрена стадийность минералообразования месторождений Ыкан и Красное, а также вероятность отнесения данных месторождений к Сухоложскому генетическому типу. Сделано предположение о вероятности формирования данного типа месторождений при метаморфизме, превышающем фацию зеленых сланцев.

Ключевые слова: Бодайбинский район, золоторудные месторождения, минералообразование.

Наиболее известным представителем золоторудных месторождений орогенного типа в пределах Бодайбинского района является месторождение Сухой Лог, по названию которого крупные месторождения дальнетайгинского-жуинского стратоуровней объединены в единый «Сухоложский» генетический тип (СГТ). Согласно [10], формирование месторождений СГТ происходило по метаморфогенно-метасоматическому сценарию.

Аналитические исследования проводились с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН. Подготовка материала проведена на анализаторе фрагментов микроструктуры твердых тел «Минерал С7» с линией пробоподготовки в МНОЦ «Байкал».

Представлено исследование эволюции минералогического состава месторождений Красный (являющегося типичным примером СГТ) и Ыкан, отнесение которого к СГТ является дискуссионным. Выбор объектов продиктован тем, что между ними есть как сходные параметры, так и значимые отличия. Оба месторождения приурочены к верхней части разреза аунакитской свиты, имеют схожий структурный (апикальная часть складки и ее висячее крыло) и литологический (контакт углеродсодержащей пачки филлитовидных сланцев с песчаниками) контроль. Однако месторождения отличаются степенью метаморфических преобразований: метаморфизм месторождения Красный не превышал фации зеленых сланцев, что является типичным для месторождений СГТ, в то время как для месторождения Ыкан достигал амфиболитовой фации. Данная задача исследования актуальна, т. к. открытие месторождения Ыкан поставило вопрос о перспективах обнаружения месторождений золота в Бодайбинском районе в *PT*-условиях, превышающих метаморфизм зеленых сланцев.

По результатам исследований на этих месторождениях выделены пять основных стадий формирования минеральных ассоциаций, что в значительной степени повторяет стадийность формирования месторождения Сухой Лог:

Стадия 1. Ранняя низкотемпературная стадия формирования месторождения происходила на этапе осадконакопления и диагенетического преобразования осадочной толщи. Согласно [9], возраст отложений аунакитской свиты ~ 590–570 млн лет, соответственно, данный возрастной интервал является временем формирования фрамбоидального пирита-1 (Py-1), обогащенного золотом и рядом редких элементов (RE) (As, Pb, Zn, Ag, Co, Ni, Cr). Согласно представлениям [6], формирование фрамбоидов связано с осаждением из коллоидных растворов на раннем этапе седиментации.

Стадия 2. К следующей дорудной стадии относятся низкотемпературные региональные преобразования вмещающих пород, способствовавших дегидратации осадков и миграции флюида в сводовые части антиклинальных структур. Происходит формирование мелкозернистых кубических кристаллов пирита-2 (Py-2), содержащих микроразмерное золото и повышенные концентрации ряда элементов (Pb, Zn, Ag, Co, Ni, Cr, As, Au). Содержание золота, по данным, достигает 0,19 мас. %, что аналогично с прочими месторождениями СГТ в Бодайбинском районе [1]. Температура кристаллизации кубического пирита может составлять ~ 100 °С [8], ввиду чего появление Py-2 фиксирует изменения региональных условий, отвечающих стадии метагенеза (*P* ~ 1кбар, *T* – 90–110 °С). Повышение *PT*-условий в обозначенных толщах могло быть результатом увеличения литостатического давления при накоплении вышележащих молассоидных толщ анангрской свиты. Данное событие на территории Бодайбинского региона происходило с 570 млн лет (пик ~ 555 млн лет назад) [9].

Метаморфический этап развития территории приходится на поздний силур–ордовик [3] и связан с коллизионно-аккреционными процессами в южной периферии Сибирского кратона, приведшими к формированию гранитов Мамского комплекса. Метаморфический этап включает в себя прогрессивную и регрессивную (диафторез) стадии.

Стадия 3. Раннерудная стадия развития месторождения соответствует этапу прогрессивного метаморфизма и протекает в условиях резкого повышения *PT* параметров. Для данной стадии развития характерны зерна ранней разновидности пирротина, повторяющие морфологию Py-1, Py-2, что указывает на процесс пирротинизации. Аналогичные формы выделения пирротина были установлены ранее на месторождениях Голец Высочайший, Чертово Корыто [5, 11], относящихся к СГТ. Согласно значительному количеству работ [2, 7], при пирротинизации

пирита последний теряет практически все примесные элементы, включая золото. Высвобождение S и RE ведет к их перераспределению с последующей кристаллизацией наложенной полиметаллической ассоциации с золотом.

Отличительной особенностью месторождения Ыкан является появление на данной стадии значительного объема магнетита в ассоциации с сидеритом, халькопиритом (Ccp-1), арсенопиритом (Apy-1) и золотом.

Стадия 4. Собственно рудная стадия соответствует регрессивному этапу метаморфизма, снижению *PT* параметров рудной системы, с которой связан процесс диафтореза [4]. Происходит замещение высокотемпературной минеральной ассоциации (гранат + биотит) на среднениз котемпературную (мусковит + хлорит). Процесс формирования синрудных кварц-сульфидных жил и прожилков изучаемых месторождений находится в диапазоне температур 220–360 °С. Происходит кристаллизация Py-3 совместно с галенитом (Gn), сфалеритом (Sp), а также подчиненным количеством Ccp-2, Apy-2 и самородного золота. Развитие в рудной зоне мелких метакристаллов сидерита и анкерита по периферии сульфидных агрегатов указывает на протекание рудного процесса в присутствии углекислотной флюидной фазы.

Значимых содержаний примесных элементов на поверхности Py-3 не обнаружено. Исключение составляет As, содержания которого достигают 3000 г/т. Формирование мышьяковистого пирита соответствует стадии возникновения собственной арсенопиритовой (Asp-2) минеральной фазы. При этом максимальное количество самородного золота тяготеет к ассоциации Asp-2 + Py-3.

Стадия 5. Пострудная стадия представлена возникновением крупных кристаллов идиоморфного пирита-4 (Py-4) в кварц-карбонатной оторочке, что предполагает реактивацию гидротермального процесса, вызвавшего отложение оставшегося в подвижной фазе вещества.

Результаты исследований подтверждают, что месторождение Ыкан является аналогичным по стадийности с месторождением Красный и может быть отнесено к месторождениям СГТ. Данный вывод доказывает возможность обнаружения месторождений золота в пределах ореолов метаморфизма, превышающих фацию зеленых сланцев.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.130.3.1 (№0284-2021-0001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горяев Н. А., Будяк А. Е., Михалицына Т. И., Тарасова Ю. И., Горячев И. Н., Соцкая О. Т. Эволюция орогенного оруденения в структурах южного и восточного обрамления Сибирского кратона // Науки о земле и недропользование. – 2023. – Т. 46, № 4. – С. 374–389. – https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-4-374-389
2. Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Жмодик С. М., Миронов А. Г. Состав и условия формирования золотоносных пирротиновых руд Восточного Саяна (на примере рудопроявления Ольгинское) // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 5. – С. 666–687.
3. Зорин Ю. А., Мазукабзов А. М., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Пресняков С. Л., Сергеев С. А. Силурийский возраст главных складчатых деформаций рифейских отложений Байкало-Патомской зоны // ДАН. – 2008. – Т. 423, № 2. – С. 228–233.
4. Иванов А. И. Месторождение «Ыканское» – новый тип коренных месторождений золота сульфидного типа в Бодайбинском рудном районе // Известия Сибирского отделения. Секции наук о Земле РАЕН. – 2007. – № 1. – С. 34–44.
5. Тарасова Ю. И., Будяк А. Е., Иванов А. В., Горячев Н. А., Игнатьев А. В., Веливецкая Т. А., Радомская Т. А., Блинов А. В., Бабяк В. Н. Типоморфизм, типохимизм и изотопно-геохимические характеристики сульфидов железа месторождения Голец Высочайший (Восточная Сибирь) // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 150, № 1. – С. 63–75. DOI: 10.31857/S0869605521010123.
6. Hamor T. The occurrence and morphology of sedimentary pyrite // Acta Geologica Hungarica. – 1994. – V. 37/1–2. – P. 153–181.
7. Large R. R., Maslennikov V. V., Robert F., Danyushevsky L. V., Chang Z. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena Goldfield, Russia // Econ. Geol. – 2007. – V. 102. – P. 1233–1267.

8. Onufrienok V. V. Distribution of vacancies in the pyrite matrix at various depths of rock occurrence // Trends in the development of science and education. – 2021. – № 79-2. – P. 119–123.
9. Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N. Interaction between the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the Siberian craton as recorded by detrital zircon suites from Transbaikalia // Precambrian Res. – 2015. – V. 267, № 1. – P. 39–71.
10. Tarasova Yu. I., Budyak A. E., Chugaev A.V. [et. al.] Mineralogical and isotope-geochemical (δ13C, δ34S and Pb-Pb) characteristics of the Krasniy gold mine (Baikal-Patom Highlands): Constraining ore-forming mechanisms and the model for Sukhoi Log-type deposits // Ore Geol. Rev. – 2020. – V. 119. 103365. – DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103365
11. Tarasova Yu. I., Sotskaya O. T., Skuzovatov S. Yu., Vanin V. A., Kulikova Z. I., Budyak A. E. Mineralogical and geochemical evidence for multi-stage formation of the Chertovo Koryto deposit // Geodynamics & Tectonophysics. – 2016. – V. 7. – № 4. – P. 663–677. – http://dx.doi.org/10.5800/GT-2016-7-4-0227

Бужинская Е. В. [1] (katja-buzhin@yandex.ru), Бондаренко Н. В. [1] (nicolasbond@yandex.ru), Герасимова В. Н. [2] (vali-gerasimova@mail.ru)
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва,
[2] АО «Якутскгеология», г. Якутск

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШИЛГОНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ С МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО ТИПА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Проведен сравнительный анализ Шилгонского рудного поля с месторождениями золото-сульфидного типа восточной части республики Саха (Якутия) Нежданинское и Кючус. Выявлено сходство Шилгонского рудного поля с данными месторождениями по наиболее важным критериям: геолого-структурной позиции, структурно-морфологическим типам оруденения и вещественному составу руд, технологическим типам руд.

Ключевые слова: восточная часть Республики Саха (Якутия), золото-сульфидный тип, Шилгонское РП, Кючус, Нежданинское.

Шилгонское рудное поле (РП) расположено в восточной части Республики Саха (Якутия) в пределах Эвено-Бытантайского улуса (района) с центром в пос. Батагай-Алыта (Саккырыр). В металлогеническом отношении Шилгонское рудное поле находится в пределах Иссердехского рудного узла (Нижне-Билляхской рудной зоны) Еккюччю-Ханнахского (Улагино-Билляхского) рудного района Дулгалахской минерагенической зоны [3]. Оруденение Шилгонского РП относится к золото-сульфидному рудно-формационному типу. В пределах Шилгонского РП известны 3 рудопроявления: Шилгон, Крутое и Артык (Богданович Ю. И., 2014ф).

Первые поисковые работы на площади Шилгонского РП были проведены в 2012–2014 гг., по их итогам на рудопроявлении Шилгон были оконтурены несколько рудных тел и оценены прогнозные ресурсы золота по категории P_2 (39,3 т) (Богданович Ю. И., 2014ф). В 2021–2023 гг. поисковые работы были продолжены АО «Якутскгеология», в результате чего были прослежены известные и выявлены новые рудные тела. По итогам данных работ были оценены прогнозные ресурсы золота по категориям P_1 на рудопроявлении Шилгон в количестве 28,4 т и P_2 на рудопроявлениях Шилгон и Крутое в количестве 17,9 т. Площадь Шилгонского РП изучена неравномерно: детально изучено только рудопроявление Шилгон, по которому и оценена большая часть прогнозных ресурсов (все ресурсы кат. P_1 и большая часть ресурсов кат. P_2 – 17,47 г/т из 17,9 т) (Герасимова В. Н., 2023ф). В связи с этим возможен прирост прогнозных ресурсов за счет более детального изучения других частей площади.

В восточной части республики Саха (Якутия) балансовые запасы (кат. $C_1 + C_2$) рудного золота с учетом как собственно золоторудных, так и комплексных объектов составляют 873,7 т.

Месторождения золота представлены следующими рудно-формационными типами: золото-сульфидным (полиформационным), золото-кварцевым малосульфидным, золото-редкометалльным, золото-сурьмяным березитовым (комплексное), редкометалльным олово-вольфрамовым (комплексное, золото попутное). Большая часть балансовых запасов (кат. $C_1 + C_2$) рудного золота в регионе (754,6 т – 86,4 %) приходится на 2 месторождения: Нежданинское и Кючус (балансовые запасы приведены по данным ГБЗ ПИ РФ по состоянию на 01.01.2023 г). Оба месторождения представлены золото-сульфидным рудно-формационным типом. Из них месторождение Нежданинское на данный момент разрабатывается.

Месторождения Нежданинское и Кючус были открыты еще в XX в. Нежданинское было открыто в 1950-х гг. в результате поисковых работ масштаба 1 : 100 000 Гурина Г. Ф. и масштаба 1 : 25 000 Кирусенко Т. С. и Пономарева Ю. Г. [2]. Месторождение Кючус было открыто в 1960–1980-х гг. в результате многочисленных геолого-съемочных и поисковых работ (Яйскеляйнен Г. С., Архипов Ю. В., 1965ф; Василевский Н. С., 1973ф; Сенотрусов Ю. И., 1983ф, Белокрылов Ю. А., 1983ф; Эпов О. Г., 1985ф; Слободчиков В. А., 1987ф;), поисково-оценочных работ (Захаров, 1985ф). С тех пор на обоих месторождениях были проведены многочисленные работы, как геологоразведочные, так и научно-исследовательские, результатом которых стали отчеты, статьи, книги.

Таким образом, по месторождениям золото-сульфидного рудно-формационного типа восточной части республики Саха (Якутия) Нежданинскому и Кючус накоплен большой объем информации. В связи тем, что Шилгонское РП, как было сказано ранее, имеет такой же рудно-формационный тип, нами была собрана, изучена и проанализирована наиболее важная информация, имеющаяся по данным месторождениям.

После этого был проведен сравнительный анализ Шилгонского РП с месторождениями Нежданинское и Кючус по наиболее значимым критериям: геолого-структурной позиции, структурно-морфологическим типам оруденения, вещественному составу руд и околорудных метасоматитов, технологическим свойствам руд.

Все три объекта (месторождения Нежданинское и Кючус и Шилгонское РП) в структурном отношении приурочены к сочетанию пликативных и дизъюнктивных структур. Вмещающие породы, слагающие пликативные структуры, представлены терригенными отложениями с небольшим количеством углистого вещества. Рудовмещающие толщи состоят главным образом из алевролитов и песчаников. Основным структурно-морфологическим типом оруденения всех трех объектов являются минерализованные зоны дробления терригенных пород (преимущественно алевролитов и песчаников). Особенность вещественного состава руд заключается в том, что золото в них главным образом тонкодисперсное, в срастании с сульфидами (в основном с арсенопиритом и пиритом). Свободное золото встречается значительно реже. Околорудные изменения представлены березитоидными метасоматитами. Технологические особенности руд обусловлены особенностями их вещественного состава:

- золото преимущественно тонкодисперсное в срастании с арсенопиритом и пиритом;
- присутствует углеродистое вещество, являющееся естественной составляющей терригенных пород, обломки которых слагают зоны дробления.

Учитывая эти особенности, в соответствии с технологической классификацией золотосодержащих руд, разработанной «Иргиредметом» (предусматривает разделение на простые легкоцианируемые и упорные трудноцианируемые) [1], руды месторождений Нежданиского и Кючус и Шилгонского РП можно отнести сразу к двум типам:

Б. Руды с тонковкрапленным золотом;

Г. Руды, характеризующиеся природной сорбционной активностью.

Оба типа (Б и Г) относятся к упорным рудам. Таким образом, руды всех трех объектов (месторождений Нежданинского и Кючус и Шилгонского РП) можно назвать «дважды упорными».

В отношении структурно-морфологических типов оруденения Шилгонское РП ближе к месторождению Кючус, чем к месторождению Нежданинское. Оруденение Шилгонского РП и месторождения Кючус представлено зонами дробления и кварцевого прожилкования терригенных пород, на месторождении Нежданинское помимо них присутствуют кварцевые жилы.

В плане вещественного состава руд Шилгонское РП также больше схоже с месторождением Кючус, чем с месторождением Нежданинское. Во-первых, в рудах Нежданинского месторожде-

ния имеет большее распространение свободное золото по сравнению с месторождением Кючус и Шилгонским РП. В рудах последних свободное золото присутствует в основном в количестве первых знаков в единичных протолочных пробах, отобранных из наиболее продуктивных участков рудных тел. Во-вторых, тонкодисперсное золото в срастаниях с сульфидами месторождения Кючус и Шилгонского РП в основном представляет собой микровключения золота в кристаллах арсенопирита и пирита. На месторождении Нежданинское золото чаще выступает в роли цементирующей массы, включающей как монокристаллы пирита и арсенопирита, так и их катаклазированные агрегаты, часто встречаются каемки золота на кристаллах этих минералов, хотя также наблюдаются и микрокристаллы золота в центральных и иных зонах кристаллов арсенопирита [3].

И в отношении технологических типов руд Шилгонское РП ближе к месторождению Кючус, чем к месторождению Нежданинское. На Нежданинском месторождении помимо упорных руд присутствуют, хоть и в значительно меньшем количестве, простые руды (по классификации «Иргиредмета», тип А [1]). Наличие простых руд на Нежданинском месторождении обусловлено тем, что там одним из структурно-морфологических типов оруденения (хоть и не самым распространенным) являются жилы, пробы из которых содержат до 80 % свободного золота.

Таким образом, в результате сравнительного анализа установлено, что Шилгонское РП в целом имеет сходство как с месторождением Кючус, так и с месторождением Нежданинское. Однако, структурно-морфологические типы оруденения, вещественный состав руд и, как следствие, технологические типы руд имеют большее сходство с месторождением Кючус, которое и следует считать месторождением-аналогом для Шилгонского РП.

Автор выражает благодарность:

- *Пачерскому Н. В. за предоставление карты (Прогнозно-минерагеническая карта золотоносности восточной части Республики Якутия (Саха). Схемы размещения месторождений с запасами золота, серебра и других металлических ПИ с данными по их продуктивности. 2023 г. (составил Пачерский Н. В.));*
- *Карасю С. А., Пачерскому Н. В. за помощь в сборе опубликованной и фондовой литературы.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баликов С. В., Дементьев В. Е. Золото : Свойства. Геохимические аспекты. – Иркутск : ОАО «Иргиредмет», 2015. –327 с.
2. Гамянин Г. Н., Бортников Н. С., Алпатов В. В. Нежданинское золоторудное месторождение – уникальное месторождение северо-востока России. – М. : ГЕОС, 2000. – 228 с.
3. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Серия Верхоянская. Лист Q-52-XI, XII. Объяснительная записка. –1978.

Бурмистров А. А. (alek.burmistroff2017@yandex.ru),
Хребтиевский В. В. (st064292@gmail.com)
Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

НЕКОТОРЫЕ СТРУКТУРНЫЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ НА ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ СЕВЕРНОГО УЧАСТКА МИХЕЕВСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

На основе массовых замеров ориентировок и данных по минеральному составу прожилков выявлены основные системы штокверка, их связь с разрывной тектоникой. В сульфидных рудах на СВ фланге месторождения локально развита Au-полиметаллическая минерализация.

Ключевые слова: медно-порфировая минерализация, золото-полиметаллическая минерализация.

В тектоническом плане это месторождение находится в пределах краевой части Восточно-Уральской мегазоны, в зоне динамического влияния Челябинского глубинного разлома и приурочено к Михеевской грабен-синклинали ССВ простирания на участке пересечения сбросов

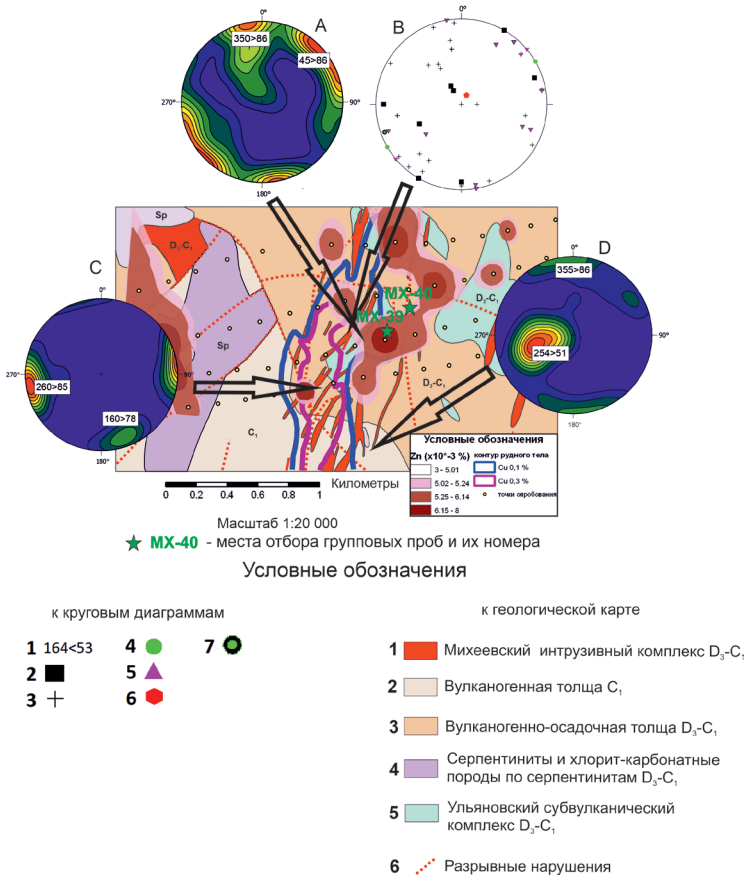


Рисунок. Геологическая карта Северного участка месторождения (Шаргородский Б. М., Новиков И. М. Оценочные работы на Михеевском месторождении медно-порфировых руд. – Челябинск, 2005) с диаграммами ориентировки и состава прожилков на верхних горизонтах карьера, совмещенная со схемой вторичных ореолов Zn (предоставленной авторам д.г.-м.н., проф. МГГРУ (МГРИ) В. В. Дьяконовым):

круговые диаграммы: 1 – азимуты и углы падения систем штокверка, указанные на круговых диаграммах (A, C, D, G); прожилки: 2 – кварц-сульфидные, 3 – кварцевые; 4 – дайки гранодиорит-порфиров; 5 –разломы; 6, 11, 12 – дайки гранит-порфиров; прожилки: 7 – карбонат-эпидотовые, 8 – эпидотовые, 9 – кварц-карбонатные, 10 – карбонатные, 13, 21 – пирит-халькопиритовые, 14 – хлорит-сульфидные, 15 – хлорит-эпидотовые с гематитом, 16 – эпидотовые с сульфидами, 17 – кварц-хлоритовые с сульфидами, 18, 19 – гематит-эпидотовые, 19 – кварц-гематит-эпидотовые, 20 – полисульфидные; геологическая карта: 1 – Михеевский интрузивный комплекс C_2 (a – дайки диорит-порфиров, b – штоки и дайки кварцевых диоритов и плагиогранитов, c – дайки плагиогранодиорит-порфиров, d – дайки плагиогранит-порфиров); 2 – туфовая толща C_1v_{2-3} (базальты и их туфы); 3 – вулканогенная толща C_1 (a – базальты афировые и их лавокласты, b – силициты, c – песчаники, d – углисто-кремнистая порода); 4 – комплекс субвулканических тел основного состава C_1 (a – дайки и дайкообразные тела диабазов, b – дайки и дайкообразные тела габбро-диабазов); 5 – серпентиниты и хлорит-карбонатные породы по серпентинитам C_1; 6 – вулканогенно-осадочная толща D_3–C_1 (a – известняки, b – алевропесчаники, туфопесчаники, c – песчаники аркозовые, d – углисто-кремнистая порода, e – алевролиты, f – грубо- и разнообломочная порода преимущественно основного состава, g – туфы андезибазальтов, h – андезибазальты, i – базальты); 7 – Ульяновский субвулканический комплекс D_3–C_1 (a – малые теладацитов и риодацитов, b – штоки и дайкообразные тела порфиритов и андезитов, c – брекчии порфиритов и андезитов, d – штоки и дайки плагиогранодиоритов); 8 – Тогузакская толща базальтов; 9 – вулканогенно-осадочная толща S_1v–S_2ld (a – туфы основного состава, b – алевролиты, c – силициты); 10 – Новониколаевский комплекс S_2? (a – плагиограниты, b – гранитогнейсы); 11 – черносланцевая толща (сланцы углисто-глинистые, кремнисто-углистые); 12 – сланцево-карбонатная толща (амфиболиты); 13 – геологические границы (a – стратиграфические, b – литологические и интрузивные, c – фациальные); 14 – разрывные нарушения; 15 – месторождения и рудопроявления медно-порфировых руд

и взбросо-сдвигов субмеридионального, ССВ и СЗ простирания. В морфологическом плане оно представляет собой линейный штокверк, который образует основные преимущественно крутопадающие зоны ССВ и СЗ простирания, представленный прожилковыми, прожилково-вкрапленными и вкрапленными рудами во вмещающих породах вулканогенно-осадочной (D_3–C_1) и вулканогенной (C_1) толщ, а также субвулканических телах дацитов Ульяновского комплекса, дайках и штоках гранодиоритов и гранит-порфиров (D_3–C_1) Михеевского рудоносного комплекса. Вулканогенно-осадочная толща представлена чередованием терригенных пород и вулканитов андезито-базальтового состава. Вулканогенную толщу слагают базальты с прослоями терригенных пород (рис. 1).

Наиболее распространенными рудными минералами являются пирит и халькопирит, второстепенными – сфалерит, галенит, пирротин, магнетит, борнит, редкими – блеклая руда, золото, ильменит, арсенопирит, молибденит и др. Рудная минерализация обычно наложена на более ранние карбонат-эпидот-хлоритовые (иногда с гематитом) контактово-метасоматические изменения вмещающих пород, образующие линейные зоны, прожилки и гнезда, образованные на этапе формирования интрузивных комплексов. На площадке массовых замеров ориентировки и состава прожилков (см. рис. 1, A, B) на участке развития богатых руд на гор. +205 м развиты основные системы штокверка крутого-субвертикального падения. Южнее в рядовых (см. рис. 1, C) и бедных (см. рис. 1, D) рудах отмечается снижение плотности основных систем штокверка, преобладают прожилки в трещинах среднего–пологого падения, образование которых преимущественно связано с воздействием на вмещающие породы скрытого интрузивного массива гранодиоритов при его внедрении и последующей контракционной усадке с образованием пологих, часто субпослойных трещин, выполненных позже дорудными жильными и местами рудными минералами. Подобное строение штокверков отмечалось нами ранее в надинтрузивных зонах вольфрамовых жильно-штокверковых месторождений Центрального Казахстана [1], а также на многих медно-порфировых месторождениях [2]. Сульфидная минерализация преобладает в основных СВ и СЗ системах штокверка, но отмечается и в остальных, накладывается на ранние кварцевые, карбонат-эпидот-хлоритовые и другие прожилки и метасоматиты. Массивные пиритовые руды (с редкими выделениями сульфидов Cu, Zn) в виде мелких жил и прожилков СВ простирания и субвертикального падения получили развитие в верхней СВ части карьера, выходя непосредственно под рыхлые отложения палеогена. Развитие полиметаллической минерализации здесь было ранее установлено В. В. Дьяконовым по вторичным ореолам рассеяния Pb, Zn, Ag (см. рис. 1), где в пределах контура ореола Zn нами были отобраны 2 групповые пробы (весом по 3 кг). Повышенные содержания Au и других попутных компонентов руд установлены в групповой пробе МХ-39, которая по своему положению соответствует центральной части этого ореола (см. рис. 1, табл. 1). В краевой части ореола цинка (проба МХ-40) содержания компонентов резко снижаются. Судя по набору элементов-примесей в этих рудах на т. н. 39 кроме пирита присутствуют галенит, сфалерит, халькопирит (борнит), блеклые руды, т. е. в сульфидных рудах отмечается локальное развитие Au-полиметаллической минерализации.

Таблица. Содержания ряда элементов-примесей (г/т) в сульфидных рудах

№ пр.	*V*	*Cr*	*Ga*	*Zr*	*Co*	*Cu*	*Zn*
МХ-39	4	6	3	2	**468**	**23377**	**517**
МХ-40	**102**	**43**	**16**	**11**	164	1768	102
№ пр.	*Ag*	*Cd*	*Sb*	*Te*	*Au*	*Pb*	*As*
МХ-39	**12**	**5**	**1543**	**21**	**0,8**	**59**	**2230**
МХ-40	2	0	3	4	0,1	6	71

Примечание. Аналитик: с.н.с. кафедры геохимии МГУ им. М. В. Ломоносова Лубкова Т. Н. (масс-спектрометрELAN-6100).

Авторы выражают благодарность руководству АО «Михеевский ГОК» за предоставление возможности изучения пород и руд Михеевского месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Бурмистров А. А. Структурные и петрофизические критерии локального прогнозирования жильно-штокверкового вольфрамового оруденения (на примере месторождений Центрального Казахстана): специальность 04.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, металлогения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук // Бурмистров А. А. – М., 1990. – 27 с.
2. Звездов В. С. Модели медно-порфировых рудно-магматических систем и месторождений для прогноза, поисков и оценки : специальность 1.6.10 «Геология, писки и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореферат дис. на соискание уч. степ. д-ра геол.-минерал. наук // Звездов Вадим Станиславович. – М., 2022. – 52 с.

Васюков В. Е. [1] (vasyukov@tsnigri.ru), Кряжев С. Г. [1] (s34@mail.ru),
Двуреченская С. С. [1] (akantit_c@mail.ru), Соловьев С. Г. [2] (serguei07@mail.ru), Бучко И. В. [3]
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва,
[2] ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва,
[3] АО «Дальневосточное ПГО», г. Хабаровск

СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-МЕДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-АНАДЖАКАНСКОЙ ПЛОЩАДИ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

По результатам полевых и лабораторных исследований охарактеризованы геологические условия локализации, вещественный состав золото-медной минерализации, определены PTX-параметры и источники рудообразующих растворов. По комплексу признаков оруденение обнаруживает черты сходства с рудными объектами обособленного золото-медно-порфирового типа, связанными с «восстановленными» интрузиями.

Ключевые слова: медь, золото, минералогия, флюидные включения, изотопы серы.

Относительно недавние открытия ряда объектов порфирового типа в южной части Нижнеамурской металлогенической зоны (Малмыжское месторождение, рудопроявления Зона Медная, Ольховое и др.) послужили стимулом для начала поисковых работ на медно-порфировое и золотое оруденение в данном районе. Одним из первых объектов, предложенных ФГБУ «ЦНИГРИ» для постановки ГРР в 2016 г., явилась Центрально-Анаджаканская площадь, расположенная в пределах Анаджаканского рудного узла в 50 км северо-западнее Малмыжского месторождения. Площадь к тому времени была изучена геологическими съемками м-ба 1 : 200 000–1 : 50 000, разномаштабными геофизическими работами, а также несколькими поисковыми проектами. Поиски начались еще в 1960-е годы (Гордеев Р. А., 1962), но были нацелены на руды Sn, W и Mo. С конца 1980-х годов (Пляскин В. А., 1988ф, 1991ф; Лапонов В. А., 2010ф; Подкин А. В., 2015ф; Кузнецов В. Е., 2023ф) работы велись уже на золото-медно-порфировый тип, признаки которого были встречены в центральной части Анаджаканского рудного узла. Повышенный интерес к площади во многом обусловлен и ее выгодным инфраструктурным положением.

В отличие от Малмыжского месторождения, связанного с гипабиссальными интрузивами пород преимущественно диорит-тоналит-гранодиоритового состава, рудопроявления Анаджаканского рудного узла пространственно ассоциируют с более кислыми разностями – гранодиоритами и гранитами, до лейкократовых [1]. Согласно существующим представлениям, данный комплекс относится к более позднему этапу магматизма [2], что подтверждено нашими новыми данными (90,0 ± 0,7 млн лет – анаджаканские, 95,6 ± 0,7 млн лет – малмыжские породы, U-Pb датировки по циркону).

Оруденение Центрально-Анаджаканской площади приурочено к провису кровли Верхнемаглойского массива гранодиоритов. Гранодиориты относятся к породам умеренно-калиевой ильменитовой серии, имеют средне-крупнокристаллическую преимущественно фанеритовую структуру. Вмещающие терригенные породы средне-верхнеюрского возраста превращены в био-

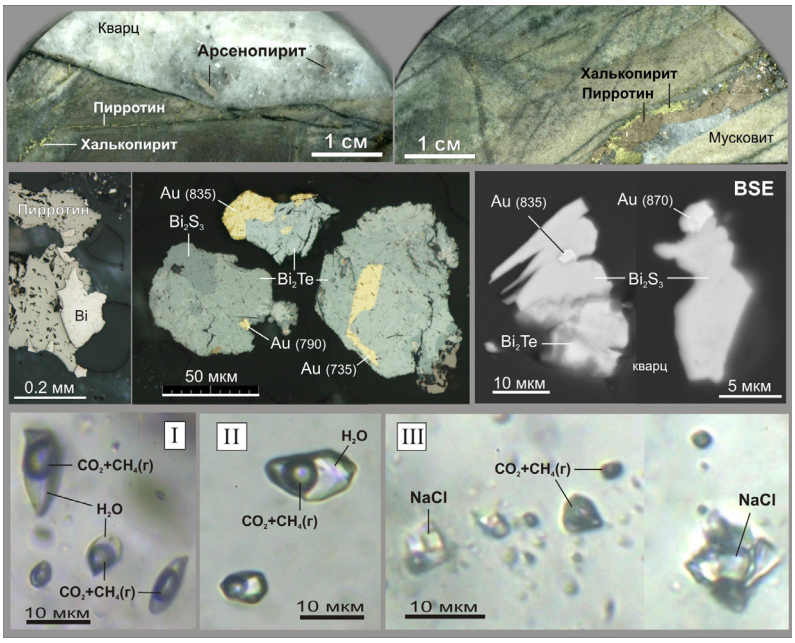


Рисунок. Рудная минерализация и включения рудообразующих флюидов

титовые роговики. Эндо- и экзоконтактовая зоны массива мощностью в первые десятки метров подвержены максимальным гидротермально-метасоматическим изменениям, которые проявлены в форме штокверковой прожилково-вкрапленной минерализации. Прожилки сложены преимущественно кварцем и сульфидами в различных соотношениях (рисунок). Размеры штокверка в поперечнике составляют 2,5–3,0 км.

Спорадически отмечаются турмалин, эпидот, хлорит, кальцит. Среди рудных минералов преобладают арсенопирит, пирротин и халькопирит. Встречаются также сфалерит, галенит, молибденит, шеелит, минералы теллура и висмута, самородное золото. Мощность прожилков варьирует от 0,5 мм до 10 см и более. Прожилки сопровождаются ореолами кварц-серицитовых и хлорит-кварц-серицитовых метасоматитов. Содержания меди в наиболее минерализованных интервалах составляют около 0,5 %, золота – 2 г/т, однако области максимальных концентраций Cu и Au пространственно разобщены.

Рудообразование протекало последовательно в три стадии (см. рисунок): арсенопирит-кварцевую (I), халькопирит-пирротиновую (II) и золото-теллуро-висмутовую (III). Арсенопирит представлен в виде крупных (до 10 мм) ромбовидных кристаллов и их сростков. Доля арсенопирита в отдельных прожилках достигает 50 %. Пирротин образует крупные выделения, часто в срастании с кальцитом. Халькопирит находится в тесных срастаниях с пирротином. Встречаются выделения сфалерита, нарастающего на пирротин или халькопирит. Отмечены единичные выделения пирита и марказита.

В составе наложенной на кварц и сульфиды золото-теллуро-висмутовой минерализации доминирует самородный висмут, образующий ксеноморфные выделения размерами 0,01–0,03, редко 0,1 мм. Пылевидное самородное золото (2–20 мкм, пробность 735–885 ‰) находится в тесном парагенезисе с хедлейитом (Bi_2Te) и висмутином (Bi_2S_3), обнаружены также микронные зерна мальдонита (Au_2Bi).

Исследования флюидных включений показали, что сульфидная минерализация была сформирована при участии «кипящих» растворов умеренной концентрации (6,5–7 мас. % NaCl-экв., CO_2+CH_4 до 3 мольн. %) на фоне снижения температуры от 360–350 °С (арсенопирит) до 320–300 °С (пирротин + халькопирит). Давление при минералообразовании не превышало 250 бар, что соответствует глубинам 1–2 км от палеоповерхности. На восстановленный характер флюидов указывают также включения битумов в кварце. Золото-теллуро-висмутовая минерализация сопровождается ассоциацией включений водяного пара (с примесью CO_2 и CH_4) и включений насыщенных хлоридных рассолов (34 мас. % NaCl-экв.), захваченных при температурах 250–230 °С в условиях резкого снижения давления.

В отличие от Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения, сульфиды которого существенно обогащены тяжелым изотопом S^{34} ($\delta^{34}S = +4,8 \pm 0,3$ ‰), сера сульфидов Центрально-Анаджаканской площади обогащена легким изотопом S^{32} (δ 34S = -1 ± 0,5 ‰), что указывает на связь оруденения с гранитоидами ильменитовой серии [3].

Заключение. По минеральному составу (обилие арсенопирита, ассоциация халькопирита с пирротином, присутствие золото-теллуро-висмутового оруденения), физико-химическим условиям формирования и изотопному составу сульфидной серы рассматриваемая минерализация коренным образом отличается от медно-порфировых объектов и в большей мере отвечает оруденению золото-редкометалльной формации. Пространственное совмещение в единых рудных районах и полях золото-медно-порфирового и несколько более позднего плутоногенного золотого оруденения в целом характерно для Сихотэ-Алиня [4]. В то же время промышленные концентрации меди в виде крупнобъемного штокверка для золото-редкометалльных месторождений не характерны.

Таким образом, оруденение Центрально-Анаджаканской площади обнаруживает черты сходства с особым типом «золото-медно-порфировых месторождений, связанных с "восстановленными" интрузиями». Подобные объекты в нашей стране пока не выявлены, однако они известны за рубежом (в том числе весьма крупные [5, 6]).

Данный вопрос является дискуссионным и заслуживает дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Васькин А. Ф., Дымович В. А., Атрашенко А. Ф. [и др.] Объяснительная записка к государственной геологической карте масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Дальневосточная серия. Лист M-53. – Спб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009.
2. Ханчук А. И., Гребенников В. И., Иванов В. В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. – 2019. – № 3. – С. 4–37.
3. Ishihara S. and Sasaki A. Paired Sulfur Isotopic Belts: Late Cretaceous-Paleogene Ore Deposits of Southwest Japan // Bulletin of the Geol. Survey of Japan. – 2002. – V. 53 (5/6). – P. 461–477.
4. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Vasyukov V. E., Shumilin D. A., Voskresensky K. I. The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, Eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics // Ore Geology Reviews. – 2019. – V. 113. – Paper 103112. – P. 1–27.
5. Rowins S. M. Reduced porphyry copper-gold deposits: A new variation on an old theme // Geology. – 2000. – V. 28. – № 6. – P. 491–494.
6. Wilson A. J. [et al.] The Telfer Gold-Copper Deposit, Paterson Province, Western Australia // Society of Economic Geologists, Inc. SEG Special Publications. – 2020. – № 23. – P. 227–249.

Владимирцева О. В. [1] (olga_9_4@mail.ru), Прасолов А. М. [2] (prasolov00@yandex.ru)

[1] ФГБУН «ИГЕМ РАН», г. Москва,

[2] ФГБОУ ВО «МГРИ», г. Москва

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕТИЧНЫХ ЗОЛОТОНОСНЫХ ТОЛЩ В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Золотоносные терригенные третичные (палеоген-неогеновые) отложения являются одними из самых продуктивных формаций в мире и наиболее давно известных человечеству. Несмотря на огромную промышленную значимость этих отложений, в России объекты такого типа фактически не выделяются, хотя предпосылки нахождения таких провинций есть.

Ключевые слова: третичное время, терригенные толщи, золото, россыпи, прогнозно-поисковые модели, Арктическая зона.

В мире существуют несколько десятков рудно-россыпных и россыпных узлов, главным источником золота которых являются третичные отложения, и именно с этими отложениями связаны античная промышленная золотодобыча и наиболее масштабные золотые лихорадки XIX–XX вв. Третичные терригенные толщи выступают в качестве промежуточных коллекторов, то есть занимают промежуточное положение в связке «коренной источник – россыпь», играя значительную роль в формировании картины экзогенной золотоносности рудно-россыпных районов. Существующая в России [6] классификация подобных образований третичного возраста рассматривает их совместно с россыпями других металлов и описывает, по сути, только «уникальные» промышленные объекты советского времени (Кулар и др.). Классификация третичных золотоносных объектов может и должна быть дополнена и уточнена исходя из обобщения накопленных новых данных по России и сопоставления с промышленно значимыми зарубежными примерами.

Золотоносные терригенные третичные объекты можно типизировать по тектонической позиции, по связи с коренными источниками, по крупности месторождений и пр. Наиболее значимые и продуктивные терригенные золотоносные третичные отложения формируются в пределах складчатых областей. Платформенное россыпеобразование имеет значительно меньшие масштабы и едва ли способно сформировать крупные промышленно привлекательные объекты, ограничиваясь локальными месторождениями. Шельфовые же россыпи пока не заняли свое законное место в золотодобыче – технологий, позволяющих их освоение, сопоставимое по рентабельности с поверхностными месторождениями, еще не разработано.

Терригенные третичные толщи являются потенциально россыпеформирующими отложениями при условии неотектонической орогенной активизации района. Исходя из литературного анализа [1], установлено, что палеогеновые и неогеновые отложения могут выступать в качестве промежуточного коллектора в системе «ороген – аллювиальная россыпь» вне зависимости от возраста орогенов. Промышленное россыпное золото формируют преимущественно области мезозойской складчатости, в которых основное рудное золото выведено на эрозионный срез [1, 7] при продолжающемся орогенезе. При этом более древние складчатые области также могут питать терригенные третичные отложения, но только в том случае, если они были тектонически реактивизированы в более молодые последующие эпохи (примеры: Иберийский полуостров, Тянь-Шань, Урал).

Самые крупные по запасам терригенные третичные золотоносные объекты (Калифорния, Отаго, Лас-Медулас) расположены в наиболее освоенных человеком областях, однако подобные объекты можно прогнозировать и в более труднодоступных местах, например, на Арктических территориях России. Арктическая зона России – обширная область, охватывающая все северное побережье России и большую часть Дальневосточного региона РФ. Наиболее благоприятные области для локализации терригенных третичных золотоносных комплексов в Арктической зоне России приурочены к северным частям Таймыро-Североземельской минерагенической провинции, Верхояно-Колымской складчатой области, Охотско-Чукотского вулканического пояса и некоторым районам Полярного Урала.

Перспективы ***Таймыро-Североземельской минерагенической провинции*** в контексте обсуждаемого вопроса связаны в первую очередь с полуостровом Таймыр (Мининско-Большевистская и Шренк-Фадеевская МЗ), с юго-восточной частью о. Октябрьской Революции (Северо-Быррангская МЗ), островом Большевик и мелкими островами юго-восточнее него: острова Старокадомского и Малый Таймыр, то есть в областях развития древних складчатостей со вскрытыми гранитными комплексами, ремобилизованных в неотектонический этап и перекрывающего их третичного чехла. Многочисленные золотороссыпные месторождения в этих областях в последние десятилетия активно осваиваются недропользователями, а источник этих россыпей зачастую неизвестен.

Зархидзе В. С. [3] отмечал, что на о. Комсомолец под четвертичными осадками иногда находятся третичные отложения ограниченными пятнами с площадями распространения до 3 км^2. При исследовании олигоценовых отложений, обширно покрывающих остров, выяснилось, что рассмотренный комплекс по систематическому составу, соотношению основных компонентов, а также незначительному участию пыльцы субтропических растений близок комплексам конца

раннего–среднего миоцена [3]. То есть фактически четвертичные «покровные» отложения представляют собой продукты близкого перемыва палеоген-неогеновых пород, которые в свою очередь содержат в себе пыльцу и более древних, мезозойских, растений.

Учитывая единые геодинамические условия кайнозойской эры для всего архипелага Северная Земля (обусловленные развитием рифтогенной котловины расположенной непосредственно восточнее архипелага) и фактическую окруженность архипелага полями третичных отложений под водой омывающих его морей, можно предположить, что заключения о многократном перемыве и переотложении мезозойских и кайнозойских пород (в том числе третичных), установленных на о. Комсомолец, можно экстраполировать на все острова архипелага, в том числе и на остров Большевик, где в силу более развитой эндогенной золотоносности вероятность формирования продуктивных промежуточных коллекторов и приуроченных к ним современных россыпей выше.

Относительно «белым пятном» на карте третичной золотоносности остается северная часть одной из самых продуктивных золотоносных провинций России – ***Верхояно-Колымской*** [5], а именно ее низменности и многочисленные изолированные кайнозойские межгорные впадины, выполненные псаммитовыми палеоген-неогеновыми отложениями. Учитывая, что Верхояно-Колымская золотоносная провинция крайне богата месторождениями рудного золота, выведенными в область размыва, предпосылки промышленной золотоносности третичных толщ определенно существуют. Несмотря на весьма фрагментарное изучение третичных толщ Яно-Колымской низменности, примеры таких россыпных проявлений известны, к ним можно отнести аллювиальные отложения с характерным «коллекторным» золотом (хорошая степень окатанности и наличие гипергенных кайм и прочих изменений) Нижнеселенняхского золотороссыпного района (руч. Чалкин и Нэнньэскэ-Берелехский узел, суммарные прогнозные ресурсы P_3 – 63 т [4]) и руч. Ветвистый, правый приток р. Селеннях, (содержания золота от 0,5 до 1,0 г/м^3 [2], прогнозные ресурсы P_1 – 50 кг или 350 кг по категориям $P_1 + P_2$ [4]).

Эти россыпи расположены вблизи эрозионных останцов двух кайнозойских впадин – Абыйской и Момо-Селенняхской. Генезис линейных кайнозойских впадин дискуссионен, но в целом очевидно их формирование вследствие сочетания факторов тектонического коллапса мезозойского орогена и избирательной эрозии. Реки высоких порядков в пределах северной части ВКСО в целом наследуют положение рек неогенового времени. Очевидно, что и основные массивы выполнения кайнозойских впадин, которые в палеоген-неогеновое время ингрессивно заполняли моря, могут содержать в себе золотоносные толщи. Так как мощности этих отложений выполнения впадин весьма велики (сотни метров), поиск пригодных для освоения объектов следует начинать с их периферии, где золотоносные толщи могут залегать сравнительно неглубоко.

Вероятность выявления месторождений описываемого типа в Арктической зоне России весьма высока, более того, такие объекты известны. Прогнозирование россыпных месторождений с источником золота в виде терригенных третичных толщ необходимо для корректировки прогнозно-поисковых моделей в пределах конкретных территорий, то есть внесение акцентов как о россыпепродуцирующих третичных терригенных коллекторах, так и о потенциальных «палеороссыпных месторождениях» непосредственно в палеоген-неогеновых отложениях. Это позволит более полно оценить картину экзогенной золотоносности и выделить новые золотоносные районы и узлы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Владимирцева О. В. Эволюция россыпеобразования золота в орогенных областях – опыт анализа на примере третичного времени // Тезисы докладов. Рудная школа ЦНИГРИ. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2024. – С. 29–32.
2. Владимирцева О. В., Коноплев В. А., Березнев М. В. Состав и золотоносность неогеновых отложений среднего течения р. Селеннях (Момский, Абыйский районы, Республика Саха (Якутия)) // Руды и металлы. – 2023. – № 1. – С. 17–24.
3. Зархидзе В. С. Третичные отложения архипелага Северная Земля // Геология архипелага Северная Земля. – Л. : Изд. ПГО «Севморгеология», 1982. – С. 130–133.

4. Золотоносные палеоген-неогеновые отложения предгорного обрамления Абыйской впадины. – Батагай : ОАО «ЯНГЕОЛОГИЯ», 2014.
5. Некрасов А. И. «Геология и благороднометалльная минерагения Верхояно-Колымской складчатой области» // Некрасов Алексей Иванович: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. докт. геол.-минерал. наук. – М. : 2017.
6. Патык-Кара Н. Г. Минерагения россыпей: типы россыпных провинций. – М. : ИГЕМ РАН, 2008. – 528 с.
7. Craw D. Delayed accumulation of placers during exhumation of orogenic gold in southern New Zealand // Ore Geology Reviews. – 2010. – 37. – P. 224–235. – DOI: 10.1016/j.oregeorev.2010.03.006

Воробьев С. А. (vorobjov@geol.msu.ru)
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ РАССЕЯНИЯ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕК

На примере потоков рассеяния Мюнюсяхской площади на юго-восточном обрамлении Анабарского щита показано, что главными факторами формирования потоков рассеяния являются строение рельефа бассейна водосбора и соотношение плотности и механической устойчивости частиц минералов, в форме которых элементы мигрируют в водном потоке. По данным распределения титана марганца и ванадия и других элементов в донных осадках рек получены численные оценки гидродинамических параметров, определяющих значения коэффициентов пропорциональности между продуктивностями рудных элементов в речном аллювии и элювио-делювиальных образованиях на береговых склонах.

Ключевые слова: потоки рассеяния, рудные элементы, Мюнюсяхская площадь.

Модель формирования потоков рассеяния разработана в середине прошлого столетия, следствия из нее составили основу оценки прогнозных ресурсов рудных месторождений, изложенных в Инструкции по геохимическим поискам [2], соотношение продуктивностей химических элементов в донных отложениях рек (P’) и ореолах на береговых склонах (P) определено формулой: $P' = k' \cdot P$. Однако, аналитических зависимостей, характеризующих физическую суть коэффициента пропорциональности k’, нет, эти сведения дали бы возможность определять его значения на стадии съемок по потокам рассеяния. При геохимических поисках значения коэффициента k’ устанавливаются сравнением продуктивностей геохимических аномалий в аллювии и почве после проведения литохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния, полученные оценки ретроспективно распространяются на территории со сходными геологическими и ландшафтными условиями. Но, как показывает практика, величина коэффициента k’ подчас имеет противоположные значения даже в пределах одной и той же рудно-формационной зоны на территории с однородным типом ландшафта. Это определяет необходимость разработки методов оценки прогнозных ресурсов минерального сырья по данным распределения элементов в донных отложениях рек и ручьев, не привлекая материалы последующих стадий геохимических работ.

Уравнение баланса масс на любом участке русла, включает в себя три основных составляющих: 1 – поступление элювио-делювиальных образований с берегов в русло; 2 – перераспределение минеральных частиц аллювия в процессе миграции по руслу; 3 – вынос или накопление элементов при гипергенных преобразованиях минеральных частиц аллювия. Математическая модель изменения состава донных отложений водотоков с ростом площади водосбора приведена в работе [1]. Однако, как показывает практика, содержание элементов в донных осадках слабо зависит от вариаций площади водосбора, при впадении притоков скачкообразно возросшая площадь водосбора практически не меняет содержание элементов в донных осадках. Полагая,

что изменение состава аллювия зависит не от площади водосбора, а от расстояния, пройденным частицами аллювия при их движении по руслу, уравнение баланса масс может быть представлено в следующем виде:

$dC'|dx=\alpha\cdot C_{dl}-(\alpha+\gamma)\cdot C_{al}$, (1)

где C_{al} и C_{dl} – содержание элемента в аллювии реки и почве на ее берегах; x – расстояние от начала аномального участка русла; α – коэффициент аллювия; γ – кинетическая константа.

Коэффициент аллювия α имеет размерность [м$^{-1}$] и характеризует соотношение расходов рыхлого материала, транспортируемого водным потоком по руслу, и поступающего с метеорными водами с береговых склонов. Кинетическая константа γ имеет ту же размерность и характеризует интенсивность накопления – выноса минеральных частиц из аллювия при его движении по руслу, по своей физической сути она равна нормированной разности скоростей поступления рыхлого материала с берегов в русло реки (Ur) и выноса (Um) из него рудных частиц водным потоком: γ = μ(Ur – Um)/Ur, μ − константа, определяющая режим течения воды в реке. Коэффициент γ – знакопеременная величина, при выносе элемента из аллювия она имеет отрицательный знак, при накоплении – положительный.

Решение уравнения (1) позволяет найти зависимость между содержанием элемента в аллювии реки и в почве на ее берегах:

$C_{al}=\alpha\cdot\int_0^x C_{dl}\cdot e^{(\alpha+\gamma)x}dx\cdot e^{-(\alpha+\gamma)x}$. (2)

По данным геохимической съемки по потокам рассеяния масштаба 1 : 200 000, выполненной геохимической партией ФГБУ «ИМГРЭ» на Мюнюсяхской площади в юго-восточном обрамлении Анабарского щита (листы R-49-XXIX, XXX), в нижнем течении реки Малая Куонамка выявлены высококонтрастные аномалии титана, железа, марганца, ванадия и других элементов. Территория сложена архейскими породами верхнеанабарской (ARva) и далдынской (ARkl) серий. Они представлены разнородными по составу гнейсами, метабазитами и метапелитами амфиболитовой и гранулитовой фаций метаморфизма с редкими разрозненными линзовидными телами магнетитовых кристаллических сланцев [3]. Местный геохимический фон химических элементов в элювио-делювии современной коры выветривания и аллювии рек на территории Мюнюсяхской площади соответствует их кларкам в глинистых сланцах.

Состав донных отложений реки Малая Куонамка значимо отличен от состава почвы на береговых склонах. В верхней половине реки среднее содержание двуоксида титана в донных отложениях равно 7,3 %, в приустьевой – в два раза выше, на отдельных отрезках русла оно достигает 28 %, что превышает геохимический фон в 30 раз. Главной минеральной формой титана в донных отложениях является титаномагнетит с высоким содержанием железа, ванадия, марганца и других элементов. Высокая удельная плотность и механическая устойчивость его зерен обусловили формирование в аллювии нижней части реки совместных высококонтрастных аномалий Ti, Fe, Mn, V протяженностью более 15 км. Содержание макроэлементов (Al, K, Na, Ca), слагающих алюмосиликатные минералы основной массы аллювия, в 1,5–2 раза ниже фона, это обусловлено малой устойчивостью их частиц к механическим воздействиям, при движении по руслу они более интенсивно, чем титаномагнетит, измельчаются и выносятся водой.

Содержание элементов в элювию-делювиальных образованиях на берегах реки Малая Куонамка постоянно на всем ее протяжении (C_{dl}−const), с учетом этого зависимость (2) можно преобразовать к более простому виду:

$C_{al}=C_{dl}[\alpha/(\alpha-\gamma)+\alpha/(\alpha-\gamma)\cdot e^{-(\alpha-\gamma)x}]$. (3)

Из полученного уравнения следует, что с удалением от верховья реки, состав аллювия меняется по ее течению. В истоке он соответствует почве, с удалением от него содержание химических элементов в донных осадках возрастает или убывает в зависимости от соотношения скоростей поступления рыхлого материала с берегов в русло и выноса из него водным потоком минеральных частиц при их дроблении и истирании. При постоянном составе почвообразующих пород вдоль течения реки содержание элементов в аллювии в итоге выходит на постоянный уровень. Величина коэффициента пропорциональности k’ между средними содержаниями элемента в аллювии и почве равна отношению коэффициента аллювия к величине ее с разности кинетической константой, $k' = \overline{C_{al}}/\overline{C_{dl}} = \alpha/(\alpha-\gamma)$. Численные значения констант α и γ можно определить методом оптимизации коэффициентов уравнения (3), описывающего распределе-

Таблица. Параметры потоков рассеяния в верхнем и нижнем участках реки р. Малая Куонамка

Оксид	$\overline{C_{dl}}$,%	Верхний участок					Нижний участок				
		$\overline{C_{al}}$,%	$\overline{C_{al}}/\overline{C_{dl}}$	α	γ	k'_1	$\overline{C_{al}}$,%	$\overline{C_{al}}/\overline{C_{dl}}$	α	γ	k'_2
TiO_2	0,95	7,28	7,7	3,85	3,32	7,2	14,2	14,9	4,6	4,31	15,3
Fe_2O_3	6,91	14,61	2,1	1,21	0,65	2,2	28,1	4,1	2,23	1,72	4,3
MnO	0,085	0,14	1,6	0,22	0,07	1,5	0,19	2,2	0,62	0,36	2,4

Примечание. Значения констант α и γ имеют размерность 10^{-3} $м^{-1}$.

ние элементов в донных осадках. Для верхнего и нижнего участков русла реки Малая Куонамка численные значения коэффициентов α и γ приведены ниже в таблице.

Коэффициенты пропорциональности k’ для оксидов титана, железа и марганца, вычисленные по константам α и γ, совпадают с отношениями их средних содержаний в аллювии и почве, что подтверждает достоверность полученных оценок k’. Коэффициенты α и γ функционально взаимосвязаны, т.к. зависят от скорости водного потока и согласовано меняются на разных отрезках русла, в верховье и приустьевой части реки Малая Куонамка они различаются в 1,8 раза, что соответствует отношению уклонов русла на этих участках. Коэффициент аллювия α и кинетическая константа γ являются параметрами, характеризующими процесс миграции минеральных частиц аллювия в русле под воздействием течения воды и накопления в них элементов, образующих тяжелые и механически устойчивые минеральные соединения. Установление функциональной зависимости между параметрами потоков рассеяния с формой и крутизной рельефа позволит по геоморфологическому строению территорий оценивать условия формирования и проявления геохимических аномалий в аллювии рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воробьев С. А. Модели количественной интерпретации вторичных ореолов потоков рассеяния // Геология и охрана недр. – 2009. – № 5. – С. 19–22.
2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М. : Недра, 1983. – 191 с.
3. Трофимов А. П., Ведяева И. В., Загубный Д. Г., Колбасин И. Н. Выделение по геохимическим данным перспективных рудоносных площадей юго-восточного обрамления Анабарского щита // Материалы конференции. – М. : ИМГРЭ, 2023. – С. 149–153.

Герасимов Б. Б. (Gerasimov@yandex.ru)
ФГБУН ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В РОССЫПНОМ ЗОЛОТЕ АНАБАРСКОГО ЩИТА

Анализ состава минеральных включений в россыпном золоте и минеральных парагенезисов руд Хаптасыннахской рудной зоны показал, что эти руды являются коренными источниками золота. Обнаружение слабоокатанного золота фракции > 0,5 мм в россыпях предполагает наличие в глубоких горизонтах оруденения более крупного золота, чем выявленное на этом этапе исследований.

Ключевые слова: Анабарский щит, Билляхская тектоно-флюидная зона, Хаптасыннахская рудная зона, россыпное золото, минеральные включения, коренные источники.

Изучено россыпное золото речек Бороску, Унгуохтаах, Улахан, Хаптасыннах и Левый Улахан Хаптасыннах, дренирующих центральную часть Билляхской тектоно-флюидной зоны (ТФЗ) Анабарского щита. Основу Билляхской ТФЗ создает система сближенных разломов, трассированных бластомилонитами и катаклазитами, между которыми заключены пласты в раз-

личной степени диафторированных гранулитов верхнеанабарской и хапчанской серий. В центральной ее части расположен Билляхский плутон порфировидных гранодиоритов и гранитов [2]. Кроме этого отмечаются небольшие дайки кварцевых монцодиоритов, граносиенитов и умереннощелочных гранитов, с которыми связывают потенциальную рудоносность Au [1].

Усредненный гранулометрический состав золота изученных водотоков следующий: 1–2 мм – 6 %; 0,5–1 мм – 24 %; 0,25–0,5 мм – 34 %; -0,25 мм – 36 %. Пробность варьирует в весьма широких пределах: 951–999 ‰ – 62 %; 900–950 ‰ – 10 %; 800–899 ‰ – 7 %; 700–799 ‰ – 8 % и 699–400 ‰ – 13 %. Наряду с окатанным пластинчатым золотом выявлены слабоокатанные пластинчатые, угловато-комковидные и дендритовидные выделения с ямчато-бугорчатой поверхностью (рис. 1). Довольно часто наблюдаются индивиды в сростках с кварцем или фрагментарной пленкой алюмосиликатного состава. Следует отметить, что в россыпи реч. Улахан Хаптасыннаах обнаружен низкопробный мини-самородок рудного облика длиной – 11 мм, шириной – 7 мм, толщиной до 3 мм и весом 0,48 г (см. рис. 1, б). Это золото имеет однородный по всей площади химический состав: проба варьируется в весьма узком диапазоне от 539 до 589 ‰. Высокопробная оторочка отсутствует.

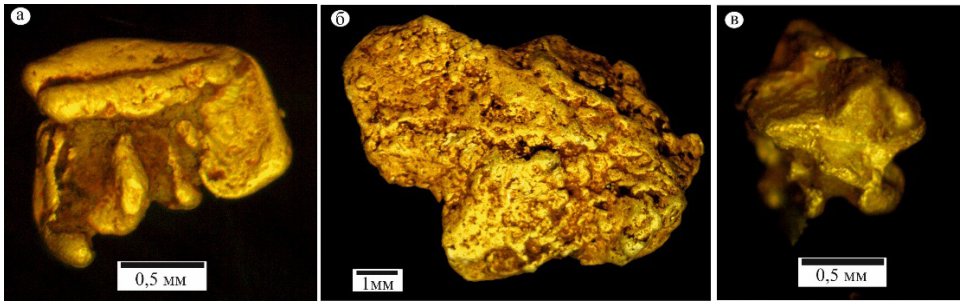


Рис. 1. Морфология россыпного золота:
а – полуокатанный дендритоид (реч. Бороску Унгуохтаах); б – слабоокатанный мини-самородок (реч. Улахан Хаптасыннаах); в – угловато-комковидное золото рудного облика (реч. Левый Улахан Хаптасыннаах)

Микрозондовым анализом в качестве минеральных включений установлены как породообразующие, так и рудные минералы. Первые представлены кварцем, калиевым полевым шпатом, плагиоклазом. Наиболее распространенный рудный минерал – пирит – встречается, как правило, в виде небольших (5–10 мкм) кристаллов. Довольно часто отмечаются теллуриды весьма мелкой размерности – гессит и теллуровисмутит. Кроме этого обнаружены включения пирротина, халькопирита, галенита, монацита, а также таких редких минералов как герсдорфит, кобальтин и мелонит (рис. 2). В целом, совокупность типоморфных признаков позволяет сделать предположение о близлежащем рудном источнике золота.

Исследование близлежащих сульфидизированных пород Хаптасыннахской зоны показало, что рудная минерализация характеризуется разнообразием минеральных форм. Главные рудные макроминералы: пирит, пирротин и халькопирит, реже встречаются сфалерит и галенит. Микроминеральный состав руд представлен арсенопиритом, молибденитом, герсдорфитом, ковеллином, борнитом, антимонитом, акантитом, хлораргиритом, самородным висмутом, золотом и серебром. Широким распространением пользуется группа минералов теллура – петцит, гессит, теллуровисмутит и реже мелонит. Довольно часто встречается монацит. Самородное золото, обнаруженное в аншлифах, характеризуется весьма мелкими размерами (до 5 мкм) и отмечается в свободном виде среди кварца и полевых шпатов. Кроме этого 12 частиц самородного золота размером около 0,1 мм извлечено из протолочек сульфидизированных гнейсов. Они характеризуются пластинчатой и палочковидной формой и мелкоямчато-бугорчатой поверхностью с мелкими срастаниями кварца и калиевого полевого шпата, а также весьма тонкими примазками переменного (Na, K, Ca, Fe) алюмосиликатного состава. Пробность этого золота средняя и высокая.

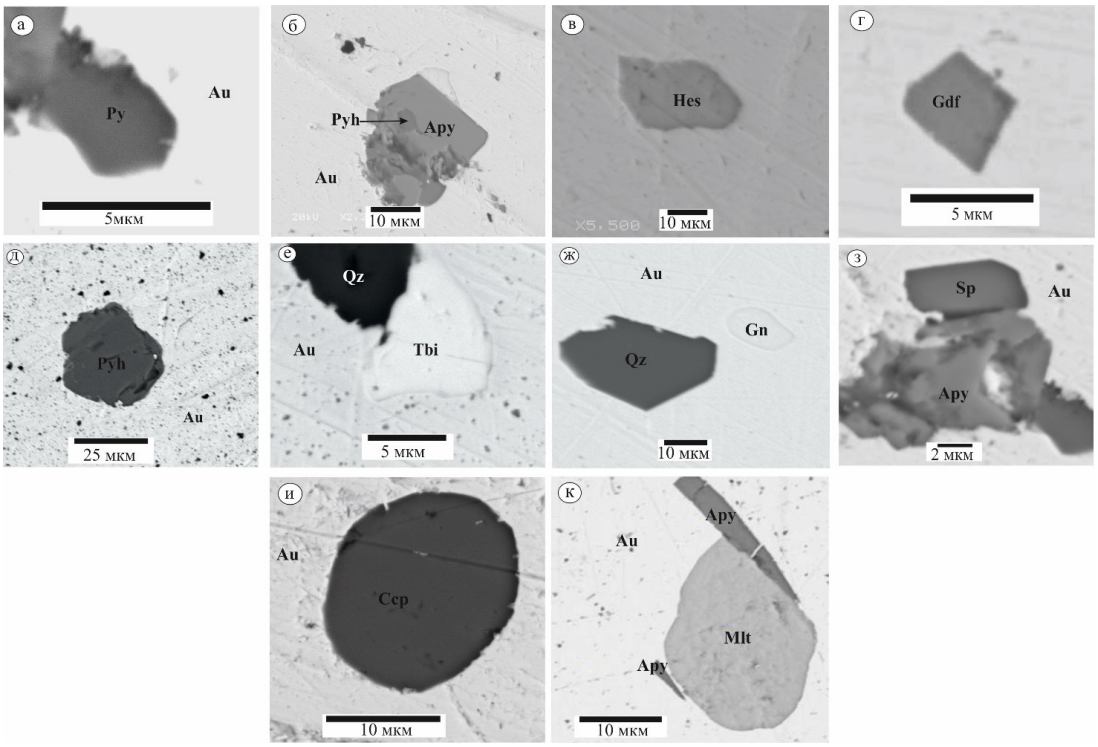


Рис. 2. Минеральные включения в россыпном золоте центральной части Билляхской тектонофлюидной зоны Анабарского щита:
а – мелкий кристалл пирита; б – включение весьма мелкого пирротина в арсенопирите, выявленного в центральной части низкопробного золота; в – гессит в низкопробном золоте; г – мелкий кристалл герсдорфита; д – относительно крупное зерно пирротина; е – теллуровисмутит в срастании с кварцем; ж – зерна галенита и кварца; з – срастание арсенопирита и сфалерита; и – овальное зерно халькопирита; к – зерно мелонита в срастании с Ni-содержащим арсенопиритом пикообразной формы; обозначения минералов: Au – самородное золото, Py – пирит, Pyh – пирротин, Hes – гессит, Gn – галенит, Tbi –теллуровисмутит, Apy – арсенопирит; Ccp – халькопирит, Mlt – мелонит, Gdf – герсдорфит, Qz – квар

Таким образом, сопоставление минеральных включений в россыпном золоте и минеральных парагенезисов руд Хаптасыннахской рудной зоны позволяет утверждать, что эти руды являются коренными источниками золота изученных россыпей. Обнаружение слабоокатанного золота фракции > 0,5 мм до 30 % в водотоках, дренирующих названную зону, предполагает наличие в глубоких горизонтах оруденения более крупного золота, чем выявленное на этом этапе исследований. Этим, на наш взгляд, определяется отнесение Хаптасыннахской рудной зоны к весьма перспективным для дальнейшего изучения объектам северо-востока Сибирской платформы.

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и частично в рамках хоздоговорных работ с АО «Алмазы Анабара».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кравченко А. А., Смелов А. П., Березкин В. И., Зедгенизов А. Н., Добрецов В. Н. Природа золоторудной минерализации раннепротерозойского билляхского гранитоидного комплекса по геохимическим данным (Анабарский щит) // Отечественная геология. – 2010. – № 5. – С. 23–29.
2. Смелов А. П., Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Ковач В. П., Березкин В. И., Кравченко А. А., Добрецов В. Н., Великославинский С. Д., Яковлева С. З. Возраст и продолжительность формирования Билляхской зоны тектонического меланжа, Анабарский щит // Петрология. – 2012. – Т. 20, № 3. – С. 315–330.

Гилязов Д. И. [1] (gilyazov_di@mail.ru), Савельев А. Д. [2] (Aleksandr_Saveliev@vsegei.ru), Бураков Б. Е. [2] (Boris_Burakov@vsegei.ru)
[1] СПГУ, г. Санкт-Петербург,
[2] ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

КРИТЕРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ В РЕКАХ ЮГО-ВОСТОКА АНАБАРСКОГО ЩИТА И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

В настоящей работе приведены результаты исследований золотоносных россыпей в бассейнах рек Большая Куонамка и Дюкен (юго-восточная часть Анабарского щита). Были установлены характер шлихового золота, а также критерии распределения золотоносных россыпей.

Ключевые слова: Анабарский щит, золото.

Введение. Проблема золотоносности Анабарского щита и прилегающих областей широко освещена в многочисленных публикациях. По предположению Б. Р. Шпунта [7], частичная россыпная золотоносность образовалась за счет размыва кварц-кальцитовых сульфидизированных жил докембрийского возраста, проявленных в базитах. Этой же гипотезы придерживается Б. Б. Герасимов для россыпного золота бассейна среднего течения р. Большая Куонамка [1]. А. В. Толстовым предполагается, что источниками россыпного высокопробного золота восточной части Анабарского массива являются кварцевые или сульфидно-кварцевые жилы [5, 6]. Согласно Кравченко А. А. и др., золотоносные площади могут тяготеть к интрузиям порфировидных и аляскитовых гранитоидов [3]. В пределах платформенного чехла потенциальными коренными источниками золота могут служить приразломные апокарбонатные гидротермально-метасоматические образования [2].

В данной работе приводятся результаты полевых и последующих лабораторных исследований, основной целью которых является комплексная характеристика шлихового золота, полученного в ходе полевых работ Анабарской партии-2 Всероссийского научно-исследовательского геологического Института Карпинского (ВСЕГЕИ) в 2022–2023 гг. по р. Большая Куонамка и р. Дюкен (юго-восточная часть Анабарского щита, Республика Саха, Якутия), а также установить потенциальные источники его происхождения и критерии формирования россыпных проявлений золота.

Методика. Для изучения была использована коллекция шлиховых (20 л) и мелкообъемных (до 2 м^3) проб на золото из русловых отложений рек Большая Куонамка и Дюкен. Собранная коллекция была проанализирована в центральной лаборатории ВСЕГЕИ. Формы нахождения, микрорельеф поверхности и химический состав минералов золота определялись методом рентгеноспектрального микроанализа на электронном микроскопе Camscan 2500 с полупроводниковым детектором Pentafet. Также были использованы результаты геохимических анализов штуфных проб. Определение петрогенных окислов проводилось XRF-методом на приборе ARL-9800, для определения содержаний малых элементов использовалась масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой ICP MS на приборе ELAN-6100 DRC.

Результаты исследований и обсуждения. Территория исследования расположена в юго-восточной части Анабарского щита, в районе границы кристаллического фундамента и терригенно-карбонатного чехла платформы (листы R-49-XXIII, XXIV, Куонамская площадь).

По гранулометрическому составу основная масса изученного золота является мелким (-0,16 мм), хотя отдельные пластинки достигают размера до 2 мм. Все золотины характеризуются сильным механическим износом и преимущественно уплощенной морфологией: окатанными и полуокатанными формами. Практически все золотины имеют шагреневую поверхность. В единичных зернах можно наблюдать следы вдавливания минералов, включения барита, ксенотима, силикатных минералов. Углубления выполнены глинисто-железистыми образованиями. По результатам микрозондового анализа золото можно отнести к высокопробному и весьма высокопробному. Выделяются несколько разновидностей золота: высокопробное с содержанием Au 999 ‰, серебристое золото с содержанием Ag до 35,2 вес. %, палладистое золото с содержанием Pd до 2,55 вес. %, а также одиночные золотины с примесями меди и теллура. Наиболее часто встречающейся разновидностью золота является серебристое золото. Данные золотины

характеризуются зональным строением, где в центре располагается серебро, а вокруг него – высокопробное золото. Среди них преобладают окатанные, полуокатанные пластинчатые зерна. Но нередко серебро неравномерно распределено по всей площади золотин.

Золотина (рисунок) характеризуется удлиненно-неправильной формой и неоднородным содержанием золота и серебра в зерне. Так, по спектрам, полученным с микрозонда, наблюдается, что ближе к центральной части вдали от периферии зерно имеет следующий состав (в вес. %): Ag – 20,49, Au – 79,51 (спектр 9); Ag – 20,42, Au – 79,58 (спектр 11). В краевых частях золотины в оторочках состав характеризуется содержанием (в вес. %): Ag – 0,36, Au – 99,64 (спектр 13); Ag – 0,98, Au – 99,02 (спектр 10); Ag – 1,16, Au – 98,84 (спектр 12). В этих частях пробность золота может достигать 999.

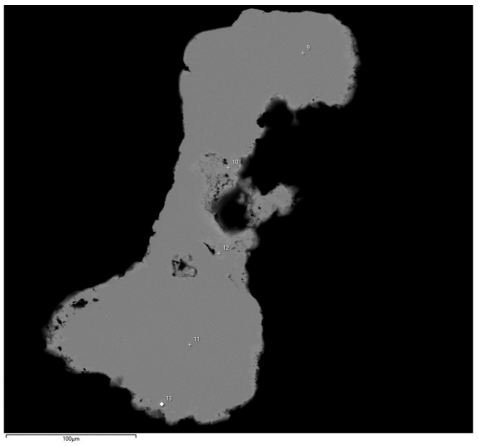


Рисунок. Самородное золото удлиненно-неправильной формы и точки определения химического состава методом электронного микрозонда

Наблюдаются тенденция содержания серебра в центральных частях зерен, а также повышение содержания золота в краевых частях. Данные наблюдения подтверждаются на основе результатов исследований других золотин из шлиховых проб.

На распределение золотоносных участков на р. Большая Куонамка и р. Дюкен оказывают влияние геоморфологические факторы и протерозойские интрузивные тела, трассирующие разломные зоны. Результаты шлихового опробования показали, что наиболее высокие концентрации золота локализованы ниже по течению от долеритовых даек. В одной из штуфных проб долеритов были получены геохимически значимые содержания золота, что частично подтверждает предположения Б. Р. Шпунта [7] и Б. Б. Герасимова [1]. Несмотря на это, мы склонны связывать более высокие концентрации золота в шлихах не с самими дайками, а с его перераспределением в зонах повышенной проницаемости в результате воздействия метасоматических процессов [2]. Это приводит к образованию кварц-карбонатных метасоматитов, джаспероидов. Схожие минеральная ассоциация и обстановка формирования наблюдаются на месторождении Прогнозное, где процесс мобилизации самородного золота (совместно с кварцем) и его переотложение наиболее интенсивно происходят на контактах силлов и даек андезито-базальтов с формированием кварц-гематит-барит-гидрослюдистых метасоматитов, а также на участках, где породы подверглись окремнению с образованием яшмоидов [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Герасимов Б. Б. Минералого-геохимические особенности золота россыпи р. Большая Куонамка // Наука и образование. – 2014. – № 3.
2. Герасимов Б. Б. Типоморфизм мелкого россыпного золота и потенциальные коренные источники Анабарского россыпного района (Северо-восток Сибирской платформы) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, № 4.
3. Кравченко А. А., Смелов А. П., Березкин В. И., Зедгенизов А. Н., Добрецов В. Н. Природа золоторудной минерализации раннепротерозойского билляхского гранитоидного комплекса по геохимическим данным (Анабарский щит) // Отечественная геология. – 2010. – № 5. – С. 23–29.
4. Савва Н. Е. Модель формирования золото-гематит-баритовой минерализации месторождения прогнозное (Северо-восток России) // Доклады академии наук. – 2014. –Т. 456, № 4. – С. 461–464.
5. Толстов А. В. Закономерности образования и размещения главных рудоносных формаций северной части Сибирской платформы : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. докт. геол.-минерал. наук / Толстов Александр Васильевич. – Якутск, 2006. – 312 с.
6. Толстов А. В. Перспективы золотоносности Анабарской антеклизы // Вестник Госкомгеологии. – 2002. – № 1(2). – С. 44–49.
7. Шпунт Б. Р. Генетические типы проявлений золота в северо-восточной части Сибирской платформы // Уч. записки НИИГА. Региональная геология. – 1970. – С. 5–15.

Глухов А. Н. (gluhov76@list.ru), Колова Е. Е.
ФГБУН «СВКНИИ ДВО РАН», г. Магадан

САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО В РОССЫПЯХ ИННАХСКОГО РАЙОНА КАК ИНДИКАТОР ПОРФИРОВО-ЭПИТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Показано, как типоморфные характеристики самородного золота из россыпей Иннахского рудно-россыпного района Олойской зоны отражают геолого-генетическую принадлежность его коренных источников. Они характеризуют полнопроявленную порфирово-эпитермальную систему, в пределах которой присутствуют все составные элементы: порфировый интрузив, зональный ореол гидротермально-метасоматических изменений, штокверки с Cu-Mo-(Au) минерализацией, «субэпитермальные» Au-Cu-Pb-Zn жилы, эпитермальное Au-Ag оруденение.

Ключевые слова: типоморфизм, самородное золото, порфировый, эпитермальный.

Иннахский рудно-россыпной район (далее РР) принадлежит к Олойской металлогенической зоне [9], которая соответствует одноименному вулкано-плутоническому поясу позднеюрско-раннемелового возраста [3]. Площадь района сложена верхнетриасовыми глинистыми сланцами и песчаниками, позднеюрскими андезитами, которые прорваны двумя крупными интрузивными массивами Камень Такмыка (~ 30 км^2) и Курьячанским (~ 20 км^2), и несколькими более мелкими интрузиями. Все они относятся к егдыкычскому габбро-монцонит-сиенитовому комплексу.

Рудные образования представлены пунктами золоторудной минерализации в виде маломощных (0,1–0,5 м), непротяженных карбонат-кварцевых жил с содержаниями золота до 5,4 г/т, серебра 50 г/т, меди, свинца и цинка до 1 % [10]; зонами штокверкового кварцево-сульфидного прожилкования площадью до 0,5 км^2 со средними содержаниями меди 0,2–0,6 % и золота 0,1–0,4 г/т. Рудные минералы: магнетит, гематит, пирит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит, молибденит, блеклые руды, арсенопирит, леллингит, самородный висмут [1]. Оруденение сопровождается ореолами кварц-биотит-калишпатовых и кварц-серицитовых метасоматитов. В эндоконтактовых зонах массивов размещаются скаполит-гранат-эпидот-пироксеновые скарноиды.

На площади Иннахского РР известны 18 россыпных месторождений. Они относятся к аллювиальному типу, характеризуются сложным строением с несколькими золотоносными пластами и большими мощностями торфов (до 50 м); формировались в условиях прерывистых неотектонических движений [10].

Нами изучено самородное золото в четырнадцати шлиховых пробах из шести россыпных месторождений. Размер агрегатов по ширине (наименьшее расстояние от границ) варьирует от 0,01 до 4 мм, от 30 до 80 % объема пробы составляют агрегаты размером по ширине менее 0,5 мм, знаки размером более 2 мм встречены только в четырех пробах. Длина (наибольшее расстояние от границ) единичных зерен достигает 6,2 мм. Изометричность (длина/ширина) агрегатов преимущественно варьирует от 1 до 2,5, показатели выше 3 характерны для золотин размером по ширине более 0,5–1 мм, на их долю приходятся менее 10 % выборки.

Преобладают зерна комковидной и гемиидиоморфной морфологии, часть пластинчатого металла мала и лишь в единственной пробе во фракции +1 мм достигает 30 %. В большинстве проб присутствуют агрегаты дендритовидных форм. Очень часто на поверхности самородного золота имеются отпечатки минеральной матрицы. Окатанность умеренная и слабая. До 70 % агрегатов покрыты пленками, корками гипергенных минералов железа. Микрорентгеноспектральным анализом высокопробные каймы не обнаружены (284 агрегата изучено). Спектр минералов-включений в самородном золоте достаточно широкий, помимо пирита, халькопирита и галенита, включает блеклые руды, Te- и Se-содержащий акантит, As-Ni минералы (арсенопирит, герсдорфит), теллуриды Ag, Au, Pb, Bi (петцит, алтаит, теллуровисмутит), сложные сульфотеллуриды (бенлеонардит). As-Ni минералы, блеклые руды и теллуриды (за исключением теллуровисмутита) встречаются только в россыпях долин, дренирующих интрузивный массив Камень Такмыка. Te- и Se-содержащий акантит, а также ртутьсодержащее золото (Hg до 5,63 %) встречены только в россыпях Курьячанского массива. Размер включений не превышает 30 мкм. По значению пробности самородное золото отчетливо разделяется на три группы. Первая –

высокопробное (выше 910 ‰), характер распределения значений одномодальный. Некоторые агрегаты этой группы содержат примесь Hg и включения теллуридов. По аналогии с рудами Тополево-Хетачанского и Баимского РР [5, 6, 8] их источником определены меденосные кварц-сульфидные штокверки и скарны. В Баимском районе они выделены Ю. Н. Николаевым с соавторами [7] как прожилково-вкрапленный халькопирит-борнит-кварцевый тип. Вторая группа проб – умеренно-высокопробное (775–884 ‰), характер распределения значений одномодальный. Агрегаты этой группы имеют включения минералов Te, Bi, As, Ni. Их источником определены карбонат-кварцевые жилы [1], ассоциация рудных минералов, в которых (пирит + галенит + + халькопирит + блеклые руды, арсенопирит + леллингит + самородный висмут) четко коррелирует с составом включений в россыпном золоте. В Баимском районе данной минерализации соответствует «жильный доломит-кварц-полисульфидный тип» [7]. Это «субэпитермальные жилы» модели Р. Силлитоу (Sillitoe, 2010). Для Тополево-Хетачанского района они выделены А. И. Кожевниковым как кварц-золото-сульфидный тип руд [5]. Третья группа – относительно низкопробное (менее 750 ‰), с бимодальным распределением значений. Самородное золото этой группы содержит включения галенита и акантита. Его источником определены зоны эпитермальной Au-Ag минерализации, аналогом которой в Баимском районе является «жильная родохрозит-доломит-кварц-полисульфидная» [7]. Именно к нему принадлежат месторождение Весеннее, а также другие объекты, которые в последние годы выделяются как тип «Intermediate Sulfidation» [12]. В Тополево-Хетачанском районе оруденение такого типа неизвестно. Общий размах пробности металла из россыпей Иннахского РР укладывается в интервал изменения данного параметра в медно-порфировых месторождениях мира [11].

Набор геолого-генетических типов золотого оруденения Иннахского РР, выявленный при изучении самородного золота из россыпей, характеризует его как полнопроявленную порфирово-эпитермальную систему [4], в пределах которой присутствуют все составные элементы: порфировый интрузив, зональный ореол гидротермально-метасоматических изменений, штокверки и скарны с Cu-Mo-(Au) минерализацией, «субэпитермальные» Au-Cu-Pb-Zn жилы, эпитермальное Au-Ag оруденение. Это отличает его от Тополево-Хетачанского района, где скарновое и эпитермальное оруденение неизвестно, и сближает с Баимским. Подобные аналогии наряду со сходным геологическим строением Баимского и Иннахского РР [2] делают Иннахский РР одним перспективным для поисков промышленных медно-порфировых и золото-серебряных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горячев Н. А., Половинкин В. Л. Минералого-геохимические признаки связи золотого оруденения с магматизмом (на примере Иннахского рудного узла, Западная Чукотка) // Минералогические особенности эндогенных рудных образований Якутии. – Якутск : ЯИГ СО АН СССР, 1979. – С. 115–129.
2. Звездов В. С., Минина О. В. Рудно-магматические системы вулкано-плутонических поясов Востока России // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 48–59.
3. Кара Т. В. Новые данные о возрасте магматических комплексов Алазейско-Олойской складчатой системы (Западная Чукотка) // Тихоокеанская геология. – 2018. – Т. 37, № 6. – С. 107–120.
4. Коваленкер В. А., Борисенко А. С., Прокофьев В. Ю., Сотников В. И., Боровиков А. А., Плотинская О. Ю. Золотоносные порфирово-эпитермальные рудообразующие системы: особенности минералогии руд, флюидный режим, факторы крупномасштабного концентрирования золота // Актуальные проблемы рудообразования и металлогении. Тезисы докладов Международного совещания. – Новосибирск : Академическое издательство «Геос», 2006. – С. 103–104.
5. Кожевников А. И. Медно-порфировое оруденение как источник питания россыпей золота Тополево-Хетачанской рудной зоны (Западная Чукотка) : специальность 04.00.11 «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений, металлогения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Кожевников Александр Иванович. – Томск, 1994. – 20 с.
6. Литвиненко И. С. Морфолитогенетические условия образования россыпей золота в северо-западной части Олойской складчатой зоны : специальность 04.00.11 «Геология, поиски и раз-

ведка рудных и нерудных месторождений, металлогения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Литвиненко Иван Степанович. – Магадан, 1995. – 20 с.
7. Николаев Ю. Н., Бакшеев И. А., Прокофьев В. Ю., Нагорная Е. В., Марущенко Л. И., Сидорина Ю. Н., Читалин А. Ф., Калько И. А. Au-Ag минерализация порфировых рудных систем Баимской зоны (Западная Чукотка) // Геология рудных месторождений. – 2016. – Т. 58, № 4. – С. 39–345.
8. Шаповалов В. С., Шавкунов Б. Н. Некоторые особенности золотоносности Западной Чукотки // Минералогия и геохимия рудных месторождений Северо-Востока СССР. – Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1978. – С. 96–104.
9. Шпикерман В. И. Домеловая минерагения Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 333 с.
10. Шульгина В. С., Кузнецов В. М., Нефедова И. Я., Ичетовкин Н. В. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист Q-56, 57 (Средне-Колымск). Полезные ископаемые. Объяснительная записка. – Л. : ВСЕГЕИ, 1993. – 65 с.
11. Beadoin G., Liu N. Geochemical signatures in native gold derived from Au-bearing ore deposits // Ore Geology Review. – 2021. – V. 132. – P. 1–18. – https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104066.
12. Le W., Ke-Zhang Q., Guo-Xue S., Guang-Ming L. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification // Ore Geology Review. – 2019. – V. 107. – P. 434–456. – https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.023.

Голобурдина М. Н. (Marina_Goloburdina@vsegei.ru)
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ЭКЛОГИТОВЫХ ГРАНАТОВ ИЗ АЛМАЗОНОСНЫХ ВЕРХНЕТРИАСОВЫХ ТУФОГЕННЫХ ПОРОД БУЛКУРСКОЙ АНТИКЛИНАЛИ

Приведены результаты изучения 1506 составов пиропов из алмазоносных карнийских туфогенных пород западного склона Булкурской антиклинали. Определено сходное распределение парагенетических типов пиропов в разновидностях алмазоносных пород, подобное для алмазоносных кимберлитов мира и, в частности, в том числе по соотношению групп гранатов Э-типа, для алмазоносных кимберлитов Накынского поля. По многим параметрам выделенные гранаты Э-типа сопоставимы с гранатами, ассоциирующими с алмазами, что может свидетельствовать о промышленной продуктивности коренного источника. Установлено присутствие возможного алмазоносного вебстеритового парагенезиса.

Ключевые слова: гранат, парагенезисы, эклогитовый тип, алмазоносность.

На северо-востоке Сибирской платформы наиболее выдержанным продуктивным древним коллектором алмазов является осадочно-вулканогенное основание осипайской свиты карнийского яруса, прослеживаемое от Западного Верхоянья до Анабарской губы [1]. Верхнетриасовые туфогенные образования булкурской пачки, обнаженные на левом берегу устьевого отрезка р. Лена на западном склоне Булкурской антиклинали, содержат минералы-индикаторы кимберлитов и максимально-промышленные концентрации алмазов. Основной проблемой в исследовании рассматриваемого россыпного объекта являются интенсивные преобразования пирокластики в туфогенных породах, приведшие к полному неоднократному замещению породообразующих минералов, и необычные текстуры отдельных многочисленных обломков (включений), определившие важные для поисковых работ дискуссионные вопросы о генезисе данных пород, типе коренного источника, его продуктивности и месте нахождения. Следовательно, главными информативными «элементами» в данных породах являются алмаз и минералы-индикаторы кимберлитов.

Типоморфные особенности алмазов основания карнийского яруса отличны от таковых палеозойских россыпей северо-востока Сибирской платформы, но имеют полное сходство с кри-

Таблица. Изученные коллекции пиропов

№ п/п	Линия/ Скважина	Проба	Интервал, м	Вес, кг	Количество зерен	Доля гранатов Д-Г-типа, %	Доля гранатов Э-типа, %	Доля гранатов Э-типа А/В/С %*
1.	8/7	Туфы	3,8–4,0	2	307	0,3	6,8	33/62/4,5
2.	74/3	Орто-туффиты	13,4–14,8	2,5	295	0,7	9,5	21/68/10,7
3.	90/2	Туфы	5,7–6,0	3,9	310	0,3	9,6	23/70/6,6
4.	106/1	Орто-туффиты	3,3–3,5	2,5	285	1,4	6,7	47,3/42,2/10,5
5.	106/3	Туфы	19,3–19,5	3,2	309	0	7,8	17/58/25
Итого:					**1506**	**0,5**	**8**	**28,3/60/11,5**

Примечание. * – % от объема эклогитовых гранатов; исследование проведено в ЦАЛ Вилюйской ГРЭ ПАО.

сталлами мезозойских и кайнозойских промышленных россыпей. Основным отличием является высокое содержание додекаэдроидов уральского типа и повышенная концентрация с легким изотопным составом алмазов V и VII разновидностей. В небольшом количестве присутствуют ламинарные кристаллы ряда октаэдр–ромбододекаэдр с тяжелым изотопным составом углерода, характерные для коренных месторождений Якутии.

Установленная положительная корреляционная связь содержаний пиропов с алмазоносностью пород [1, 2] ориентирует в первую очередь на детальное изучение пиропа с задачей выявить ассоциацию алмазоносных парагенезисов и оценить их распределение в продуктивных образованиях – туфах и ортотуффитах.

В настоящей работе рассмотрены особенности составов гранатов (с акцентом на эклогитовом парагенезисе), выделенных из пяти проб туфов и ортотуффитов, отобранных из скважин (таблица) при поисково-оценочных работах ООО «Арктической горной компании» (дочернее предприятие ПАО «АЛМАР-АЛМАЗЫ АРКТИКИ»).

Пироп встречается в тяжелой фракции туфов во всех классах крупности, повышенное количество характерно для класса -1+0,5 мм и -0,5 +0,25 мм, такое распределение типично и для кимберлитов. Пироп представлен преимущественно обломками и осколками трещиноватых зерен всех цветовых разновидностей, значительна доля оранжевых.

Основная часть пиропов пяти коллекций из продуктивных отложений Булкурской антиклинали имеет ультраосновной парагенезис с преобладающим лерцолитовым составом (рис. 1). Отчетливо прослеживаются низкие содержания верлитового и алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезисов и значительная доля гранатов Э-типа (см. табл. и рис. 1). Подобное распределение является характерным для алмазоносных кимберлитов мира (тр. Орапа в Юж. Африке) [9] и, например, для алмазоносных кимберлитов Накынского поля [3, 4].

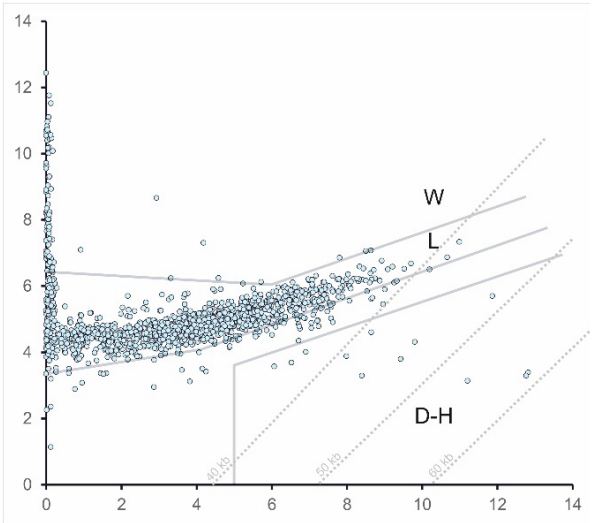


Рис. 1. Соотношение содержания Cr_2O_3 и CaO в пиропах из пяти проб туфогенных пород булкурской пачки. Парагенезисы пиропов [5]: D-H – дунит-гарцбургитовый, L – лерцолитовый, W – верлитовый

Доля эклогитовых гранатов, выделенная на основе классификации [11] с Cr_2O_3 < 1 %, в каждой пробе не превышает 10 % (6,8–9,9 %). Доля гранатов групп A, B и C подобна определенным в алмазоносных кимберлитах тр. Майская [3], в основном с превалирующими гранатами гр. B и наименьшим количеством гранатов гр. C (табл., рис. 2, а). Особенностью составов определенных эклогитовых гранатов является Mg# > 35 (см. рис. 2, б). Характерная им примесь

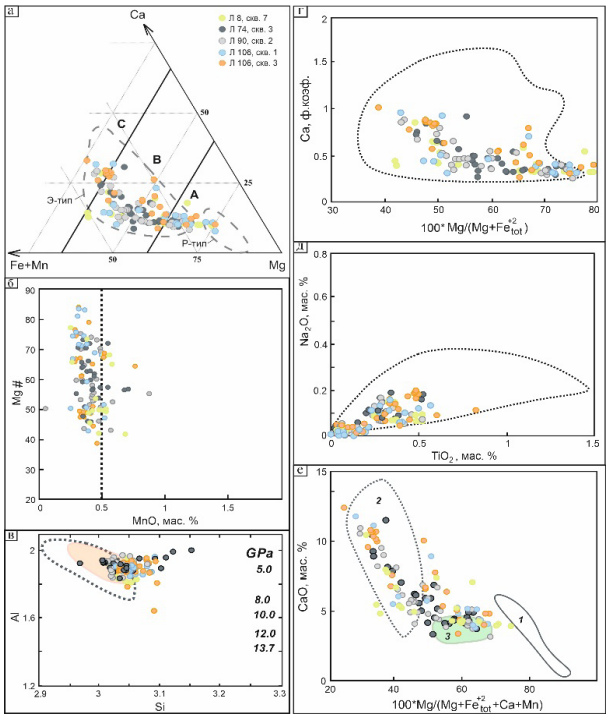


Рис. 2. Диаграмма Fe+Mn-Ca-Mg (а) и соотношения Mg#–MnO (б), Al–Si ф.коэф. (в), Ca–Mg# (г), Na_2O–TiO_2 (д) и CaO–Mg# (е) в эклогитовых гранатах из туфогенных пород булкурской пачки:

поля на рисунках: а – генетические группы гранатов Э-типа: А – мантийные, В – коллизионные, С – субдукционные, в – поле с точечным контуром – составы гранатов Э-типа, включенных в алмазы мира; оранжевое поле – составы гранатов Э-типа, включенных в алмазы из лампроитов тр. Аргайл [8], г, д – составы гранатов Э-типа, ассоциирующих с алмазами, *n* = 522 [7], е – составы гранатов Э-типа, включенных в алмазы из кимберлита тр. Де Бирс Поол [10]: лерцолитового и гарцбургитового (*1*), эклогитового (*2*) и вебстеритового (*3*) парагенезисов

MnO преимущественно находится в пределах 0,25–0,5 мас. %, что типично для гранатов алмазоносного эклогитового парагенезиса из кимберлитов известных регионов мира.

Выявленные относительно повышенные количества MnO от 0,5 до 0,87 мас. % в 10–13 % зерен (см. рис. 2, б), а в одной пробе 43 % (Л8/7) являются редкостью для включений эклогитовых гранатов в алмазах и свойственны таковым включенным в алмазы из россыпей северо-востока Сибирской платформы с содержанием от 0,50 до 6,87 мас. % [6]. Количество катионов Al и Si, зависимое от давления, для превалирующих зерен находится в пределах 6–7 GPa типичных для гранатов, включенных в алмазы (см. рис. 2, б). По соотношениям Ca-Mg#, Na_2O–TiO_2 и CaO 100*Mg/(Mg+Fe^{+2}_{tot}+Ca+Mn) гранаты имеют значения, сопоставимые с гранатами Э-типа, ассоциирующими с алмазами (см. рис. 2, г, д, е). Нахождение части составов гранатов, отнесенных к Э-типу, в координатах CaO-100*Mg/(Mg+Fe^{+2}_{tot}+Ca+Mn) в поле вебстеритов, может свидетельствовать об их отношении к алмазоносному вебстеритовому парагенезису.

Можно заключить, что исследованные гранаты в алмазоносных разновидностях туфогенных пород Булкурской антиклинали по типу парагенезисов и группам эклогитового граната имеют практически подобное долевое распределение, в целом типичное для алмазоносных кимберлитов Накынского поля. Особенности составов гранатов Э-типа сопоставимы с таковыми ассоциирующими с алмазами. Судя по соотношению CaO–Mg#, часть эклогитовых гранатов, возможно, относится к алмазоносному вебстеритовому парагенезису.

Глубокую признательность автор выражает главному геологу ООО «Арктической горной компании» и ПАО «АЛМАР-АЛМАЗЫ АРКТИКИ» С. А. Граханову за любезно предоставленный аналитический материал по гранатам из алмазоносных пород Булкурской антиклинали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Граханов С. А., Проскурнин В. Ф., Петров О. В., Соболев Н. В. (2022) Алмазоносные туфогенно-осадочные породы триаса арктической зоны Сибири // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 4. – С. 550–578.
2. Голобурдина М. Н., Граханов С. А., Проскурнин В. Ф. Особенности петрографического состава алмазоносных карнийских образований Булкурской антиклинали северо-востока Сибирской платформы // Литосфера. – 2023. – Т. 23, № 4. – С. 654–671.
3. Гибшер А. А., Мальковец В. Г., Кузьмин Д. С. Гранаты из трубки Майская Накынского кимберлитового поля // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, 05–07 апреля 2021. – Якутск : СВФУ, 2021. – С. 283–285.

4. Зезекало М. Ю., Антонова Т. А. Особенности кимберлитов и гранатов трубки Нюрбинская // Материалы Российского минералогического общества. – 2010. – Т. 1. – С. 54–56.
5. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. – 1971. – С. 70–80.
6. Соболев Н. В., Логвинова А. М., Николенко Е. И., Лобанов С. С. Минералогические критерии алмазоносности верхнетриасовых россыпей северо-восточной окраины сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 1162–1178.
7. Davies R. M., Griffin W. L., O' Reilly S. Y., Doyle B. J. Mineral inclusions and geochemical characteristics of microdiamonds from the DO27, A154, A21, A418, DO18, DD17 and Ranch Lake kimberlites at Lac de Gras, Slave Craton, Canada // Lithos. – 2004. – V. 77. Special Issue. 8th IKC – P. 39–55.
8. Davies R. M., Griffin W.L., O' Reilly S.Y., McCandless T.E. Inclusions in diamonds from the K14 and K10 kimberlites, Buffalo Hills, Alberta, Canada: diamond growth in a plume? // Lithos. – 2004. – V. 77. Special Issue. 8th IKC. – P. 99–111.
9. Gurney J. J., Zweistra P. The interpretation of the major element compositions of mantle minerals in diamond exploration // Journal of Geochemical Exploration. – 1995. – № 53. – P. 293–309.
10. Phillips D., Harris J. W., Viljoen K. S. Mineral chemistry and thermobarometry of inclusions from De Beers Pool diamonds, Kimberley, South Africa // Lithos. – 2004. – V. 77. Special Issue. 8th IKC. – P. 155–179.
11. Schulze D. J. A classification scheme for mantle-derived garnets in kimberlite: a tool for investigating the mantle and exploring for diamonds // Lithos. – 2003. – V. 71. – P. 195–213.

Головко А. В.[1] (geocentralasia@gmail.com), Антонов А. Е.[2] (alexander.e.antonov@gmail.com)
[1] НПП «CA Georesource», г. Ташкент,
[2] Институт геологии и геофизики им. Абдуллаева Х. М., г. Ташкент

АЛМАЗОНОСНОСТЬ УЗБЕКИСТАНА – ИСТОРИЯ ИЗУЧЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ В СТРАНЕ АЛМАЗНОЙ ОТРАСЛИ

Детальное изучение алмазоносности территории страны начато в 1997–2007 гг., когда была выявлена и предварительно разведана лампроитовая трубка Карашохо. Начиная с 2024 г. оценка перспектив алмазоносности проводится с участием Навоийского горно-металлургического комбината. Помимо поисково-оценочных работ программой предусмотрены маркетинговые исследования, включая обоснование целесообразности производства в Узбекистане синтетических алмазов.

Ключевые слова: алмазная отрасль, лампроит, Карашохо, прогнозные ресурсы, синтетические алмазы.

Правительство Узбекистана уделяет большое внимание развитию ювелирной промышленности (Постановления Президента РУз УП-5721 от 18.05.2019 г., ПП-4998 от 22.02.2021 г., ПП-452 от 23.12.2022 г.). В 2021 году был подписан Закон «О драгоценных металлах и драгоценных камнях», регулирующий сферу их оборота, среди которых особое место принадлежит алмазам, выделяющимся по своим ювелирным качествам и высокой стоимости.

Изучение потенциальной алмазоносности территории Узбекистана началось в 1980–1990-х годах и было обусловлено случайными находками мелких алмазов в аллювиальных отложениях рек Кафирниган и Сурхандарья при проведении поисковых работ на россыпное золото Ю. В. Финкельшейном.

С целью определения достоверности и распространенности необычной для складчатой области Южного Тянь-Шаня минерализации в ГГП Самаркандгеология была создана специализированная партия, выполнившая в 1987–2000 гг. исследования, в ходе которых были установлены трубки взрыва и дайки щелочных базальтоидов с минералами индикаторами алмазо-

носности и мелкими алмазами на участках Кштут и Кугитанг в Гиссарском регионе, Тусун в Южно-Нуратинском и Маджерум в Северо-Нуратинском. В бассейне притока р. Уря-Дарья был найден алмаз и его минералы-индикаторы – хромит, хромсодержащие альмандин и диопсид [1].

Результатом работ в горах Букантау и Нуратау явилось установление локальных участков развития алмазоносных пород на Коксайской и Кокпатасской перспективных площадях, где выявлена группа диатрем (Ерембет, Водораздельный, Карашохо), на которых рекомендовалась постановка поисково-оценочных работ. На смежной закрытой территории было выявлено свыше 80 магнитных аномалий трубочного типа, указывающих на возможность существования аналогичных по составу алмазоносных тел. Малообъемным (500–1062 кг) и специальным (5–25 кг) опробованием камптомончикитов, лампроитоподобных шонкинитов, пикритов и их брекчий, а также аллювиальных отложений участка Коксай в 23 пробах было установлено около 180 знаков алмаза размером 0,015–0,8 мм. Они сопровождались специфическим для каждого типа пород комплексом минералов спутников. Диагностика алмазов была подтверждена микроскопическими и рентгеноструктурными методами, данные обогащения заверены повторным опробованием и анализом в нескольких лабораториях [2].

Полученный фактический материал, установленная алмазоносность и достаточная степень изученности участков Карашахо и Коксай послужили основанием для постановки на них поисково-оценочных работ. Проект на предварительную оценку алмазоносности участков Карашахо и Коксай в горах Букантау осуществлялся в два этапа: первый в 1997–2002 гг. и второй в 2002–2007 гг. Одновременно была проведена реконструкция (для полной извлекаемости и исключения дробления алмазов) обогатительных лабораторий.

В результате проведенных работ детализированы особенности геологического строения и состава алмазосодержащих пород на участках Карашохо и Коксай. Выделен многофазовый Карашохинский лампроитовый комплекс, наиболее ранними образованиями, которого являются эруптивные брекчии 1 генерации. В отдельную фазу выделены получившие развитие на южном фланге трубки наиболее перспективные на алмазоносность меланократовые пойкилитовые ультраосновные лампроиты. Определены количественные и качественные параметры алмазоносности. Алмазы на участке Карашохо установлены в 131 пробе в количестве 556 знаков.

Следует отметить, что алмазоносная диатрема Карашохо пространственно совпадает с золоторудным участком Кокпатасского рудного поля, разрабатываемого Навоийским Горно-Металлургическим комбинатом.

На участке Коксай алмазы установлены в 31 пробе, которые характеризуют эруптивные брекчии, анальцимовые и биотит-амфиболовые камптомончикиты, в одном случае – ксенолит перидотита. Наиболее продуктивными являются анальцимовые камптомончикиты.

Определены морфологические особенности алмазов. Это преимущественно плоскогранные октаэдры, иногда имеющие удлиненно-уплощенный облик. Большинство кристаллов бесцветные и прозрачные. Первичные плоскогранные формы кристаллов часто изменены эпигенетическими процессами растворения и коррозии, что приводит к их матировке и округлению [6]. Величина кристаллов колеблется в пределах 0,02–2,5 мм, обломков 0,1–1,0 мм. Алмазы мелких классов резко преобладают над количеством относительно крупных (1–2 мм). Осколки неясного габитуса составляют около 40 %. Алмазы ювелирного класса на диатреме Карашохо составляют около 8 %.

Были определены первичные типоморфные признаки алмазов, к которым относятся сингенетичные примеси и дефекты структуры, обусловленные концентрациями оптически активных центров, уровень которых отражает термодинамический режим образования алмазов и скорость их кристаллизации. По полученным характеристикам (концентрация азота, водорода, изотопный состав) установлено, что алмазы участков Карашохо и Коксай аналогичны кимберлитовым и по условиям формирования (медленная кристаллизация в мантии в условиях близких к равновесным) должны иметь крупные классы.

Выполнены подсчеты запасов и оценка прогнозных ресурсов алмазов. На участке Карашохо суммарные запасы по категории C_2 по брекчиям и лампроитам до глубины 20 м близки к запасам некрупных месторождений Африки и Индии и могут быть промышленно значимыми

при содержании кристаллов среднего (2 мм) и крупного классов более 5–10 %. Прогнозные ресурсы алмазов, утвержденные НТС Госкомгеологии РУз, были оценены в количестве 8 млн карат.

В 2004 г. состояние проблемы изучил профессор Ф. В. Каминский – руководитель компании KM DIAMOND EXPLORATION в Канаде – и сделал заключение о наличии новой, Узбекской (или более широко – Центрально-Азиатской) алмазоносной провинции, в пределах которой имеются различные типы алмазоносных некимберлитовых пород. Трубку Карашохо можно, по его мнению, рассматривать как потенциальное полупромышленное месторождение алмазов.

К сожалению, после завершения начальных этапов изучение алмазоносности территории Узбекистана не велось более 15 лет. После 2007 г. на мировом алмазно-бриллиантовом рынке произошли существенные изменения. В России – ведущей алмазодобывающей стране, – по данным группы компаний «АЛРОСА», прогнозируется спад добычи. Уже начиная с 2025 г. количество добываемых алмазов упадет с 40 млн карат до 8 млн карат [3]. По мнению экспертов, дефицит сырья будет гарантировать рост цен на алмазы, и соответственно, стимулировать интерес к инвестированию в разведку и разработку новых месторождений.

В 2023 г. интерес к изучению алмазоносности Узбекистана проявил гигант золотодобывающей промышленности – Навоийский горно-металлургический комбинат, – выделивший ассигнования на исследование возможности создания в стране алмазной отрасли. Институту геологии и геофизики Комбинатом выдано техническое задание на выполнение научно-исследовательской работы «Обоснование, планирование и реализация мероприятий, направленных на создание алмазной отрасли в Узбекистане», предусматривающей определение перспектив промышленной алмазоносности известных участков развития алмазоносных пород лампроитового и щелочно-базальтоидного типов в Западном и Южном Узбекистане, маркетинговое исследование мирового рынка драгоценных камней с целью определения экономической целесообразности приобретения алмазов и других драгоценных камней за рубежом, оценку целесообразности производства синтетических алмазов в Узбекистане для технических целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Головко А. В. Некимберлитовые типы алмазоносных пород на территории Узбекистана // Региональная геология и металлогения. – 2005. – № 26. – С. 133–145.
2. Головко А. В., Шакирова Н. И., Диваев Ф. К. Карашохинский комплекс лампроитов Южного Букантау (Центральные Кызылкумы) // Геология и минеральные ресурсы. – 2005. – № 2. – С. 16–24.
3. Егорова И. В., Михайлов Б. К. Объектный метод анализа обеспеченности запасами полезных ископаемых на примере России // Руды и металлы. – 2021. – № 4. – С. 6–22.
4. Каминский Ф. В. Алмазоносность некимберлитовых изверженных пород. – М. : Недра, 1984. – 170 с.
5. Мушкин И. В. Петрология верхней мантии Южного Тянь-Шаня. – Ташкент : Фан, 1979. – 136 с.
6. Шафрановский Г. И., Головко А. В. Морфология алмазов из диатремы Карашахо (Узбекистан) // Эффективность прогнозирования и поисков алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50) : сборник тезисов докладов. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – С. 380–383.

Голубев Ю. К. (diamond@tsnigri.ru), Голубев С. Ю. (sgolubev@tsnigri.ru), Колесникова Т. И. (kolesnikova@tsnigri.ru), Сомов Н. А. (somov@tsnigri.ru)

ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОПЫТ ОЦЕНКИ НАПРАВЛЕНИЙ И ДАЛЬНОСТИ ПЕРЕНОСА АЛМАЗОВ В РОССЫПИ ОЛЕНЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ В ЯКУТИИ

Показаны возможности использования данных по вещественному составу осадков: гранулометрия, тяжелая фракция, петрографический состав грубообломочного материала, особенностям формирования речных долин для определения направлений и дальности переноса

алмазов из россыпей Оленекского поднятия. На этом основании сделаны предположения о возможном положении их коренных источников.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, Оленекское поднятие.

Оленекское поднятие Якутии расположено в Лено-Анабарском междуречье, где известно около сотни россыпей и россыпепроявлений алмазов, коренные источники которых до сих пор не выявлены. Данные россыпи обладают уникальными запасами, что позволяет предполагать возможность выявления их коренных источников, характеризующихся уникальными запасами. В связи с этим, в ФГБУ «ЦНИГРИ» были поставлены работы по выявлению положения источников сноса алмазов в состав данных россыпей. Данные работы основывались на сборе и анализе ретроспективной информации из отчетов по поискам алмазных месторождений в данном регионе, а также из многочисленных публикаций. При анализе данных материалов использовались подходы, изложенные в Методических рекомендациях по поискам коренных месторождений алмазов на «закрытых» территориях, разработанных ФГБУ «ЦНИГРИ» в течение 2019–2022 гг. и согласованные Роснедра в 2023 году.

Практически во всех отчетах, отражающих материалы выполненных поисковых работ в пределах Оленекского поднятия, отмечается, что алмазы в составе россыпей и россыпепроявлений, а также минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) в ореолах рассеяния, как правило, связаны с различными коренными источниками, т. е. являются полиинтегральными. Подобный состав ореолов рассеяния свидетельствует либо о поступлении алмазов и МИК из состава различных осадочных коллекторов, либо о значительной дальности транспортировки алмазов и МИК.

В связи с этим нами была предпринята попытка выявления потенциальных участков возможной мобилизации МИК и алмазов. Для этого были применены подходы, использующиеся в литологии для определения положения источника сноса обломочного материала. С этой целью был собран материал из многочисленных производственных отчетов и отдельных публикаций по вещественному составу осадков (современные аллювиальные отложения, четвертичные образования, терригенные осадочные толщи верхнего палеозоя–мезозоя), из которых проводился отбор шлиховых проб при проведении поисковых работ. Анализировался гранулометрический состав осадков, минералогические ассоциации тяжелой фракции, наличие дальноприносного грубообломочного материала, распределение алмазов, МИК. Кроме того, обращалось внимание на особенности геоморфологии речных долин. Данные исследования позволили выявить ряд закономерностей в формировании ореолов рассеяния МИК и россыпей алмазов, что позволяет говорить о возможностях выявления участков их мобилизации на основе анализа ретроспективной информации.

В частности, анализ подобной информации позволил сделать предварительное заключение о возможном источнике алмазов россыпи р. Молодо. Данная россыпь была сформирована за счет переотложения алмазов из промежуточных коллекторов. Об этом свидетельствует полигенный состав алмазов в россыпи. Нами были проанализирован вещественный состав потенциальных верхнепалеозойских коллекторов. Было установлено, что при формировании верхнепалеозойских отложений снос обломочного материала, включающего МИК и алмазы, как с северо-востока, так и юго-запада. С северо-восточной стороны в составе нуччаюрягинской свиты нижнего карбона известны находки алмазов, так называемого кютингдинского типа. Интересно отметить, что алмазы этого типа не отмечаются в составе четвертичных россыпей. С юго-запада алмазы известны в аллювии нижнедалдынской подсвиты (C_3), их содержания, как правило, не превышают 0,04 кар/м^3. При этом доминируют кристаллы I разновидности, кристаллы II, V и VII разновидностей, типичные для современных россыпей севера Якутской алмазоносной провинции, в древних промежуточных коллекторах среднего и верхнего палеозоя на территории района не установлены. В Молодинской россыпи, по материалам АО «Алмазы Анабара», подавляющее большинство алмазов (до 90 %) относятся к I разновидности. Следующую по значимости группу алмазов составляют кристаллы V разновидности. Содержание таких алмазов по изучаемым россыпям варьируется от 3,5 до 10,0 %. Алмазы II и III разновидностей (0,7–8,2 %) и (0,1–1,4 %), соответственно, в россыпи встречаются редко. Содержание алмазов

IV разновидности составляет чуть больше 1 %. Последние не встречаются в составе верхнепалеозойских коллекторов. Исходя из этих данных было сделано заключение о том, что верхнепалеозойские коллектора, скорее всего, не могли служить источником алмазов для россыпи р. Молодо.

Источником россыпных алмазов могли также служить четвертичные образования, так называемые водораздельные галечники. Работами АО «Алмазы Анабара» по Эекитской лицензии (Восточный склон Оленекского поднятия) было установлено следующее: морфологические типы алмазов в составе россыпепроявлений этой площади практически аналогичны таковым в россыпи Молодо; источником этих алмазов являются четвертичные галечники. Опытно-методические работы, выполненные ЦНИГРИ, показали, что данные галечники являются флювиогляциальными образованиями, которые формируются, как правило, при катастрофических спусках временных ледниковых озер. Об этом свидетельствует специфическая окатанность валунно-галечного материала (до шариков), корытообразная форма речных долин.

Перемещение обломочного материала при катастрофических спусках временных ледниковых озер хорошо изучено на примере района озера Агассиз в Северной Америке [2]. Предложенная Американскими геологами модель переноса обломочного материала может служить основой для определения участка его мобилизации, в том числе и алмазов в его составе. Согласно этой модели, грубообломочный материал переносится на сотни километров в ходе последовательных катастрофических спусках временных ледниковых озер. Спуски происходят при разрушениях ледниковых бортов озер при таянии. Грубообломочный материал характеризуется отсутствием сортировки, слоистости и представляет собой гравийно-галечно-валунный осадок с песчано-глинистым заполнителем. В отечественной литературе подобные отложения получили название гляциоселей [1]. Подобный поток формируют весьма специфическую по своей форме долину, характеризующуюся трапециевидной формой. Долины подобной формы описаны американскими геологами.

Анализ состава осадков, выполняющих долины рек в пределах Оленекского поднятия, форма этих долин позволяют предполагать аналогичную историю их формирования, как это представлено в публикациях американских геологов. В составе долинного комплекса присутствует валунно-гравийно-галечный состав на песчано-глинистом заполнителе, подобный гранулометрический состав осадков свойственен водно-грязевым потокам селевого типа (ламинарные потоки). Для долин характерна трапециевидная форма, характеризующаяся плоским днищем. В составе грубообломочного материала присутствует экзотическая галька, перенесенная за десятки километров от их возможных источников, подобные расстояния переноса не свойственны равнинным рекам с турбулентным типом течения. Наличие ледникового щита и связанных с ним флювиогляциальных отложений отмечалось в отчетах Тамбовцева А. А. (1986) при проведении ГСР-50. Аналогичного мнения придерживается и Тихогласов С. А. (1985), проводивший ГСР-50 в пределах Сололийского поднятия. Флювиогляциальные отложения были соотнесены с верхне-среднечетвертичным временем. В основании этих отложений залегает гравийно-галечный, гравийно-галечный с валунами материал, а заполнителем служит глинистый песок. Сравнительный состав грубокластических образований верхне-среднечетвертичного возраста с русловыми, пойменными и террасовыми отложениями современных водотоков по многим параметрам показывает значительное их сходство. Россыпепроявления алмазов появляются в составе современных аллювиальных отложений только на участках, где идет размыв грубообломочных четвертичных (флювиогляциальных) отложений.

Данные о строении речных долин, составе четвертичных осадков позволяют применить модель разноса обломочного материала, по аналогии с процессом, описанным американскими геологами. При такой трактовке можно предполагать, что потоки, сформировавшие грубообломочные флювиогляциальные осадки, были связаны со спусками временных ледниковых озер. Алмазы в состав водно-грязевых потоков могли быть захвачены как в верховьях долин рек, так и по пути их перемещения. Наличие палеоозерных осадков было отмечено Тамбовцева А. А. на водораздельных пространствах Сололийского поднятия.

В заключении следует подчеркнуть, что сделанные выводы являются предварительными и основываются, с одной стороны, на анализе ретроспективных данных по строению и составу

осадков, выполняющих долины рек и покрывающих водораздельные пространства, а также на анализе особенностей распределения четвертичных осадков и геоморфологического строения современных речных долин. На основе этих выводов сделано предположение о том, что в пределах Сололийского выступа можно ожидать обнаружение коренных месторождений алмазов. Это необходимо подтвердить проведением опережающих геолого-геофизических работ, которые могут быть организованы в виде прогнозно-минерагенических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лаврушин Ю. А., Голубев Ю. К. Особенности строения и формирования водно-ледниковых отложений // Доклады РАН. – 1996. – Т. 346, № 5. – С. 647–649.
2. G.K.C.Clarke [et al.] Paleohydraulics of the last outburst flood from glacial Lake Agassiz and the 8200 BP cold event / G.K.C.Clarke, D. W. Leverington, J. T. Teller, A. S. Dyke // Quaternary Science Reviews. – 2004. – V. 23. – P. 579–591.

Гриненко В. С. (grinenkovs52@mail.ru), Баранов В. В. (baranowvalera@yandex.ru)
ФГБУН ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

ВЕРХОЯНО-ОХОТСКАЯ ЧЕРНОСЛАНЦЕВАЯ РУДОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРАЗИИ И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВНАЯ МИНЕРАГЕНИЯ

Впервые в верхнем палеозое Северо-Востока Евразии выделена Верхояно-Охотская черносланцевая рудоносная провинция. Она прослеживается вдоль восточной границы Сибирской платформы и представлена углеродистыми уровнями с повышенной концентрацией $C_{орг.}$ и благородной металлоносностью, маркируя в фундаменте докембрийского Билякчано-Омолойского рудно-магматического пояса площадную структуру Староручьевского трога.

Ключевые слова: верхний палеозой, Северо-Восток Евразии, Верхояно-Охотская черносланцевая рудоносная провинция.

Наиболее древними отложениями в верхоянском терригенном комплексе (ВТК) в центральной части западной периферии Верхояно-Колымской складчатой области являются верхнепалеозойские [2]. В Западном Верхоянье в пределах Орулганского, Куранахского и Бараинского антиклинориев каменноугольные и пермские образования расчленены на местные стратиграфические подразделения. Литостратоны диагностированы по возрасту и картографированы разномасштабными государственными геологическими съемками [3]. Наиболее изученными геологическими телами в базальных горизонтах ВТК центральной части Западного Верхоянья являются нижнекаменноугольная серджахская и согласно залегающие выше нижне-среднекаменноугольная чочимбальская и среднекаменноугольная имтанджинская свиты. Основные разрезы изученных стратонов расположены в бассейнах рек с истоками на Верхоянском хребте [1, 7] на протяжении более 2500 км от губы Буор-Хая на севере до р. Билякчан на юге Южного Верхоянья. В пределах Куранахского антиклинория в верховьях рр. Чуора, Эмчээчин, Чочим-Бал, Немичан, Саганджа (басс. р. Дянышка) и рр. Хадарыня, Серинджах, Аркачан (басс. р. Эчий) геологические тела в виде стратифицированных металлотектов маркируют в пространстве Староручьевского трога.

Начало формирования Староручьевского трога (400–450 до 500 км × 50–80 до 100 км, вертикальная мощность заполнения до 1500–2000 м) отвечает верхнепалеозойскому этапу заложения крупнейшего на Северо-Востоке Азии Восточно-Сибирского бореального осадочного палеобассейна на дорифейском кратонном основании [5]. На востоке платформы этот этап маркируется турнейским веком [6], а в Западном Верхоянье днище Староручьевского трога выстилается металлотектами верхнего палеозоя [4]. Металлотекты являются высокоуглеродистыми (на породу $C_{орг.}$ от 0,5 до 1,2–1,5 %; max $C_{орг.}$ от 4,46 до 5,85, нередко до 8,05 %) геологическими телами, диагностированными как черные пиритизированные алевролиты и аргиллиты, специализированные на золото (на породу от 0,15–0,25 до 0,5 и нередко до 1,0 г/т) и серебро (на породу от 2,1 до 2,7 г/т). Они также характеризуются вкрапленной и рассеянной минерали-

зацией Cu, Pb, Zn, Mo, Bi, Sn и др. Столь разнообразный состав рудоносного заполнения объясняется (по геофизическим данным) тем, что в кристаллическом фундаменте Староручьевского трога находится одинакового с ним простирания Билякчанско-Омолойский раннепротерозойский вулкано-плутонический пояс, специализированный на благородные, цветные и редкие металлы. Последний является меридиональным подземным продолжением Билякчанского докембрийского грабена, отделяющего архейский цоколь Алданского щита от Охотского массива, и прослеживается на расстоянии более 2000 км по характерному полосовому минимуму силы тяжести. Отметим, что повышенная золотоносность глинистых пород металлотектов уверенно коррелируется с повышенным содержанием в них свободного углерода в форме рассеянного сапропелевого вещества, поэтому рассматриваемый трог, с определенной долей условности, мы относим к «классу черносланцевых прогибов и впадин». Массовое выпадение сапропелевого вещества, обогащенного золотом (0,15–0,5 г/т), из переохлажденных вод трансгрессирующего бореального морского бассейна происходило на границе холодных вод арктической акватории с теплыми речными водами авандельты речной системы Палео-Вилюя. Эти выводы согласуются с результатами литолого-геохимических исследований в Ленском рудном районе. В частности, черносланцевое заполнение продуктивных горизонтов месторождений Сухой Лог наложенными процессами диагенеза и начальных стадий метаморфизма было преобразовано в промышленную руду при стартовых содержаниях золота в бассейновых илах всего лишь 5 мг/т (безсульфидные уплотненные терригенные породы) и 8 мг/т (алевропелитовые морские, лагунно-континентальные и континентальные отложения).

В Эчийском рудном районе при накоплении пермских ритмосвит верхоянского комплекса Староручьевский черносланцевый трог, перспективный на открытие крупнотоннажного месторождения золота майского типа (Северная Чукотка), оказался «запечатанным» под перекрывающими его трехкомпонентными проградационными (аргиллит, алевролит, песчаник) ритмитами бассейна лавинной седиментации, разраставшегося на восток и на север. Сформировавшееся надрудное перекрытие имеет форму крупной седиментационной призмы, возникшей в результате поступательного движения на восток авандельты Палео-Вилюя. В нем так же, как и в подстилающих отложениях карбона, присутствует рассеянное органическое вещество, но уже не в виде рассеянного морского сапропеля, а в качестве растительного детрита континентального происхождения (дентритовидная форма растительных остатков, слоистый и линзовидный характер их размещения в геологическом разрезе, присутствие фрагментов косослоистых фаций, характерных для речных дельт и др.). Поэтому в верхней части каменноугольного (солончанская и кыгылтасская свиты) и непосредственно в пермском разрезе антиклинория, «запечатывающих» Староручьевский черносланцевый трог с установленными базальными продуктивными металлотектами, мы наблюдаем повышенные концентрации серебра в песчаных и глинистых породах в противовес более высоким содержаниям золота, отмеченным нами в базальных металлотектах ранне-среднекаменноугольного возраста.

Заключение. Впервые в верхнем палеозое Северо-Востока Евразии выделена Верхояно-Охотская черносланцевая рудоносная провинция. Она прослеживается вдоль восточной границы Сибирской платформы и представлена углеродистыми уровнями с повышенной концентрацией Сорг. и благородной металлоносностью, маркируя в фундаменте докембрийского Билякчано-Омолойского рудно-магматического пояса площадную структуру Староручьевского трога. В частности, для территории Эчийского рудного района впервые в аргиллитах и алевролитах чочимбальской свиты установлены новые значения $C_{орг.}$ до 8,05 % на глубинах до 200 м, сопровождающиеся тонкодисперсным золотом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Будников И. В., Гриненко В. С., Клец А. Г. Верхоянский складчатый пояс – ключевой регион для решения основных проблем стратиграфии верхнего палеозоя Сибири // Отечественная геология. – 1994. – № 8. – С. 42–46.
2. Гриненко В. С., Баранов В. В., Девятов В. П. Северо-Азиатская черносланцевая рудоносная мегапровинция на северо-востоке Евразии и ее перспективная минерагения // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 36–55. DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10009.

3. Гриненко В. С., Трущелев А. М., Сметанникова Л. И., Кропачев А. П., Щербаков О. И. Геологическая карта. Q–52 (Верхоянские цепи). Верхояно-Колымская серия // Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). – СПб. : Санкт-Петербургская картфабрика ВСЕГЕИ, 2008.
4. Гриненко В. С. Металлотекты раннего-среднего карбона верхоянского терригенного комплекса (Куранахский антиклинорий, Западное Верхоянье) // Отечественная геология. – 2018. – № 5. – С. 87–92. DOI: 10.24411/0869-7175-10020.
5. Baranov V. V., Grinenko V. S., Afanasiev V. P., Ugapieva S. S., Pokhilenko N. P., Popov N. V. Zayakina N. V., Vasilieva T. I. Possible evidence for the existence of volcanogenic magmatism in the Sinyaya River Basin at the Southern Flank of the Vilyui Syneclise // Geodynanamics & Tectonophysics. – 2023. – V. 14. – Issue 5, Article 0719. Paleogeodynamics. – P. 1–11. DOI: 10.5800/GT-2023-14-5-0709.
6. Baranov V. V., Grinenko V. S., Blodgett R. B. Global Conodont Paleobiogeography of the Tournaisian Stage (Early Carboniferous) // Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017. Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources. Kazan, Russian Federation, 19–23 September 2017. Filodiritto International Proceedings. Kazan, 2018. – P. 274–282.
7. Sobolev E. S., Klets A. G., Grinenko V. S., Budnikov I. V. Late Bashkirian ammonoids and nautiloids from the Western Verkhoyansk region // Paleontologocal Journal. – 1998. – Vol. 32. – № 5. – P. 447–460.

Гурьянов В. А. (guryanov_v@mail.ru), Кириллов В. Е. (kirillov@itig.as.khb.ru)
ФГБУ «ИТиГ», г. Хабаровск

УЛКАНО-УЧУРСКАЯ ПАЛЕОРИФТОВАЯ СТРУКТУРА: ВОЗРАСТ, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА, МЕТАЛЛОГЕНИЯ (ЮГО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

Подъем мантийного диапира Улкано-Учурской палеорифтовой структуры в тыловой части Сибирской платформы сопровождался мощным тепловым потоком и, как следствие, значительной тектоно-термальной переработкой пород фундамента, с которым в интервале 1,76–1,69 млрд лет назад связано заложение и развитие Улканского протоавлакогена, внедрение большеобъемных интрузий субщелочных (1,732–1,725 млрд лет) и щелочных гранитоидов (1,705 млрд лет), в источнике которых – вещество нижней континентальной коры и мантийное вещество – компонент типа OIB. Диапиром типа горячей точки мог быть Улканский щелочно-гранитный батолит, который представляет собой область интенсивного проявления позднепалеопротерозойского внутриплитного щелочно-гранитного магматизма и сосредоточения уникальных по многообразию и масштабам эндогенных рудных объектов Be, Ta, Nb, Zr, REEy, REEce, Li, Sn, W, Ti, (Pt), P, F (1720–1670 млн лет) как результата эволюции мантийного источника в процессе действия плюма. Формирование Mo-U, U-V, P-U и Au-Mo рудных объектов Улкано-Учурского района в интервале 1320–1150 млн лет связано с процессами среднемезопротерозойской реювенации пород улканской вулкано-плутонической ассоциации и фундамента тыловой части Сибирской платформы.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Улкано-Учурская палеорифтовая структура, Улканский массив, мантийный диапир, плюм, редкоземельно-редкометалльно оруденение.

Введение. Объем потребления редких и благородных металлов – один из важнейших показателей уровня научно-технического прогресса в основных отраслях промышленности и стратегической безопасности страны. За последние 50 лет мировое потребление этих металлов возросло в десятки и сотни раз. Факт неуклонного роста интереса промышленности к использованию редких металлов и редкоземельных элементов в стремительно развивающихся наукоемких технологиях неоспорим. На Дальнем Востоке промышленный интерес представляют Улкано-

Учурская (Улканская) палеорифтовая структура (УУПС), что и определяет ее важнейшее значение при расшифровке эволюции юго-востока Сибирской платформы (СП) в раннем докембрии [3, 7]. Цель и задачи исследования – анализ и обобщение опубликованных и собственных данных по магматизму, тектонике, геохронологии и металлогении УУПС для идентификации источников образования палеопротерозойских гранитоидов, базитов и осадочно-вулканогенных пород, реконструкции условий и геодинамической обстановки их формирования; состояние проблемы изучения и новые данные.

Результаты исследования, их обсуждение. УУПС обладает чертами трехлучевого строения, которое свидетельствует об активном рифтогенезе в связи с деятельностью горячей точки [4, 6, 7]. Таким диапиром типа горячей точки был, по всей вероятности, многофазный Улканский щелочно-лейкогранитовый массив площадью 750 км^2. Наиболее четкое отражение в геохимических системах цирконов получил регионально проявившейся позднепалеопротерозойский (улканский) этап интенсивной тектоно-термальной переработки пород фундамента СП (1765±9–1690±14 млн лет, SHRIMP-II) [3, 4]. Характерно, что в это же время (1,73–1,69 млрд лет) имела место термальная перестройка K-Ar, Rb-Sr и U-Pb изотопных систематик многих минералов (слюд, полевых шпатов, амфиболов, пироксенов и акцессориев) разных пород фундамента юго-востока СП [1, 2, 3]. Все это указывает на то, что здесь во внутриплитных условиях имел место подъем горячего мантийного вещества, с которым была связана термальная перестройка изотопных систем минералов в фундаменте тыловой части СП.

Область схождения и сопряжения роев базитовых даек, совпадающая с областью щелочно-гранитного магматизма в юго-восточной части Улканского массива, являлась вероятным эпицентром горячей точки, то есть своеобразной зоной наиболее интенсивного воздействия мантийных флюидов, вокруг которой по периферии расположены все известные многочисленные рудопроявления и месторождения TR, Be, Ta, Nb, Zr, Li, Sn, U, Th [2, 6]. В тектоническом плане важно отметить приуроченность рудопроявлений и месторождений редких металлов и REE, а также U, Th, Au и Ag к зоне тройного сочленения Улканского грабена и двух его лучей (рукавов) закрывшейся к 1,69 млрд лет назад океанской структуры [6, 7]. Эта область представляет собой район интенсивного проявления позднепалеопротерозойского внутриплитного щелочно-гранитного магматизма и сосредоточения уникальных по многообразию и масштабам эндогенных рудных объектов Be, Ta, Nb, Zr, REEy, REEce, Li, Sn, W, Mo, Ti, (Pt), P, F [3, 7]. Возраст редкоземельно-редкометалльных руд, согласно данным U-Pb и Pb-Pb методов [1, 2, 3, 5], варьирует от 1720±23 до 1670±70 млн лет, что в пределах погрешностей соответствует возрасту щелочных гранитоидов – 1705±5 млн лет [6, 7]. На генетическую связь с ними редкоземельно-редкометалльного оруденения указывает также близость изотопного состава Pb и Nd руд и щелочных гранитоидов [6].

В центральной части позднепалеопротерозойской (1,76–1,69 млрд лет) УУПС выявлено более 140 проявлений Be, Nb, Ta, U, Zr, TR, Th, Li, Au, Ag, Mo, Sn, W, P [2, 3, 7]. Они компактно располагаются в пределах и вокруг по периферии Улканского щелочно-лейкогранитного массива, который в металлогеническом плане представляет собой уникальный рудный район с редкометалльной и редкоземельной специализацией, а также на Au, Ag, и U. Предварительно оценено свыше 30 рудных объектов, большая часть из которых по прогнозным ресурсам отвечает крупным, средним и мелким месторождениям. Металлогеническую специализацию его определяют Be, Nb, Ta, TR, U, Li и Au. Суммарные прогнозные ресурсы (в тыс. т): U – 534 (по кат. $P_1 + P_2$ – 72), Nb_2O_5 – 710, Ta_2O_5 – 37, BeO – 431, ZrO_2 – 160, LiO_2 – 0,165, TR – 4184 (из них только Y – 1266), Th – 13, Mo – 267, Au – 178 т (P1 – 15,7 т Au) и Ag – 493 т [2, 3, 7]. Выделяются следующие основные типы рудных тел: 1) щелочно-гранитные пегматиты (Ta, Nb, Zr, Hf, TR, U или Th); 2) щелочные гидротермалиты (TR до 4 %, Be до 0,6 %, Nb, U, Th, Li, Sn, Ta); 3) щелочные полевошпатовые метасоматиты (Ta, Nb, TRy, TRla, Be, U, Zr); 4) аргиллизиты и эйситы (U, Mo,V); 5) адуляр-кварцевые метасоматиты (Au, Mo). Рудные интервалы с содержаниями Ta от 0,011 до 0,034 % (max – 0,118 %), Nb – от 0,23 до 0,86 %, Zr – от 2,15 до 7,28 % достигают 50–120 м; TR (La, Ce, Y) от 0,1 до 1,16 % и Be от 0,01 до 1,7 % – 100–300 м при протяженности рудных тел до 1200 м. Высокие концентрации Ta (0,012–0,047 %), Be (0,1–0,8 %), Ce (0,1–0,3 %), Zn и Sn установлены в бертрандит-кварц-карбонатных и карбонат-кварц-магнетит-гельви-

новых (гентгельвиновых) жилах. В редкометалльных грейзенах содержания Li_2O – от 0,1 до 3,96 %, Nb – до 0,08 %, Ta – до 0,01 %. В эйситах помимо U, Y, Ce установлены повышенные содержания Dy, Eu, Er, Lu, Tu, Ho, Gd, Sm, Pr, Nd и Ag (до 400 г/т), Au (до 0,32 г/т). По ресурсам урана ведущее место принадлежит P-U эйситам, Mo-U и U-V аргиллизитам, березитам типа «несогласия» [2]. Практический интерес представляют проявления золото-кварцевой формации в аргиллизитах (Au – 0,1–12,4, реже до 30 г/т). В последние годы установлено присутствие Pt и Ir в щелочно-гранитных пегматитах, щелочных гидротермалитах и особенно в жилах кварц-магнетит-гентгельвиновых руд (от 0,18 до 1,13 г/т Pt).

В то же время установлено, что формирование Mo-U, P-U, U-V и Au-Mo рудных залежей Улкано-Учурского района обусловлено процессами среднемезопротерозойской реювенации пород улканской вулкано-плутонической ассоциации и фундамента СП [6, 7]. По результатам изотопно-геохронологических исследований минералов рудоносных метасоматитов (U-Pb, Pb-Pb, Rb-Sr, K-Ar методы), возраст их формирования варьируется в пределах от 1320 до 1150 млн лет [1, 2, 3, 7]. В тектоническом плане эти объекты приурочены (трассируют) к «рукавам» тройного сочленения: субширотного грабена и двух лучей (Учур-Элгэтэйского и Укиканского) [7].

Заключение. *Улкано-Учурская палеорифтовая структура* обладает чертами трехлучевого строения, свидетельствующими об активном рифтогенезе в связи с деятельностью мантийного плюма или горячей точки. Таким диапиром типа горячей точки был, по всей вероятности, многофазный Улканский щелочно-лейкогранитовый массив. Подъем мантийного диапира в тыловой части СП сопровождался мощным тепловым потоком и, как следствие, тектоно-термальной переработкой пород ее фундамента в интервале 1765±9–1690±14 млн лет. Область щелочно-гранитного магматизма (Ныгваганский массив) являлась вероятным эпицентром горячей точки, то есть своеобразной зоной наиболее интенсивного воздействия мантийных флюидов. Сам Улканский массив представляет собой область сосредоточения генетически связанных со щелочными гранитоидами и их дериватами уникальных по масштабам и разнообразию (Be, Ta, Nb, Zr, REE, Li, Sn, W, Ti, P, (Pt)) эндогенных рудных объектов. Возраст руд – от 1720±23 до 1670±70 млн лет, что соответствует возрасту щелочных гранитов в 1705±5 млн лет. Особенности локализации рудных объектов, сформировавшихся в этот временной этап, в комплексе с геохимическими и изотопно-геохронологическими данными гранитоидов позволяют связать их происхождение с активностью позднепалеопротерозойского мантийного плюма или горячей точки. Анорогенный магматизм подобного типа в интервале 1,77–1,69 млрд лет отчетливо фиксируется по юго-восточному обрамлению СП и в Северном Китае, который происходил спустя 150–100 млн лет спустя после завершения орогенических процессов во вмещающих складчатых структурах коллизионных поясов [7].

Формирование Mo-U, P-U, U-V и Au-Mo рудных объектов Улкано-Учурского района в интервале 1320–1150 млн лет назад связано с процессами среднемезопротерозойской реювенации пород улканской вулкано-плутонической ассоциации и кристаллического фундамента тыловой части СП. В отличие от них редкометалльные и редкоземельные рудные объекты Улканского рудного района – продукты редкометалльно-щелочно-гранитного магматизма являются результатом эволюции мантийного источника в процессе действия плюма.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТиГ ДВО РАН «Закономерности формирования континентальной коры восточной окраины Евразии в неогее: тектоника, вещественный состав, минерагения и палеогеодинамика», № гос. регистрации 121021000095-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горошко М. В., Кириллов В. Е. Геология и металлогения Учуро-Майского района юго-восточной окраины Сибирской платформы // Тихоокеанская геология. – 1994. – № 1. – С. 109–120.
2. Горошко М. В., Малышев Ю. Ф., Кириллов В. Е. Металлогения урана Дальнего Востока. – М. : Наука, 2006. – 372 с.
3. Гурьянов В. А. Геология и металлогения Улканского района (Алдано-Становой щит). –Владивосток : Дальнаука, 2007. – 227 с.
4. Гурьянов В. А., Роганов Г. В., Зелепугин В. Н, Розинов М. И., Салтыкова Т. Е. Изотопно-геохронологические исследования цирконов раннедокембрийских пород юго-восточной части

Алдано-Станового щита: новые результаты, их геологическая интерпретация // Тихоокеанская геология. – 2012. – Т. 31, № 2. – С. 3–21.
5. Гурьянов В. А., Пересторонин А. Н., Диденко А. Н. Песков А. Ю., Косынкин А. В. Базитовые дайки верхнего палеопротерозоя Улкано-Учурского района (юго-восток Алдано-Станового щита): структурное положение, состав и обстановка формирования // Геотектоника. – 2013. – № 4. – С. 47–60.
6. Ларин А. М. Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. – СПб. : Наука, 2011. – 402 с.
7. Guryanov V. A., Peskov A. Yu. Ulkan paleorift structure in the south-eastern environs of the Siberian Platform: Age, Conditions, Sources, and Geodinamic Setting // Geosciences Research. – 2017. – V. 2, № 2. – P. 59–71.

Гусарова В. В. [1] (val99999@list.ru), Раткин В. В. [1] (ratkin@yandex.ru),
Чугаев А. В. [2] (vassachav@mail.ru), Елисеева О. А. [1] (okaras@yandex.ru)
[1] ФГБУН «ДВГИ ДВО РАН», г. Владивосток,
[2] ФГБУН «ИГЕМ РАН», г. Москва

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЮЖНОЕ: Sn-Ag-Pb-Zn ОРОГЕННАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ СИХОТЭ-АЛИНЯ

Формирование аномально сурьмяно-сереброносных Sn-Pb-Zn руд Южного месторождения сопряжено с поздним альб-сеноманским орогенезом. Источником свинца выступают флишоиды основания раннемеловой аккреционной призмы, участвующие в формировании гранитно-метаморфического слоя новообразованной мезозойской континентальной коры Сихотэ-Алиня.

Ключевые слова: альб-сеноманский орогенез, Sn-Ag-Pb-Zn Южное месторождение, зональность, S-O-Pb изотопия, Журавлевский террейн, Сихотэ-Алинь.

Введение. Южное месторождение локализовано в Краснореченском рудном районе среди флишоидов Журавлевского террейна Сихотэ-Алинского орогенного пояса. Обнаружено месторождение в 1956 г. в южной части Сихотэ-Алинского хребта на высоте около 1200 м над уровнем моря, в 20 км от пос. Краснореченский. В объеме единственной промышленно значимой жилы № 4 оно непрерывно отрабатывается начиная с 1968 г. При протяженности около 800 м и варьирующей мощности от 0,2 до 1,0 м жильная зона прослежена уже до глубины 1 км.

В принятой классификации месторождение типизировано как касситерит-сульфидное. По данным государственного реестра участков недр, предоставленных для добычи полезных ископаемых, и лицензий на пользование недрами по территории Приморского края, средние содержания свинца, цинка и серебра в рудах Южного месторождения соответствуют 8,48 %, 8,8 % и 465 г/т соответственно. Средние содержания олова, при доминировании в рудах станнина, фиксированы на непромышленном уровне – 0,06 %. В силу этого месторождение традиционно отрабатывается как серебро-свинцово-цинковое.

Многолетнее изучение месторождения проводилось фрагментарно, по мере вовлечения в отработку все более глубоких горизонтов, с акцентом на исследованиях минерального состава руд [1, 3, 5, 8]. Вопросы формирования Журавлевского террейна и орогенеза в непосредственной связи с рудообразованием не обсуждались. По сути, не решалась задача геолого-генетического металлогенического моделирования.

В силу указанного, сегодня актуально системно суммировать ранее выполненные региональные и локальные исследования геологии Журавлевского террейна, Краснореченского района и собственно месторождения, дополнив их результатами изотопно-геохимического изучения рудовмещающих пород и руд.

Журавлевский террейн. Работами последних лет [2, 4, 9] показано, что Сихотэ-Алинь выражен как участок новообразованной континентальной литосферы в форме коллажа юрско-раннемеловых эпиокеанических террейнов. Центральная часть южного Сихотэ-Алиня образована Журавлевским террейном, который нацело, на всю глубину новобразованной континентальной

коры, сложен флишоидами раннемелового турбидитового бассейна. По данным [2, 7], область питания журавлевского бассейна отвечала сино-корейскому сегменту континентальной окраины с высоким рудно-геохимическим породным фоном. В альб-сеноманскую орогенную эпоху толщи флишоидов были транслированы в сихотэ-алинский сегмент континентальной окраины, претерпели деформации, сопровождавшиеся синсдвиговым гранитоидным магматизмом [4, 9]. В нижней части аккреционной призмы в результате преобразования флишоидов был сформирован гранитно-метаморфический слой [6].

Структура Южного месторождения. Рудовмещающая структура месторождения – осложняющий ЮВ борт антиклинали субсогласный с напластованием раннемеловых флишоидов СВ взбросо-сдвиг, сформированный в процессе альб-сеноманского складкообразования. Месторождение сопряжено с ареалом проявления площадной биотитизации и ассоциировано с интрузиями монцодиоритов позднеальбского (100 млн лет) березовско-араратского орогенного комплекса [4].

Минеральный состав и зональность рудных тел. Главные минералы руд – пирротин, арсенопирит, сфалерит и галенит. В верхней приповерхностной части жила имеет кварц-карбонатный состав. Среди рудных доминируют пирротин, сфалерит и галенит. Здесь присутствуют также разнообразные антимониты свинца и другие минералы. В нижней части, при преобладании кварца среди жильных минералов, увеличивается относительное количество халькопирита, арсенопирита и пирротина. В виде разнообразных минеральных включений наиболее распространены самородное серебро, самородная сурьма и их интерметаллиды (дискразит, аллргентум), сурьмяные сульфосоли Ag и Pb. При этом отношение сфалерит/галенит, близкое 1 : 1, сохраняется от поверхности до глубоких горизонтов месторождения. Сфалерит при локальных вариациях железистости от 7 до 18 мас. % Fe также не проявляет изменчивости с глубиной. Галенит не содержит элементов-примесей, но сохраняет, влючая глубокие горизонты, сурьмяную специализацию за счет обильных включений минералов сурьмы. Проявлено изменение состава арсенопирита, как отражение снижения температуры восходящего флюидного потока от 500 °С на глубине до 350–400 °С у поверхности.

Результаты изотопно-геохимических исследований. Выполнено изучение изотопного состава серы сульфидов, кислорода жильного кварца, рудного свинца и состава свинца в валовых пробах песчаников раннемеловых флишоидов. $\delta^{34}S$ пирротина и галенита близки в значениях к метеоритному стандарту, отвечают составу ювенильной серы гранитоидов ильменитовой серии. При значениях $\delta^{18}O$ жильного кварца около 15 ‰, с учетом кислородно-изотопного фракционирования в системе кварц–H_2O, показано, что рудообразующий флюидный поток формировался при доминировании воды магматогенного происхождения. Определения изотопного состава галенита руд Южного месторождения демонстрируют изотопную однородность: при средних значениях (из восьми проб галенита) изотопных отношений $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$, $^{208}Pb/^{204}Pb$ на уровне 18,325, 15,623 и 38,664 соответственно индивидуальные модельные точки отклоняются от средних не более, чем на 0,02 %. Это непосредственно указывает на высокую гомогенность, значительные масштабы источника рудного свинца. Расчеты, выполненные на основе модели Стейси-Крамерса [10], показывают, что этот источник имеет близкую к среднекоровой характеристику с отношением $^{238}U/^{204}Pb$ около 9,8 и высоким отношением $^{232}Th/^{204}Pb$ – 39,7. На диаграмме в координатах $^{206}Pb/^{204}Pb$– $^{207}Pb/^{204}Pb$ экспериментальные точки рудного галенита лежат вблизи среднекоровой эволюционной кривой Стейси-Крамерса между кривыми «ороген» и «верхняя кора». Средние расчетные значения отношения Th/U в модельном источнике рудного свинца фиксированы на уровне 4,05. Единственный породный комплекс в составе рудовмещающего Журавлевского террейна, имеющий близкую Th/U и идентичную рудам свинцово-изотопную характеристику, – раннемеловые флишоиды.

Выводы. В силу указанного можно утверждать, что в роли геохимического резервуара рудного свинца Южного месторождения выступали раннемеловые флишоиды, сформированные при доминирующем участии продуктов рециклинга корового материала Сино-Корейского кратона. Собственно рудосносный магматизм связан с процессами орогенного гранитно-метаморфического преобразования флишоидов в основании аккреционной призмы. Высокую активность серы рудоносных магматических растворов можно связывать с участием в коровом синсдвиговом гранитообразовании флюидных потоков мантийного происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Бортников Н. С., Бородаев Ю. С., Вяльсов Л. Н. и др. Редкие минералы сурьмы и их парагенезисы в рудах месторождения Южного (Тетюхинский район, Южное Приморье) / В кн.: Новые данные о минералах СССР. Вып. 34. – М. : Наука, 1975. – С. 3–13.
2. Голозубов В. В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 239 с.
3. Казаченко В. Т. Южное свинцово-цинковое месторождение / В кн.: Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – С. 673–676.
4. Крук Н. Н., Гвоздев В. И., Орехов А. А. и др. Раннемеловые гранитоиды и монцонитоиды южной части Журавлевского террейна (Сихотэ-Алинь): геохимические особенности и источники расплава // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 3. – С. 30–49.
5. Осипова Г. А. Элементы-примеси и минеральные микровключения в касситеритах и сульфидах олово-полиметаллических месторождений. – Владивосток : Дальнаука, 1993. – 147 с.
6. Петрищевский А. М. Статистические гравитационные модели литосферы Дальнего Востока. – Владивосток : Изд-во Дальневост. Ун-та, 1988. – 168 с.
7. Раткин В. В., Карась О. А., Голозубов В. В. Природа бороносности Таухинской металлогенической зоны Сихотэ-Алиня и источники бора при формировании Дальнегорского месторождения // Тихоокеанская геология. – 2016. – Т. 35, № 5. – С. 101–115.
8. Раткин В. В., Симаненко Л. Ф., Елисеева О. А., Гоневчук В. Г. Пиротин-нисбит-брейтгауптит-сульфоантимонидная микроминеральная ассоциация: продукт высокотемпературной перекристаллизации руд жильного олово-серебро-полиметаллического месторождения Южное (Сихотэ-Алинь, Россия) // Записки Российского минералогического общества. – 2020. – Т. CXLIX, № 3. – С. 54–77.
9. Ханчук А. И., Гребенников А. В., Иванов В. В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 3. – С. 4–37.
10. Stacey J. S., Kramers I. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth Planet. Sci. Lett. – 1975. – V. 26, N 2. – P. 207–221.

Дамдинов Б. Б. [1] (damdinov@mail.ru), Горячев Н. А. [2] (goryachev@neisri.ru),
Дамдинова Л. Б. [1] (ludamdinova@mail.ru)
[1] ФГБУН ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ,
[2] ФГБУН СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА РУД ТРЕТЬЯКОВСКОГО ЗОЛОТО-ФЛЮОРИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Третьяковское золото-флюоритовое месторождение расположено в юго-западном Забайкалье и входит в состав Гильберинского золото-серебро-флюорит-редкометалльного рудного узла. В пределах месторождения совмещены несколько типов минерализации – флюоритовая, золото-(сульфидно)-кварцевая и циркон-титаномагнетитовая, генезис которых различен, что позволяет отнести его к комплексным полигенным объектам.

Ключевые слова: Третьяковское золото-флюоритовое месторождение, минеральный состав, самородное золото, циркон-титаномагнетитовые руды.

Третьяковское золото-флюоритовое месторождение расположено в 50 км к юго-западу от г. Улан-Удэ, в горной «перемычке» (Слюдинский горст), разделяющей Оронгойскую (Гусиноозерскую) и Иволгинскую впадины Гусино-Удинской рифтогенной депрессии [1]. В металлогеническом отношении месторождение расположено в пределах Гильберинского золото-серебро-флюорит-редкометалльного рудного узла, в состав которого наряду с Третьяковским золото-флюоритовым входят Санжеевское серебро-полиметаллическое и Аршанское редкоземельное месторождения, а также ряд более мелких рудопроявлений флюорита, РЗЭ, Au.

Третьяковское месторождение было открыто в 1953 г. как флюоритовое. Позднее в рудах были установлены повышенные содержания золота, достигающие первых десятков г/т, причем по результатам разведочных работ было установлено, что с глубиной наблюдается увеличение содержаний золота и мощности рудных тел, а флюоритизация, как правило, значительно ослабевает (неопубликованные данные Третьяковской геологоразведочной партии, 1968 г.). Позднее в начале 2000-х гг. нами на площади Третьяковского месторождения был обнаружен обломок циркон-титаномагнетитовой руды. Позднее, в 2021 г. в делювиальных свалах были найдены еще несколько обломков таких необычных руд, что подтвердило их пространственную связь с литокомплексами, слагающими рудное поле Третьяковского месторождения.

Несмотря на то что это месторождение было открыто еще в середине XX века, многие особенности состава руд, в частности, формы нахождения золота и серебра, а также их физико-химические условия формирования оставались неизученными, что побудило провести минералого-геохимические и термобарогеохимические исследования этого объекта, в том числе всесторонне изучить и необычные циркон-титаномагнетитовые руды.

Рудное поле Третьяковского месторождения сложено преимущественно сиенитами джидинского комплекса, в которых отмечаются небольшие ксенолиты диоритов и гнейсов, а также дайки диоритовых порфиритов и сиенит-порфиров, простирающиеся в широтном направлении. В то же время при детальном исследовании в ряде случаев установлены участки, сложенные гравелитами и конглобрекчиями с окатанными и неокатанными обломками сиенитов, сцементированных сиенитовым же материалом (либо песчаниками, сложенными обломками минералов, слагающих сиениты). Происхождение этих образований остается неясным, возможно, это продукты тектонической дезинтеграции – катаклазиты по сиенитам, поскольку достаточно мощные и протяженные зоны дробления и катаклаза присутствуют на площади месторождения. Они простираются преимущественно в северо-восточном направлении (аз прост. 45–50°) параллельно главному нарушению, ограничивающему с запада Слюдинский горст, имеют субвертикальное падение. К этим зонам приурочены кварц-флюоритовые рудные тела. Присутствуют также пострудные оперяющие разломы субширотного простирания.

Вторичные изменения представлены площадными зонами аргиллизации и линейными зонами окварцевания и флюоритизации, которые, сливаясь, образуют кварц-флюоритовые рудные «жилы», представляющие собой жильно-прожилковые зоны. Все кварц-флюоритовые тела Третьяковского месторождения приурочены к одной мощной зоне, в которой выделяются участки сильно дробленых перетертых пород, превращенных в типичную брекчию, и участки пород, не затронутых катаклазом. Мощность первых колеблется от нескольких сантиметров до 80–30 м. Контакты между такими участками неясные, имитируют постепенные переходы. Всего на месторождении выявлены пять кварц-флюоритовых жильных тел, длина которых достигает 1200 м, средняя мощность 0,3–1 м. На всем протяжении жилы имеют довольно мощные раздувы, которые сменяются пережимами или переходят в зоны минерализации со слабовыраженными окварцеванием и флюоритизацией. На флангах отмечаются расчленение жилы на маломощные прожилки и появление кулисообразно расположенных рудовмещающих разрывных структур.

Основными жильными минералами являются кварц и флюорит. Кварц представлен тремя генерациями: 1) темно-серый идиоморфнозернистый, 2) массивный серый или белый халцедоновидный кварц, 3) шестоватый или гребенчатый друзовидный. Флюорит в рудных телах образует мономинеральные блоки, гнезда, прожилки, вкрапленность в кварце и ксенолитах сиенитов, а также совместно с кварцем слагает цемент рудной брекчии. В пустотах, содержащих агрегаты друзовидного кварца 3-й генерации, наблюдаются кубические кристаллы флюорита. Окраска флюорита различна, преобладают светло-зеленый цвет, реже встречаются разновидности светло-коричневого, фиолетового цвета и бесцветные.

Среди рудных минералов диагностированы пирит, вольфрамит, гетит, а также минералы благородных металлов: самородное золото низкой пробности (510–570 ‰), ютенбогардтит (Ag_3AuS_2), акантит с примесью Se (0,89–5,9 мас. %). Причем золото-серебряные минералы чаще всего находятся в ассоциации с агрегатами гидроксидов железа (гетит, гидрогетит, лимонит), которые, в свою очередь, приурочены к зонам окварцевания, тогда как флюоритовые агрегаты

повышенных концентраций золота не содержат. Учитывая, что изученные образцы характеризуют зону окисления, а также тот факт, что с глубиной количество сульфидных минералов увеличивается, можно считать, что золоторудная минерализация ассоциирует с зонами окварцевания и сульфидизации и позволяет отнести оруденение к золото-сульфидно-кварцевому минеральному типу.

Обломки необычных циркон-титаномагнетитовых руд были найдены в центральной части Третьяковского месторождения, в зоне развития метасоматитов, параллельной основному рудному телу. Внешне образцы руд представляют собой угловатые обломки от темно-серого до черного цвета, массивной текстуры. Они сложены почти сплошным агрегатом, состоящим из смеси Fe-Ti минералов, образующих решетчатые и пластинчатые структуры распада, с многочисленными выделениями кристаллов циркона. Кроме циркона, в основной массе агрегата присутствует вкрапленность относительно мелких кристаллов апатита со сглаженными очертаниями, а также отдельные зерна кварца и монацита. Тонкие секущие прожилки сложены агрегатами кварца, хлорита, с редкими зернами карбонатов (сидерита) и монацита. В межзерновых пространствах зерен титаномагнетита отмечаются фрагменты окварцованных катаклазитов и кварцевых прожилков, практически идентичных катаклазитам и прожилкам, наблюдаемым в кварц-флюоритовых рудах, что может служить одним из доказательств связи циркон-титаномагнетитовых и кварц-флюоритовых руд. Преобладающими минералами Fe-Ti агрегата являются магнетит, содержащий многочисленные пластинчатые вростки титановых минералов, среди которых нами диагностированы ильменит (манганоильменит), Fe-Ti оксид, близкий по составу к псевдорутилу, и рутил.

Исследования флюидных включений (ФВ) в кварце и флюорите показали достаточно низкотемпературные условия минералообразования. Так, температуры гомогенизации ФВ во флюорите имеют значения 130–184 °С, что даже с учетом возможной поправки на давление указывает на эпитермальные условия минералообразования. Температуры гомогенизации ФВ в друзовидном кварце также показали низкие значения – 130–160 °С.

Таким образом, нашими исследованиями установлено, что в рудном поле Третьяковского месторождения совмещены несколько типов минерализации – флюоритовая, золото-(сульфидно)-кварцевая и циркон-титаномагнетитовая, генезис которых, скорее всего, различен. Следовательно, это месторождение можно отнести к комплексным полигенным. Находка необычных циркон-титаномагнетитовых руд в ассоциации с золото-флюоритовым оруденением определяет возможность нахождения на территории Забайкалья нового типа комплексных руд, подобных благороднометалльным рудам Южной Австралии.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Платов В. С., Терещенков В. Г., Савченко А. А., Бусуек С. М., Аносова Г. Б., Полянский С. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Лист M-48-VI. Селенгинская серия. Объяснительная записка. – М. : МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 156 с.

Дегтерёв А. Ю. (anton.degterev@rfdyn.ru)
ООО «Рок Флоу Динамикс», г. Москва

ТЕХНОЛОГИИ МНОГОВАРИАНТНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Рассмотрены технологии многовариантного моделирования, анализа неопределенности и оптимизационной настройки геологической модели, широко применяемые в течение последних десятилетий в нефтегазовой отрасли. Показаны основные проблемы, до недавнего времени не позволявшие использовать данные технологии в горнодобывающей отрасли, и пути преодоления этих проблем.

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

В последние десятилетия основным инструментом для принятия решений при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых являются геологические модели. Помимо автоматизации работ по геометризации залежей полезного ископаемого и подсчета запасов современное геологическое моделирование позволяет решать ряд других задач, недоступных для ручного выполнения.

Геологические модели (структурные, ресурсные, блочные геомеханические) являются ключевым инструментом для консолидации информации о геологическом строении и свойствах месторождения, на основе информации из таких моделей происходит принятие технологических и инвестиционных решений. Поскольку ресурсы, выделяемые на изучение объекта и построение его модели, всегда ограничены, все стороны заинтересованы в том, чтобы при одних и тех же затратах на сбор и обработку данных модель предоставляла наиболее правильную, полную и точную информацию. Отсюда возникает вопрос: каким образом без увеличения затрат на полевые и лабораторные исследования обеспечить повышение информативности создаваемых моделей? Ответом является использование более совершенных технологий моделирования.

Современные пакеты геологического моделирования обладают обширной функциональностью для удобной работы с геолого-геофизическими данными, структурного и блочного моделирования. Тем не менее, хотя они имеют некоторые отличия в плане организации интерфейса, перечне поддерживаемых форматов и процедур, скорости работы, возможностях интеграции с другими модулями, но общие подходы, заложенные в них, примерно одинаковы. Ключевыми технологиями прошлого, которые привели практику геологического моделирования к текущему состоянию, можно назвать геостатистический подход и связанный с ним переход от каркасного моделирования к блочному и условное моделирование, позволившее перейти от ручного построения каркасов к автоматизированному. Тем не менее ни та, ни другая технология не оказалась универсальной и не могла во всех случаях гарантировать повышение достоверности моделирования: геостатистический подход требовал статистической стационарности моделируемого параметра, что традиционно при моделировании никогда не проверялось и по всей видимости во многих случаях не выполнялось, приводя к систематическим ошибкам (как правило, занижению) прогнозируемых значений [1]. Использование условного моделирования неоднократно приводило к систематическим ошибкам прогноза объемов руды (часто к существенному завышению), на что указывает в одной из недавних работ сам автор данного метода Jun Cowan [9]. Таким образом, хотя оба этих подхода и поменяли «правила игры» и традиции моделирования, но в общем случае они не решили проблему обеспечения достоверности моделей. Если говорить про ближайшее будущее, то нельзя не отметить активную работу, ведущуюся сразу многими коллективами в направлении использования методов машинного обучения. Хотя успехи в данном направлении пока достаточно фрагментарны, в ближайшие годы вполне возможно появление существенных достижений. Не менее многообещающе выглядят и исследования в направлении извлечения дополнительной структурной информации из данных опробования [5, 9]. Если же говорить про настоящее время, то стоит отметить технологии многовариантного (стохастического) моделирования, анализа неопределенностей и оптимизационного решения задач геологического моделирования, активно применяемые в нефтегазовой отрасли (некоторые – уже несколько десятилетий) и давно доказавшие свою эффективность, то есть в целом достаточно известные. Тем не менее до недавнего времени в горнодобывающей отрасли эти технологии не использовались.

В основе многовариантного моделирования лежит концепция моделирования на основе графа моделирования (Workflow). Данная концепция моделирования подразумевает, что модель представляет собой не столько набор объектов, сколько набор воспроизводимых инструкций, приводящих к получению этого набора объектов из исходных данных. Данная технология по всей видимости изначально получила распространение в программных продуктах для работы с данными сейсморазведки конца XX века, но уже в начале 2000-х годов она начала активно применяться в нефтегазовом геологическом моделировании, став стандартной функциональ-

ностью соответствующих программных пакетов. Моделирование на основе Workflow делает модель полностью воспроизводимой и документирует процесс моделирования, а также позволяет автоматически выполнять обновление модели при получении новых данных. Дополнительными преимуществами является возможность работы с несколькими версиями проекта, а также автоматизации повторяемых рутинных операций. Поскольку Workflow можно переносить из проекта в проект, существует возможность настроить его на одном проекте и далее с минимальными корректировками многократно применять на всех однотипных проектах, что многократно ускоряет процесс моделирования за счет сокращения времени на ручное нажатие кнопок и ввод значений. Аналогичным образом реализуется возможность предварительной настройки модели на слабом компьютере и ее финальное построение на мощной рабочей станции, либо построение модели на вычислительном кластере [4].

При многовариантном (стохастическом) моделировании и анализе неопределенностей параметры Workflow, которые в детерминированном моделировании рассматривались как константы, задаются переменными. Переменные могут быть как числовыми, дискретными или непрерывными, подчиняющимися заданному закону распределения, так и перебираемым с заданными вероятностями набором объектов. Перебором объектов, можно, например, одновременно учесть геологические построения от разных авторов, разные версии интерпретации геофизических данных и т. п. Существует возможность учесть сразу весь диапазон приемлемых значений параметров интерполяции, учесть погрешности измерений, которые будут в заданном диапазоне значений случайно вноситься в исходные данные и т. д.

Суть стохастического моделирования заключается в многократном перестроении модели с варьированием параметров при каждом запуске. Совместное варьирование различных переменных позволяет оценить влияние каждой из них на оцениваемые параметры, например, на общие запасы или запасы по оцениваемым подсчетным блокам. При большом числе переменных для получения устойчивых оценок могут потребоваться тысячи запусков. Получаемые по стохастической модели многовариантные оценки запасов (рис. 1, слева) могут использоваться для многовариантного экономического анализа и получения наиболее вероятной, пессимистичной и оптимистичной оценок запасов, получение которых невозможно при детерминированном моделировании. Другим не менее важным результатом являются оценки вклада каждой из входных переменных, которые позволяют выявить наиболее информативные типы данных и значимые параметры моделирования, на которые следует обратить внимание при доразведке объекта и уточнении модели, а также отбросить несущественные факторы неопределенности, не оказывающие существенного влияния на оцениваемые параметры (см. рис. 1, справа). Таким образом, результаты анализа неопределенностей могут использоваться для оптимизации геологоразведочных работ и повышения их информативности. Помимо этого, на основе набора полученных реализаций пространство модели может быть ранжировано по вероятности встречи полезного ископаемого с заданными кондициями, что может быть использовано для оптимизации горных работ (см. рис. 2).

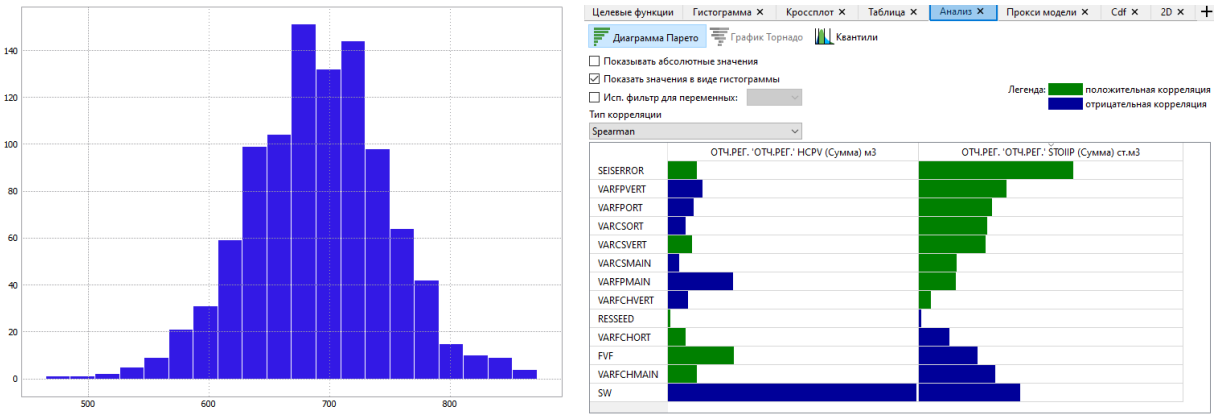


Рис. 1. Распределение запасов месторождения (слева) и оценка влияния каждой из входных переменных на запасы (справа)

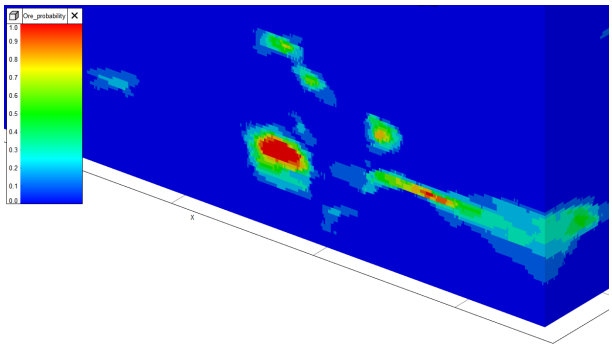


Рис. 2. Пространственное распределение вероятности встречи полезного ископаемого с заданными кондициями, полученное на основе множества реализаций модели

Техники многовариантного моделирования и анализа неопределенности модели успешно применяются в задачах геологического моделирования с 90-х годов XX века и к настоящему времени нашли признание не только в зарубежной, но и отечественной практике [2]. В нефтегазовой отрасли подобные техники в настоящее время получили настолько широкое распространение, что были зафиксированы в современной международной системе классификации ресурсов углеводородного сырья PRMS [7, 8].

Помимо самостоятельной ценности, многовариантное моделирование является фундаментом для решения оптимизационных задач. Задав интересующий параметр как целевую функцию, которую необходимо минимизировать или максимизировать, и доверив варьирование входных параметров модели одному из алгоритмов оптимизации, можно добиться включения в модель косвенной информации, которая в ином случае не могла бы быть учтена. Например, можно настроить модель на данные замеров содержаний с обогатительного комбината, на данные с детально изученного участка месторождения, на результаты интерпретации площадных геофизических исследований. Во всех этих случаях дополнительная информация напрямую не включается в модель, но параметры модели подбираются таким образом, чтобы минимизировать невязку относительно этих данных. Существует также возможность решения более сложных задач, таких как оптимизация положения горных выработок или настройка модели интерполяции свойств и модели трещиноватости на данные фиксируемых дебитов жидкости или газа и т. д.

Для того чтобы воспользоваться возможностями, открываемыми многовариантным моделированием, необходим метод, позволяющий генерировать реалистичные реализации распределения свойств, включая плавные градации и резкие переходы значений. До недавнего времени такого метода не существовало, что делало невозможным автоматическое многовариантное построение модели. Условное моделирование, даже если не учитывать искажения объемов, которые оно может вносить [9], не позволяет учесть возможную вариацию формы тел. Геостатистическое моделирование, потенциально позволяющее решать задачи многовариантного моделирования, ограничено лежащей в его основе гипотезой стационарности и не позволяет одновременно с интерполяцией содержаний автоматически выделять реалистичные границы геотел, что требовало для их выделения все того же каркасного моделирования. Еще одной проблемой геостатистического подхода является неоднозначность выполнения вариограммного анализа, не поддающегося полной автоматизации и требующего его ручного выполнения экспертом-геологом.

В рамках геостатистического подхода моделируемый пространственный параметр рассматривается как случайная функция, все реализации которой проходят через точки исходных данных. Чтобы обеспечить возможность построения такой функции по имеющимся наблюдениям, вводится так называемая гипотеза стационарности, то есть априорное утверждение, что моделируемая среда является статистически стационарной. Предположение о стационарности при геостатистической симуляции имеет очень высокий вес, являясь не менее весомой априорной информацией о моделируемой среде, чем исходные данные и заданная пользователем модельная вариограмма. В нестационарном случае вместо выявления геологических закономерностей геостатистический аппарат, наоборот, маскирует их, интерпретируя данные исходя из допущения об их стационарности (рис. 3, 4). Многовариантная геостатистика из-за лежащей в ее основе гипотезы стационарности оказывается полностью неприменима для целей многовариантного выделения геотел и доменов внутри них (рис. 5).

Хотя о рисках получения ошибочных результатов при использовании геостатистики без должных проверок напрямую предупреждают действующие рекомендации ГКЗ [1], а необхо-

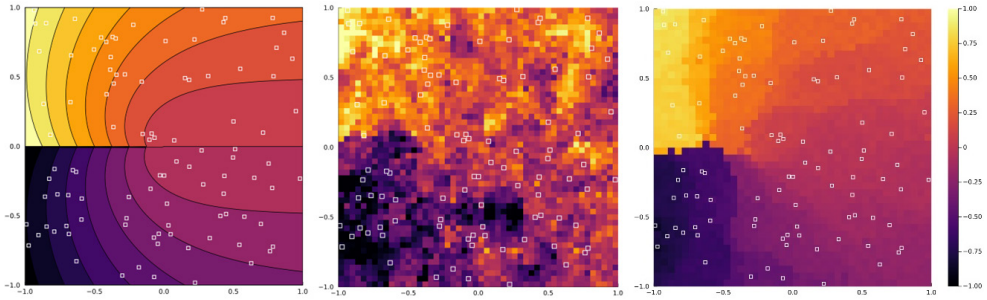


Рис. 3. Восстановление аналитически заданной поверхности с разрывом (слева) по набору замеров в случайных точках. В центре – одна из реализаций, полученных по этим точкам с использованием геостатистики, методом последовательной гауссовой симуляции (SGS) (одна из реализаций). Справа – одна из реализаций, полученных по этим же точкам без использования геостатистики, методом Amazonas (одна из реализаций)

димость выполнения проверок статистической стационарности и применяемые для этого инструменты подробно описаны в специализированной литературе [3], до недавнего времени в программных пакетах, предлагающих опции геостатистического моделирования, необходимые средства для проверки гипотезы стационарности отсутствовали. Реализация необходимых проверок в отечественном программном продукте моделирования тНавигатор Дизайнер Геологии показала, что для очень многих реальных объектов гипотеза стационарности не выполняется [6]. Ранее, при отсутствии специальных средств выполнения необходимых проверок, основными способами выявления случаев нестационарности был невыход экспериментальной вариограммы на плато и интуиция специалиста, выполняющего моделирование.

Геостатистическое моделирование обладает и другими ограничениями: необходимостью предварительного ручного удаления «ураганных» содержаний и ошибочных значений, преобразования данных к нормальному распределению, необходимостью глубокого понимания геологом геостатистической концепции. В то же время, предлагаемый в рекомендациях ГКЗ отказ от блочного моделирования и использование подсчета по каркасам выглядит достаточно радикальной мерой, поскольку исключает возможность учета внутренней изменчивости геологической среды. Возможным решением данной проблемы может быть отказ от геостатистического моделирования и переход к использованию других методов, позволяющих автоматически выполнять интерполяцию напрямую по исходным данным, корректно работающих в условиях нестационарности, воспроизводящих нестационарные асимметричные и многомодальные распределения значений, автоматически корректно обрабатывающих «ураганные» и ошибочные значения и не накладывающих математических ограничений на создаваемую модель, как гипотеза стационарности в геостатистике. В настоящее время единственным методом, обладающим такими качествами, является Amazonas [6], позволяющий в многовариантной форме воспроизводить имеющиеся в данных закономерности, плавные градации значений и резкие границы, полностью воспроизводя при этом исходные данные с учетом имеющейся

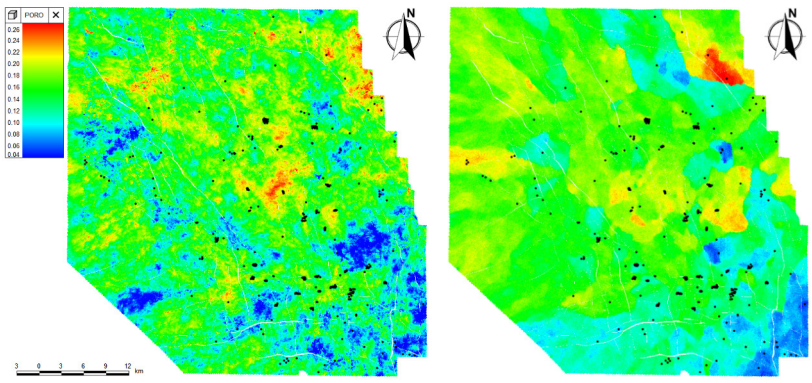


Рис. 4. Результат интерполяции значений пористости пласта по скважинным данным (отмечены точками) геостатистическим методом GRFS из модели месторождения Гронинген (Нидерланды) (слева); альтернативная модель, независимо полученная методом Amazonas (справа) [6]

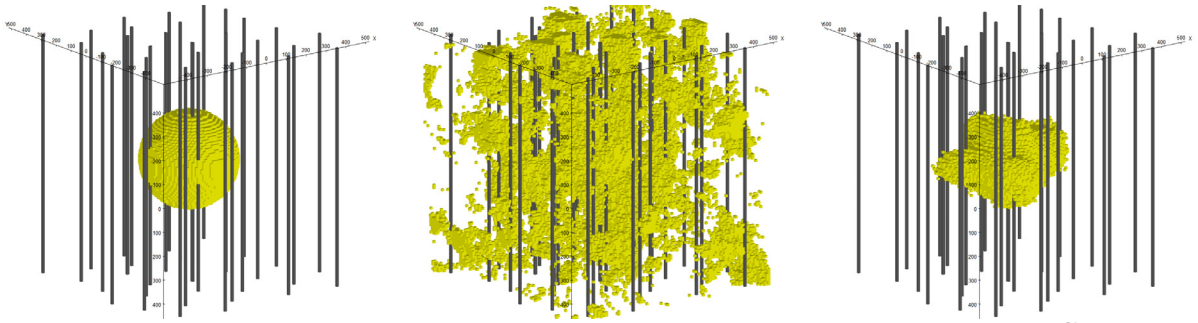


Рис. 5. Восстановление формы модельного тела на основе скважинных данных. Слева – модельное тело и вскрывающие его скважины. В центре – результат восстановления формы тела геостатистическим методом SIS (одна из реализаций). Справа – результат восстановления формы тела без использования геостатистики, методом Amazonas (одна из реализаций)

в них нестационарности (см. рис. 3–5). Благодаря использованию данного метода появляется возможность автоматически воспроизводить в модели рудные тела и пространственные домены внутри этих тел напрямую по исходным данным одновременно с интерполяцией содержаний, что невозможно при использовании каких-либо других известных в настоящее время методов. Интерполяция свойств на основе Amazonas дает возможность автоматизировать процесс моделирования, позволяя геологу вместо борьбы с математическими ограничениями геостатистики сосредоточиться на вопросах геологической реалистичности модели. Возможность автоматической многовариантной интерполяции свойств с автоматическим выделением геотел и доменов открывает возможности стохастического моделирования, анализа неопределенностей и оптимизационного решения задач геологического моделирования в горнодобывающей отрасли. При этом непосредственно на основе набора сгенерированных реализаций может быть произведена оценка степени устойчивости прогноза, например, на основе коэффициента вариации для каждого блока, что невозможно при детерминированном моделировании (рис. 6). Такая оценка позволяет районировать объект по степени устойчивости прогноза и выделять области, требующие уточнения геологического строения при дальнейших исследованиях.

Стохастическое моделирование и анализ неопределенностей, а также оптимизационное решение задач геологического моделирования являются мощнейшими технологиями повышения достоверности геологических моделей, оценки геологических рисков и оптимизации геологоразведочных работ, за десятилетия использования в нефтегазовой отрасли доказавшими свою высокую эффективность. Основным препятствием, до недавних пор не дававшим применять данные технологии в горнодобывающей отрасли, было отсутствие технологии автоматического многовариантного оконтуривания рудных тел и пространственных доменов, а также автоматизированного генерирования реалистичных реализаций распределения содержаний. Желание так или иначе приспособить для полного цикла работ геологического моделирования геостатистический подход, несмотря на лежащие в его основе фундаментальные ограничения, долгие годы было фактором, ограничивающим развитие автоматизации геологического моделирования в горнодобывающей отрасли. Тем не менее, появившиеся в последние годы сред-

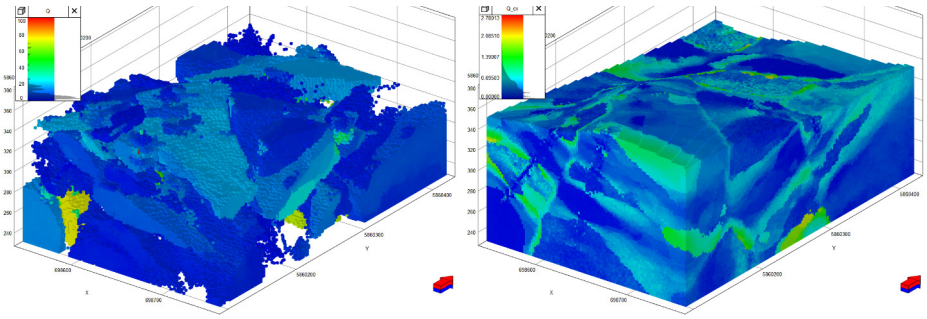


Рис. 6. Распределение коэффициента вариации параметра, полученное на основе набора реализаций 3D-модели (слева), и результат фильтрации значения этого параметра для одной из реализаций модели на основе граничного значения коэффициента вариации (справа), отображающий области с наиболее устойчивым прогнозом

ства проверки статистической стационарности и методы, позволяющие работать в условиях нестационарности, такие, как Amazonas, позволяют говорить о преодолении данной проблемы и открывают путь к использованию технологий многовариантного моделирования и в горнодобывающей отрасли. Концепция моделирования на основе Workflow представляет ценность как в качестве фундамента для многовариантного моделирования, так и сама по себе, как средство автоматизации и документирования процесса построения модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГКЗ РФ. Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа, ред. 02.02.2015.
2. Дегтерев А. Ю. Перспективы использования многовариантного моделирования для подсчета запасов и оптимизации геологоразведочных работ // Геология и Недропользование. – 2023. – 2(12). – С. 55–68.
3. Савельев А. А. Мухарамова С. С., Пилюгин А. Г., Чижикова Н. А. Геостатистический анализ данных в экологии и природопользовании (с применением пакета R) : Учебное пособие. – Казань : Казанский университет. – 2012. – 120 с.
4. Absalyamov A. V., Bogachev K. Yu., Glazkova E. A., Kostin G. A., Telishev A. S., Tregub S. L., Shimonin E. Yu. Coupled Static and Dynamic High Resolution Modelling on High Performance Computer Clusters / SPE Russian Petroleum Technology Conference, Virtual. – 2020. DOI: 10.2118/201949-MS.
5. Cowan Jun. Structural analysis from drill hole assay data using locally varying anisotropies (LVA) – a catalyst for structural geological enlightenment? // Structural Geology and Resources. – 2022. – № 72. – P. 12–18.
6. Degterev A. Y., Bondarev A. V., Topchii M. S. Improvement Possibilities for The Open Geological Model of The Groningen Field / SPE Reservoir Characterisation and Simulation Conference and Exhibition 24–26 January 2023. – Abu Dhabi. DOI: 10.2118/212591-MS.
7. PRMS. Система управления ресурсами углеводородов. Версия 1.01 (Документ пересмотрен в июне 2018 года). – URL: https://www.spe.org/industry/docs/PRMgmtSystem_V1.01 _RUS-FINAL.pdf.
8. SPE. Guidelines for the Evaluation of Petroleum Reserves and Resources. – 2001. – URL: https://www.spe.org/industry/docs/PRMS_Guidelines_Nov2011.pdf.
9. Reid Ron & Cowan Jun. Towards quantifying uncertainties in geological models for mineral resource estimation through outside-in deposit-scale structural geological analysis // Australian Journal of Earth Sciences. – 2023. – № 70. – P. 1–20.

Дементеенко Л. И. (ludadema@yandex.ru)

ГУ «Регионалгеология», Мингео Уз, Республика Узбекистан

ПОКРОВНО-ЧЕШУЙЧАТОЕ СТРОЕНИЕ ХРЕБТА СУЛТАНУВАЙС И ЕГО РУДОНОСНОСТЬ

Рассмотрено покровно-чешуйчатое строение хребта Султанувайс. Дана краткая характеристика выделенных пластин, их состава, формационных и фациальных особенностей, охарактеризовано их положение в разрезе. С геодинамических позиций структура хребта Султанувайс определена как надвиговые пояса форландов. Рассмотрено оруденение, связанное с каждой пластиной и с каждым этапом становления. На заключительном этапе развития проанализирована роль сдвигов и участие магматического фактора в перераспределении существующего оруденения и новообразованного.

Ключевые слова: структура, надвиг, шарьяж, ассоциация, парааутохтон, аллохтон, мигматит-гранитовая формация, милонитизация, гематитизация, формация, фация, мигматизация.

Покровно-чешуйчатое строение хребта Султанувайс принималось многими исследователями (С. С. Шульц (мл.), 1972; О. И. Ким, 1974, 1982; Ю. А. Морозов, 2001; Г. С. Биске, 2011; Р. Х. Миркамалов, 2022), но единство в их взглядах не было достигнуто. Настоящие представления основаны на многолетних производственных исследованиях автора.

Современная структура хребта Султанувайс представлена многоярусной ассоциацией шарьяжей, надвинутых с север-северо-востока на кристаллическое основание Каракумо-Таджикского массива. На поверхности и под чехлом мезозойско-кайнозойских отложений здесь выявлено шесть аллохтонных пластин, каждая из которых сложена определенной геологической формацией, имеющей четкую привязку к конкретным тектоническим структурам планетарного масштаба.

1. В основании разреза хребта Султанувайс залегают породы мигматит-гранитовой формации условно протерозойского истемесского комплекса. Они слагают кристаллическое основание континентального массива. Их можно принять за относительный парааутохтон. Контакт метаморфитов с вышележащими аллохтонными телами перекрыт чехлом мезозойско-кайнозойских отложений.

2. Нижняя из аллохтонных пластин – Беркуттауская. Сложена островодужными вулканитами базальт-андезит-риолитовой формации (среднекарбоновая беркуттауская свита). Мощность ее до 300 м. Вулканиты в зоне мощностью до 40 м раздавлены, со штрихами скольжения, милонитизированы, гематитизированы и тонкопрожилково карбонатизированы.

Подстилается углеродисто-карбонатной фацией средне-, верхнедевонской карбонатной формации (янтакская свита). Мощность ее более 78 м. Она вскрыта бурением в северном подножье хребта Султанувайс. Такие отложения характерны для насыщенных углеродом межрифовых впадин приконтинентальных окраин. Контакты с подстилающими шельфовыми и континентальными образованиями не вскрыты.

3. Третью тектоническую Казансайскую пластину образует карбонатно-кремнистая железомарганцовистая формация (джамансайская толща (D_2–C_1(?), мощность 240 м) и тектонически подстилающая ее пластина карбонатной платформы с рифовыми постройками (казансайская толща ($D_{1–2}$), мощность 450 м).

Первая формируется в прогибах окраинного моря у подножия пологих склонов при слабых придонных течениях и на поверхностях подводных возвышенностей континентального склона. Вторая – маломощная для карбонатных платформ – формируется на приостровном шельфе, соседствуя с первой по латерали. Пластина карбонатно-кремнистых образований облекает карбонатные складчатые сооружения и конформно с ними смята в систему первичных крупных складок. На контакте породы катаклазированы.

4. Над карбонатно-кремнистой формацией с тектоническим контактом залегает терригенно-вулканогенная островодужная формация (условно среднедевонская бешмазарская свита) – Бешмазарская пластина, мощностью до 400 м. Терригенно-вулканогенные образования превращены в зеленые актинолитовые сланцы – бластокатаклазиты со свилевато-линейной текстурой, подстилающие – во вторичные кварциты с бластокатаклазитовой структурой. Контакты нарушены поздними подвижками.

5. Пятая аллохтонная Каракудукская пластина представляет собой офиолитовую ассоциацию (кембрий-нижнедевонская каракудукская толща и султануиздагский гипербазит-габбро-плагиогранитовый комплекс). Мощность пластины по геофизическим реконструкциям порядка 300 м. Нижний контакт нарушен поздними подвижками.

6. На западе хребта Султанувайс вулканогенные образования островодужной базальт-андезит-риолитовой формации (нижне-, среднедевонская шейхджейлинская свита) слагают Шейхджейлинскую пластину. Через зону тектонического меланжа она перекрывает Казансайскую пластину.

Возрастным маркером первичного шарьяжирования явились отложения флишоидной терригенной формации (условно средне-, верхнекарбоновая карачадалинская свита). Мощность 475 м. Они не образуют самостоятельной пластины. Залегая на подстилающих с размывом, трансгрессивным и ингрессивным контактом, тонким плащом покрывают отложения карбонатной, карбонатно-кремнистой и терригенно-вулканогенной формаций приостровного шельфа. Всегда

присутствуют в ядрах лежащих и опрокинутых синклинальных складок, спресованных шарьяжами, т. е. под шарьяжными сместителями, и таким образом маркируют шарьяжные пластины и снизу, и сверху. Содержат карбонатные глыбы и олистоплаки казансайской свиты в терригенном матриксе, которые, практически все, вскрыты скважинами на мощность порядка 200 м.

В региональном плане структура Султанувайса соответствует надвиговым поясам форландов, которые представляют важные зоны локализации руд, поскольку включают и тектонически перемещенные, ранее образованные месторождения, и рудную минерализацию, возникшую в ходе столкновения и, следовательно, генетически связанную с ним. Но в мировой практике крупных месторождений в этих зонах пока не зафиксировано.

Из ранее образованных рудопроявлений, сохранившихся в островодужных формациях хребта Султанувайс, рудопроявления, образованные в субдукционную стадию: медно-порфировые (обычно с золотом) – Зенгебобинские, медноколчеданные и колчеданно-полиметаллические – Восточно-Шейхджейлинские и Беркуттауские. Для тектонически перемещенного и выведенного на дневную поверхность Каракудукского аллохтона сохраняются непромышленные залежи хромитов с платиноидами – рудопроявления Какралысай, Менажат; стратиформные медные и медно-колчеданные – рудопроявление Менажат.

На стадии обстановки столкновения плит главная роль, определившая минерагеническую специализацию, принадлежит процессам ультраметаморфизма. С процессами мигматизации связано формирование месторождения талька и тальк-карбонатных пород – месторождение Зинельбулак на контакте Каракудукского и Казансайского аллохтонов; в зонах тальк-карбонатных пород – рудопроявления титана (Кызылсай, Зинельбулаксай). С постмигматитовым метасоматозом стадии кислотного выщелачивания связаны золотое и редкометальное оруденение (Кахралысай, Кызылсай).

На последнем этапе рудообразования ведущую рудоконтролирующую роль приобретают сдвиговые деформации. Они определили современный линзовидно-ветвистый облик Султанувайса. Чешуи на данном этапе обычно выполняют рудоэкранирующую роль.

Как в западной, так и в восточной частях Султанувайса отчетливо проявлены крупные зоны правосдвиговых деформаций. Это так называемая зона Урусайского разлома в западной части и *Z*-образная Менажат-Зинельбулакская полоса серпентинитов – в восточной.

Но только с зоной Урусайского правостороннего сдвига можно более-менее определенно связать Урусайское золотое проявление. Верхние покровы шейхджейлинской свиты для вмещающей золотое оруденение терригенной толщи служат экраном. Основная концентрация рудного вещества как раз и сосредоточена в зоне контакта в подэкранной позиции на пересечении сдвига и оперяющих трещин.

Зоны левосдвиговых деформаций менее четко выражены и, по-видимому, являются более древними и более перспективными на поиски золота. К одной из таких зон приурочено известное рудопроявление Западно-Джамансайское.

На востоке роль экрана выполняют покровы офиолитов. Особенно хорошо это видно на рудопроявлении Каракудукское. Кварцевые жилы рассекают кварц-полевошпат-биотитовые роговики, находящиеся в структурно-эрозионных окнах среди амфиболитов. Амфиболиты Каракудукской пластины выполняют роль экрана. Оруденение по составу близкое Восточно-Кичиксайскому, хотя там жилы кварца рассекают глыбы мраморов. По отношению к зоне правостороннего сдвига с Менажат-Зинельбулакской петлей и к зоне радиально сходящихся в междуречье Кичиксая разломов, эта зона более древняя и ими сечется. Оруденение, по-видимому, и концентрируется в узлах пересечения. На поверхности оруденение (кроме Каракудукского и Восточно-Кичиксайского полиметаллических с золотом рудопроявлений) слабо выражено точками минерализации и небольшими по площади ореолами золота.

Наиболее важным магматическим рудоконтролирующим фактором, синхронным со сдвиговыми деформациями, является становление пермского джамансайского габбро-монцонит-сиенитового комплекса. Нами установлено его площадное развитие и его рудогенерирующая роль не только в образовании золота и марганца (В. В. Баранов, 1992 г.), но и в образовании известного редкометального оруденения, и в перераспределении титано-магнетитовой минерализации тебинбулакского перидотит-проксенит-габбрового комплекса.

Джуманиязов Д. И. (denisbey@list.ru), Каримова Ф. Б. (karimova.ingeo@mail.ru), Мусаев А.
ИГГ, г. Ташкент, Республика Узбекистан

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФУЗИВНЫХ ПОРОД И ДИАБАЗОВЫХ ДАЕК ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОЧБУЛАК (ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

В тезисах приводятся геология золото-серебряного месторождения Кочбулак Восточного Узбекистана, а также минералогическая характеристика эффузивных пород и диабазовых даек рассматриваемого района.

Ключевые слова: палеовулкан, минерализация, золото-сульфидно-кварцевые месторождения, дайки, кварцевые жилы, кларковые значения, золото, вольфрам, редкоземельные элементы и др.

Кочбулакское месторождение находится в Ташкентской области, приурочено к палеовулкану, выполненному вулканогенной толщей андезитового состава. Структурный тип месторождения и закономерности размещения оруденения в основном обусловлены синвулканическими разрывными нарушениями, являющимися рудоконтролирующими структурами и определяющими морфологический тип рудных тел. Кочбулакское рудное поле, по В. А. Королеву (1983), относится к группе «рудных полей с преобладающим влиянием разрывных нарушений на размещение оруденения». Высокая геологическая изученность площади к 1995 г. позволила Г. Е. Завьялову и Ф. И. Исламову отнести структуру рудного поля к типу связанных с областью локального растяжения в зоне субпараллельных сколовых разломов с искривленными гранями. Структурные типы минерализованных тел месторождения определяются крутопадающими субпараллельными трещинами, пологими межформационными и внутриформационными срывами и трубками эксплозивно-гидротермальных прорывов (рудно-эксплозивные сооружения – РЭС).

Золото-сульфидно-кварцевые месторождения более молодого возраста в Алмалык-Ангренском рудном районе представлены месторождениями Кочбулак, Кайрагач, Актурпак, Кызылалма, Бургунда. Эти месторождения наложены на дайки диабазовых порфиритов, фельзит-порфиров, граносиенит-порфиров пермского возраста. Они секут самые молодые вулканогенные образования региона [1]. В размещении проявлений золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой минерализации имеется латеральная зональность.

Месторождения золото-кварцевой формации приурочены к системе разломов субширотного простирания, а значительные концентрации позднего золото-сульфидно-кварцевого оруденения сопрягаются с зонами пересечения внешней зоной ранних рудоносных структур субширотного простирания. Типичный вид такой ситуации характерен для Кочбулакского месторождения.

Состав рудных формаций при позднем этапе орогенеза расширяется с формированием месторождений золото-сульфидно-кварцевой, серебро-полиметаллической, медно-висмутовой, а также уран-медно-висмутовой формаций. Затем происходило образование проявлений свинца (галенит-барит)-свинцово-цинковой, флюорит-полиметаллической формаций наряду со скарновой, сульфидно-вольфрамово-олово-кварцевой, молибден-кварцевой, олово-силикатно-кварцевой, олово-серебро-полиметаллической формациями. Кроме этих формаций в Алмалык-Ангренском районе известны стратиформные месторождения стратифицированного квазиплитного чехла D_3–C_1 (Кургашинкан, Кулчулак). Данный регион отличается ярковыраженной металлогенической специализацией, характерной для всего Центрального Карамазара. Серебро-рудные формации Алмалык-Ангренского рудного региона являются северо-восточным продолжением сереброрудной купольной структуры Канимансур, разделяются на золото-серебряную и серебро-полиметаллическую разности. Причем золото-серебряная предшествует формированию серебро-полиметаллической рудной минерализации. В собственно золото-кварцевой формации наблюдается малое содержание серебра, например, на месторождении Каульды, расположенном на южной части Алмалыкского рудного поля. Здесь оруденение локализовано на брекчированных андезито-дацитах акчинской свиты (C_1) с кварцевожильными редкими телами. В местах глубоких эррозированных срезов развиваются скарновые минералы (гранат, пироксен, волластонит), присутствуют нередко включения галенита и сфалерита. Покрывающие вышележащие слои надакской свиты (C_2–C_3) обнаруживаются как обломки околорудно-измененных пород.

Для минерального состава руд характерны малое число главных рудных минералов при чрезвычайно большом разнообразии второстепенных, обилие теллуридов, присутствие самородных золота, серебра, висмута, меди. На месторождении диагностированы более ста рудных минералов. По данным минералогов, изучавших месторождение (Коваленкер и др., 1997; Валейшо и др., 1969; Зырянов и др., 1988), наиболее распространены пирит, халькопирит, сфалерит, галенит и разнообразные по составу блеклые руды. Теллуриды в тех или иных количествах встречаются повсеместно, но особенно широко распространены в бонанцевых участках жильных и трубообразных тел. Отношение золота к серебру в рудах меняется широко. На стадии рудообразования отлагались кварц с сульфидами, в конце – продуктивные на золото и серебро с сульфосолями и теллуридами. Для участка Кайрагач, где фиксируются интрузивные тела субщелочных риодацитов, интенсивно развиты полиметаллы, по сравнению с рудами Кочбулака. Нерудные минералы представлены кварцем, карбонатами и баритом, иногда встречается флюорит. Примечательной особенностью исследуемой нами площади пород является повсеместная зараженность благородными металлами (платина, золото, серебро повсеместно превышают кларковые значения этих элементов в земной коре). Кроме этого, надкларковые содержания характерны для литофильных элементов, таких как литий, бериллий, почти всех лантаноидов.

Исследуемая площадь начинается непосредственно от рудоносной зоны Токберды и предположительно является юго-восточным продолжением рудоконтролирующей разрывной тектонической структуры «Узун» месторождения Кочбулак. Эта площадь шириной около одного километра занимает правый борт сая Гулдрама от его тальвега до водораздела правого борта [2]. Аналогичным расположением обладает шахтный горизонт отрабатываемого месторождения. К настоящему времени на территории 4 км^2 указанной перспективной площади петрографические составы пород не выходят за пределы андезито-дацитовой формации. Этот уровень, по нашим данным [3], является самым рудопродуктивным горизонтом Кочбулакского месторождения и подтверждается на примере золоторудных месторождений Кызылтрукского и Чармитанского рудных полей Западного Узбекистана. Такой поисковый критерий правомерен для всех гипогенных золоторудных месторождений Мира. На изученной части перспективной полосы можно констатировать небольшое преобладание грубообломочной структуры с одновременным возрастанием объема лав и лавобрекчий, что очевидно связано с относительным приближением к жерловой части Лашкерекского стратовулкана, расположенного в восточной части от изучаемой территории на водоразделе Кураминского хребта. Об этом можно судить по наличию среди толщи эффузивных пород маломощных секущих диабазовых даек, что является важной предпосылкой для образования золото-серебряного и другого рудообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Каримова Ф. Б. Плутонические дайки золото-серебряных месторождений Алмалык Ангренского района. – Т. : IMPRESS MEDIA, 2020. – 115 с.
2. Мусаев А. М., Джуманиязов Д. И. Петрографические перспективы рудоносности юго-восточной части Кочбулакского рудного поля (Восточный Узбекистан) // Геология и минеральные ресурсы. – 2022. – № 2. – С. 17.
3. Мусаев А. М., Искандаров Э. И., Хамрабаев И. Х. Экспериментальное моделирование природных процессов порода и рудообразования. – Т. : ФАН, 1993. – 215 с.

Долженко И. В. (dolz@sfedu.ru), Попов Ю. В. (popov@sfedu.ru),
Шарова Т. В. (tvsharova@sfedu.ru)
ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ СОПРЯЖЕННЫХ С АПОГИПЕРБАЗИТАМИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА МЕТАСОМАТИТОВ

В северо-западной части Большого Кавказа с выходами апогипербазитовых серпентинитов связаны разного состава метасоматические образования. Наиболее распространенные контактовые метасоматиты – лиственитты, различие состава которых обусловлено разными флюидными режимами.

Ключевые слова: Даховский выступ, Тхачский массив, лиственит, родингит, жадеит, серпентинит.

В северо-западной части Большого Кавказа в тектонике сложно построенной области на стыке герцинских структурно-формационных зон Передового хребта и Бечасынской располагаются несколько выходов серпентинитов, с которыми генетически связаны разного состава метасоматические образования. До настоящего времени сведения об их минеральном составе и связанной с ними минерализации остаются фрагментарными, основанными главным образом на исследованиях методами оптической петрографии. Вместе с тем активно обсуждаются вопросы металлогенической специализации кавказских апогипербазитов и сопряженных с ними метасоматитов, в том числе в свете оценки перспектив благороднометалльной минерализации: с лиственитами связаны проявления золота [1, 2], в серпентинитах недавно выявлена гидротермальная минерализация с осмием [6] и пр.

В работе приведены данные изучения метасоматических образований, связанных с серпентинитами Даховского кристаллического выступа, относящегося к Бечасынской зоне, и смежного Тхачского серпентинитового массива, входящего в зону Передового хребта.

Серпентиниты Даховского выступа приурочены к северному флангу герцинского тектонического блока, где входят в состав крупного тектонического меланжа, контролируемого разломной зоной. Среди серпентинитов присутствуют фрагменты прорывающих их жил позднегерцинских гранитов, на контактах с которым наблюдается слабое отлькование. С серпентинитами генетически связаны родингиты, присутствующие в виде небольших (мощностью до метра) тектонических линз, и лиственитты, довольно широко развитые на контактах с калиевыми гранитоидами завершающих фаз Даховского герцинского массива и превращенными в ходе связанного с последними кремнещелочного метасоматоза в слюдяные сланцы меланократовыми метапородами. Родингиты характеризуются повышенной удельной активностью ^{226}Ra и ^{232}Th, связанной с присутствием торита, ураноторита, алланита, монацита-Ce и пр. [4]. Сходная минерализация связана с недостаточно изученными метасоматитами на контакте серпентинитов и гранитоидов [2]. Лиственитты слагают линзовидные тела мощностью до 50 м, окрашены в серый или зеленый цвет. В слюдяно-кварц-карбонатной матрице породы отмечается сульфидная минерализация, ведущими минералами которой являются миллерит, герсдорфит и зигенит, второстепенными – халькопирит, арсенопирит, галенит, пирит, сфалерит. Состав минерализации отличается от уран-сульфидной (ведущими минералами которой выступают сфалерит и настуран) и уран-арсенидной (настуран-никелиновой) минерализации Даховского гидротермального месторождения, приуроченной к блоку метапород (главным образом слюдяных сланцев), подстилаемого пластиной серпентинитов [3].

В составе Тхачского серпентинитового массива метасоматические породы представлены жадеититами и лиственитами. Жадеититы состоят преимущественно из пироксена (более 80–90 %) с содержанием жадеитового минерала (65–90 %), в подчиненном количестве присутствуют амфибол, альбит, кварц и титанит [7]. Лиственитты развиты в зоне тектонического контакта серпентинитов с осадочной триасовой толщей, окрашены они нередко в характерные оттенки красного цвета, обычно содержат фрагменты серпентинитов. Основная ткань породы антигорит-кварц-

карбонатная, красный цвет обусловлен обилием гематита. Вблизи содержащих лиственитизированные серпентиниты разломов отмечаются сульфидизированные известняки с пиритом, бравоитом, халькопиритом, характеризующиеся содержаниями Au до 0,1 г/т и As до 0,2 % [2].

Исходя из анализа вышеописанной геологической ситуации наиболее распространенные контактовые метасоматиты серпентинитовых выходов – лиственитты. Различия в их составе обусловлены разными флюидными режимами. На севере, за пределами зоны Передового хребта, в условиях высокого значения отношения флюид/порода происходило активное перераспределение рудных элементов серпентинитов, сопровождавшееся образованием сульфидной никелевой минерализации (что привело и к формированию Даховского уранового месторождения с никелин-настурановой и прочей минерализацией); в этом процессе в составе неустойчивых тиосульфидных комплексов могли мигрировать и благородные металлы. В западной части зоны Передового хребта в зонах крупных ограничивающих кристаллические блоки разломов формирование лиственитов происходило в условиях существенно более низкого отношения значения флюид/порода в окислительных условиях (что установлено и для условий коровых преобразований апогипербазитов в основании герцинского Кизиклольского тектонического покрова [7], также находящихся в пределах рассматриваемой территории). Гидротермальное перераспределение рудного вещества происходило, видимо, по второстепенным оперяющим разломам близко синхронно с завершением процессов лиственитизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Богуш И. А., Рябов Б. В., Сендецкий И. И., Черкашин В. И. Перспективы рудоносности лиственитов Северного Кавказа (Приэльбрусье) // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 94–106.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L-37-XXXV «Майкоп». Объяснительная записка / сост. С. Г. Корсаков, И. Н. Семенуха и др. – СПб., 2004. – 311 с.
3. Кривовичев В. Г. Минералогический альманах. Минералогия Белореченского месторождения (Северный Кавказ, Россия) / Кривовичев В. Г., Левицкий В. В., Пеков И. В. – М. : Британ, 2010. – Т. 15, В. 2. – 91 с.
4. Попов Ю. В., Бураева Е. А., Цицуашвили Р. А. Удельная активность ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th в кристаллических породах Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 9-2. – С. 115–119.
5. Попов Ю. В., Никулин А. Ю., Пустовит О. В., Райко А. Н., Шарова Т. В. Минеральный состав жадеититов из россыпи Ачешбокского проявления (Большой Кавказ) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – М., 2023. – С. 174–177.
6. Попов Ю. В., Пустовит О. Е. Первые данные о минералах платиновой группы (осмии) в серпентинитах Веденского массива (Большой Кавказ) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. – М. : ИНЕТ РАН, 2022. – Т. XII. – С. 182–184.
7. Попов Ю. В., Пустовит О. Е., Никулин А. Ю. Минеральный состав серпентинитов Кишинского массива (Большой Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 38–51.

Душин Ю. П. [1], (dushin55@mail.ru), Данилов А. П. [2] (danilov@vims-geo.ru),
Дементиенко А. И.[1] (anatoliye@mail.ru)
[1] ООО «Амурголд», г. Благовещенск, [2] ФГБУ «ВИМС», г. Москва

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ В НАУЧНЫХ И ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

Информационно-аналитические системы и онлайн-платформы «Геология», «Технологии», «Недропользователи» обеспечат: гармонизацию данных и взаимодействие всех ИС недропользования; автоматизированное рабочее место специалиста-геолога при анализе материалов и формировании проектов, отчетов, публикаций.

Ключевые слова: информационно-аналитические системы, недропользование, гармонизация данных, ИИАС.

Одним из самых эффективных методов поисков и разведки ТПИ является анализ вещественного состава объектов изучения, особенно это касается месторождений АБЦМ (алмазов, благородных и цветных металлов). Информация о составе имеет цифровую форму и содержание, что дает возможность максимально эффективно использовать компьютерную обработку данных. Такая обработка реализована во множестве локальных индивидуальных или корпоративных информационных системах. Взаимодействие этих систем минимальное из-за нестандартизированных цифровых форматов сбора информации, что резко снижает эффективность цифровизации отрасли. Например, не позволяет создавать базы общих данных о вещественном составе геологических объектов.

«Отсутствие единых стандартов сбора цифровой информации и обмена» отмечено как ключевая проблема при утверждении отраслевого стратегического направления цифровой трансформации в 2021 г., такой же осталась в варианте 2023 г. (распоряжение Правительства РФ от 15 декабря 2023 года N 3664-р). При этом в обоих вариантах не было предложено решения этой проблемы.

Еще одной проблемой цифровизации отрасли и в 2021, и в 2023 гг. указано «отсутствие единых платформенных решений». Предложено создание их в Росгидромете, в Федеральном агентстве водных ресурсов и для экологического контроля и надзора. Геологические исследования остались в стороне.

Мы предлагаем решение проблемы стандартизации форматов, способ гармонизации данных во всех геологических ИС недропользования, что обеспечит простое взаимодействие систем недропользования, в том числе государственных. Это позволит объединить цифровые ресурсы недропользования как минимум страны.

Гармонизация данных – мероприятия, направленные на обеспечение соответствия сведений о геологических объектах, ГРР, участниках недропользования и межведомственного взаимодействия во всех отраслевых информационных системах по типам и атрибутам данных недропользования и смежных отраслей.

В представленном проекте речь идет о разработке геологических информационно-аналитических систем (ИАС) как онлайн-платформ, которые обеспечат организацию сбора общих данных и прежде всего о вещественном составе геологических объектов. Эти системы станут инновационным методом, составной частью методики и технологии поисков и разведки ТПИ – прежде всего алмазов, благородных и цветных металлов, что позволит совершить кардинальное изменение методов сбора и анализа геологической информации.

Все проектируемые ИАС являются самостоятельными продуктами, которые тесно взаимодействуют и составляют интегрированную информационно-аналитическую систему (ИИАС) «Геология и технологии».

У проекта две основные цели:

1. Обеспечить научные и геологоразведочные работы инструментом анализа вещественного состава исследуемых объектов. Основным инструментом анализа является общедоступная, полная база опубликованных данных о вещественном составе практически всех известных геологических объектов. Под анализом понимается привычные и даже банальные диагностика проб и образцов, поиск аналогов, классифицирование и даже формационный анализ.

2. Гармонизация данных во всех отраслевых ИС, что обеспечит простое взаимодействие систем, как предусмотрено нацпрограммой «Цифровая экономика». Инструментом гармонизации данных являются единые стандарты геологических данных, а именно, единые общедоступные справочники по всем разделам геологии и технологий ГРР и добычи полезных ископаемых.

Основанием для разработки данного проекта являются три обстоятельства из текущей цифровой жизни отрасли:

1. По статистике MineEx Consulting Group 2018 г., более 50 % месторождений открывается методами геохимии, химии минералов, пород, флюидов. При этом отсутствует общедоступная полная единая база данных вещественного состава геологических объектов, хотя есть все технические возможности создать и поддерживать её в актуальном состоянии. Вместо этого существует бесчисленное множество персональных баз данных разного типа у каждого квалифицированного специалиста или научного работника, или коллектива.

2. В отраслевых ИС отсутствует общедоступная единая предметная справочная система для ввода данных в стандартные атрибуты баз данных, как это реализовано в АС других отраслей и ведомств. Поэтому невозможно провести гармонизацию данных, невозможно наладить взаимодействие и тем более интеграцию отраслевых систем.

Примеры массового использования различных электронных реестров и справочников в других отраслях и ведомствах общеизвестны (ЕГРЮЛ/ЕГРИП, ФГИС ЦС, ОКПД 2, ГИС МТ, ТН ВЭД, ЕИС Закупки и др.).

3. Настало время использовать в отрасли самый эффективный вид ИС – «онлайн-платформа». Основное достоинство онлайн-платформ состоит в том, что они являются площадкой для взаимодействия сотен, тысяч и даже миллионов пользователей. В большинстве своем они являются информационно-аналитическими системами (системы прогноза погоды, «Яндекс Карты», маркетплейсы и т. п.). Следует разработать и внедрить аналогичные системы в недропользование, где специалисты (геологи, технологи, экономисты и др.), поставщики и потребители технологий и техники через сайт онлайн-платформы сами смогут формировать контент системы и использовать необходимые сервисы для анализа своих оперативных данных при проектировании, формировании документов, написании отчетов и публикаций.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ГЕОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ»

Общие требования к ИИАС «Геология и технологии»

Для достижения целей проекта и решения перечисленных задач проектируются три основные геологические информационно-аналитические системы и онлайн-платформы недропользования:

1. ИАС «Геология»;
2. ИАС «Технологии»;
3. ИАС «Недропользователи».

Источниками информации во всех системах являются:

- научные публикации и издания, зарегистрированные фондовые материалы;
- данные на сайтах разработчиков и поставщиков технологий, оборудования и услуг;
- данные государственных информационных систем;
- данные информационных систем недропользователей, интегрированных в общую сетевую систему.

Все опубликованные данные вносят в систему сами пользователи, т. е. специалисты будут формировать свои собственные базы данных не локально (как сейчас), а в общей системе, используя сервисы загрузки табличных данных. Данные поставщиков и потребителей технологий, продукции и услуг могут поступать автоматически из собственных ИС. В масштабе отрасли или корпорации это даст колоссальную экономию трудозатрат всех сторон и значительно снизит транзакционные издержки предприятий.

Справочные системы ИАС могут быть интегрированы в любые ИС недропользователей, что обеспечит гармонизацию данных в масштабе отрасли. А обмен данными с внешними ИС будет происходить по утвержденным алгоритмам взаимодействия.

Основной стимул в работе пользователей в системе – создание личных кабинетов и автоматизированных рабочих мест (АРМ) специалистов, которые значительно повысят производительность труда при формировании документооборота, в т. ч. при проектировании объектов исследований и составлении отчетов, подготовке публикаций, докладов, лекций и др.

1. ИАС «Геология» – основа всех геологических систем недропользования

Система предоставляет электронный геологический тезаурус – геологический язык с помощью которого должны вводится все структурированные данные.

ИАС «Геология» содержит:

- электронный геологический словарь (тезаурус);
- библиографические источники, реестр авторов публикаций и отчетов;
- справочники по всем разделам геологии;
- структурированные данные о всех геологических объектах Земли и прочих объектах солнечной системы, в том числе данные о всех МПИ и рудопроявлениях;
- вещественный состав и физические свойства минералов, флюидов, пород, комплексов;
- свойства и признаки палеонтологических останков.

Система предоставит специалистам личный кабинет и АРМ. Функционал АРМ:

- библиографический менеджер;
- сервисы загрузки данных из публикаций;
- аналитические сервисы – это приложения для поиска необходимых данных, отбор цифровых данных для анализа собственных данных по вещественному составу полевых материалов: диагностика, классифицирование проб и образцов, построение диаграмм, поиск аналогов, и даже формационный анализ;
- личный кабинет.

При соответствующем оснащение полевых специалистов анализ данных можно будет проводить в полевых условиях.

2. ИАС «Технологии» – основа систем проектирования

Это наиболее сложная система из всех перечисленных. Она содержит:

- справочники по актуальным технологиям, оборудованию, материалам, услугам;
- структурированные данные о разработчиках и поставщиках, все реквизиты поставщиков для заключения сделок;
- структурированные данные об актуальной стоимости от производителей и продавцов;
- библиографические источники данных, реестр авторов публикаций и отчетов, методических и нормативных документов.

В системе предполагаются подсистемы или взаимодействие с внешними системами:

- подсистема составления смет проекта;
- маркетплейс технологий, оборудования и материалов для ГРР;
- подсистема заключения сделок, в которой можно будет быстро сформировать договор поставки, заказ, провести оплату и получить продукцию.

Эти подсистемы обеспечат АРМ специалистов – проектировщиков и снабженцев проектов ГРР.

3. ИАС «Недропользователи» – реестр физических и юридических лиц, причастных к недропользованию

Контент системы будет заполняться автоматически из государственных систем учета юридических лиц, из связанных систем документооборота недропользователей, а также автоматически из данных ИАС «Геология» и ИАС «Технологии».

ИИАС «ГЕОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ» – ОСНОВА ГАРМОНИЗАЦИИ ДАННЫХ В ИС НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Все системы содержат типовые сервисы для работы с информацией и администрирования. Но главные сервисы – это сервисы взаимодействия с прочими информационными системами недропользования.

Взаимодействие может состоять из регулярного и постоянного обмена данными. Но главное – интеграция комплекса справочников в системы недропользователей и поддержание их в актуальном состоянии. Такое взаимодействие позволит достичь главной цели всего этого про-

екта – проведение гармонизации данных во всех геологических системах недропользования, что обеспечит простой и регулярный обмен данными, как говорится, в один клик или в автоматическом режиме, т. е. в реальном времени.

В заключении отметим, что все рассмотренные информационно-аналитические системы (ИИАС «Геология и технологии»: ИАС «Геология», ИАС «Технологии», ИАС «Недропользователи») являются онлайн-платформами, в которых контент наполняется самими пользователями с помощью инструментов сайтов систем. Поэтому, чем больше пользователей задействовано в работе над интернет-проектом, тем быстрее он развивается и становится более жизнеспособным.

Так и в наших системах добровольными поставщиками являются:

- поставщики технологий, техники, материалов и услуг;
- государственные ИС «Цифровой экономики»;
- корпоративные и государственные геологические ИС недропользования;
- интернет-пользователи – прежде всего специалисты-геологи – сотрудники производственных, научных организаций и Роснедра.

Таким образом, будет достигнуты основные цели проекта:

- создание общедоступной, полной базы опубликованных данных о вещественном составе практически всех известных геологических объектов;
- создание единой системы общедоступных электронных справочников по всем разделам геологии и технологий научных и геологоразведочных работ;
- интеграция справочников во всех отраслевых ИС, гармонизация данных и простое взаимодействие систем.

Основными потребителями информации ИАС являются сотрудники компаний-недропользователей, которые получают здесь соответствующие АРМ.

Бенефициарами этого проекта является широкий круг пользователей от школьника до авторов геологических документов и публикаций.

- для школьника – это геологическая энциклопедия;
- для студента – геологический справочник и библиографическая поисковая система;
- для специалиста-геолога – средство информационного обеспечения проектирования работ и анализа вещества полевого материала;
- для авторов проектов, отчетов и публикаций – рабочее место для сбора, анализа публикаций по теме работы и подготовки списка литературы, средство анализа собственных данных по вещественному составу полевых материалов вплоть до формационного анализа.

Каждый найдет в них что-то полезное и интересное. Наши специалисты не должны бегать за специальной информацией в системы недружественных «партнеров», типа Гугл или Википедия. Достаточно обратиться в нашу ИИАС «Геология и технологии». Пусть зарубежные специалисты приходят к нам.

Журавлев А. И. (ai.zhuravlevgeo@gmail.com), Герасимов Б. Б. (bgerasimov@yandex.ru), Округин А. В. (okrugin@diamond.ysn.ru), Лоскутов Е. Е. (brannerit@mail.ru), Иванов А. И. (aiivanov@diamond.ysn.ru), Кравченко А. А. (freshrock@yandex.ru)
ФГБУН «ИГАБМ СО РАН», г. Якутск

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА РУЧЬЯ ЕЛОВЫЙ (ЭВОТИНСКИЙ РУДНО-РОССЫПНОЙ РАЙОН, АЛДАНО-СТАНОВОЙ ЩИТ)

Рассмотрены минералого-геохимические особенности самородного золота ручья Еловый. Предположена связь россыпного золота с коренными источниками, близкими месторождению им. П. Пинигина и рудным проявлениям, распространенным в пределах ЦАРР.

Ключевые слова: россыпное золото, элементы примеси, внутреннее строение, пробность, Центрально-Алданский рудный район.

Эвотинский рудно-россыпной район (ЭРР) расположен в центральной части Алдано-Станового щита примерно в 100 км южнее наиболее крупного золоторудного района Южной Якутии – Центрально-Алданского рудного района (ЦАРР). По данным предшественников, район относится к одной из перспективных площадей на выявление различных типов золотоносных руд [4]. На территории ЭРР известно большое количество золотоносных россыпей с неустановленными коренными источниками. В последние годы нами проводятся топоминералогические исследования в пределах Алдано-Станового щита и Эвотинского рудно-россыпного района [2, 5]. В данном сообщении приводятся новые данные, которые подтверждают высказанные ранее предположения, а также привносят новую информацию по формированию золота из аллювиальных отложений ручья Еловый.

Самородное золото россыпного проявления руч. Еловый встречается в виде единичных знаков на лоток и характеризуется размером от 0,1 до 1,03 мм. Форма выделений и степень окатанности различная. Преобладают цементационные, интерстициальные, трещиноватые, дендритные (рисунок, а) и дендритоидные формы, реже отмечаются удлиненные и гемиидиоморфные частицы. Микрозондовым анализом определена пробность, которая варьирует в диапазоне 619–1000 ‰. В качестве элементов-примесей в единичных зернах установлены Cu (до 0,8 %) и Hg (до 0,87 %). Для сравнения дополнительно было изучено самородное золото месторождения им. П. Пинигина, так как ранее нами высказывалось предположение о связи весьма высокопробного золота с коренными источниками, близкими с генетическим типом руд этого месторождения [1]. Было проведено изучение элементов-примесей в самородном золоте методом LA-ICP-MS. Рядом авторов [8, 10 и др.] метод используется для прогнозирования коренных источников россыпей.

В руч. Еловый обнаружены золотины с пористо-ветвистой текстурой, состоящие из весьма высокопробного золота и оксидов висмута (см. рисунок, б). Минеральные включения представлены кварцем, КПШ, пироксеном, галенитом, оксидами висмута, теллуровисмутитом, хлоритом. Самородное золото с аналогичной текстурой в ассоциации с минералами висмута было выявлено нами в рудах месторождения им. П. Пинигина [1, 3], расположенного примерно в 30 км восточнее исследованного россыпного проявления.

Исследование внутренней структуры низко- и среднепробного золота показало, что некоторые индивиды характеризуются неяснозональной, а также разнофазной структурой блочного строения, где выявлены блоки весьма низкой пробности (500–600 ‰) в относительно низкопробной фазе (708 ‰) с четкими границами (см. рисунок, в). Гетерофазная природа этих частиц золота, вероятно, обусловлена колебаниями степени пресыщения растворов при их росте в близповерхностных условиях [9]. По мнению В. П. Самусикова [7], в приповерхностных условиях рудообразования происходили кратковременные пульсационные изменения степени пресыщения растворов: резкое повышение или понижение, поскольку термодинамические условия были крайне неустойчивыми. При этом с увеличением степени пресыщения растворов концентрация Ag возрастала, а с уменьшением – падала. Необходимо отметить, что на некоторых частицах отмечается тонкая высокопробная оболочка, вероятно, сформированная в условиях рос-

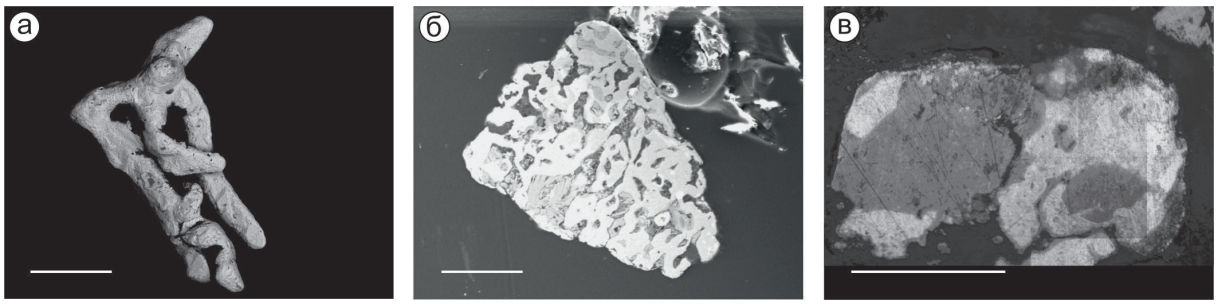


Рисунок. Самородное золото ручья Еловый: а – частица дентритной формы, б – зерно с пористо-ветвистой текстурой (светло-серое – весьма высокопробное золото, темно-серое – оксиды висмута), в – блоковая структура гетерофазного золота, протравлено реактивом на основе царской водки. Масштабная полоса – 0,1 мм

Таблица. Содержание элементов-примесей в самородном золоте Эвотинского рудно-россыпного района, по данным LA-ICP-MS анализа

Объект	Cu	Bi	Sb	Sn
Месторождение им. П. Пинигина	119–4790 (1027,33)	н. п.–1670 (146,27)	н. п.	н. п.–1,72 (0,34)
Весьма- и высокопробное руч. Еловый	54,4–6130 (770,50)	н. п.–248 (8,33)	н. п.–1,42 (0,11)	н. п.
Средне- и низкопробное руч. Еловый	5,37–6950 (473,21)	н. п.–3,45 (0,22)	н. п.–1290 (98,28)	н. п.–47,4 (3,67)

Примечание. Данные в г/т, в скобках среднее значение, н. п. – ниже предела обнаружения.

сыпеобразования. Все дендриты и дендритоиды, обнаруженные в данном россыпепроявлении, имеют низкую и среднюю пробность. По мнению Н. В. Петровской [6], дендритные формы наблюдаются в месторождениях средних и малых глубин, причем в последних их распространенность резко возрастает. В рудах, формировавшихся на относительно больших глубинах, такие частицы отсутствуют. Минеральные включения в средне- и низкопробном золоте представлены кварцем, КПШ, пироксеном, цирконом, пиритом, хлоритом.

Исследование самородного золота методом LA-ICP-MS показало, что высоко- и весьма высокопробное золото россыпного проявления руч. Еловый схоже по набору элементов-примесей (Cu, Bi) и их концентрациям с золотом месторождения им. П. Пинигина. Для низко- и среднепробного золота руч. Еловый характерно пониженное содержание Cu, Bi и повышенное Sb, Sn (таблица).

Таким образом, проведенные исследования позволяют сформулировать следующие предварительные краткие выводы:

1. Для золота весьма высокой пробности в россыпепроявлении руч. Еловый прослеживается генетическая связь с коренными источниками, близкими месторождению им. П. Пинигина.

2. Низко-среднепробное самородное золото отличается внутренним строением, морфологическими особенностями, минералами-включениями, концентрацией и набором элементов-примесей, что вероятно обусловлено иным типом коренного источника. Таким источником могут быть оруденения, образованные в результате проявления щелочного магматизма мезозойского возраста и схожие с широко распространенными в пределах ЦАРР.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГАБМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Журавлев А. И., Никифорова З. С., Кравченко А. А. [и др.] Минералого-геохимические особенности самородного золота из россыпей Эвотинского золотоносного района (Южная Якутия) // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике : материалы VI Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной памяти академика Н. Л. Добрецова. – Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2021. – С. 49–51.
2. Журавлев А. И., Округин А. В., Иванов М. С. [и др.] Дисперсная золоторудная минерализация в породах Медведевского массива и возможность формирования с ними россыпеобразующего золота (Алданский щит) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. – Якутск : СВФУ им. М. К. Аммосова, 2022. – С. 178–183.
3. Кравченко А. А., Смелов А. П., Березкин В. И. [и др.] Геология и генезис докембрийских золотоносных метабазитов центральной части Алдано-Станового щита (на примере месторождения им. П. Пинигина). – Якутск : РИЦ Офсет, 2010. – 148 с.
4. Молчанов А. В., Терехов А. В., Шатов В. В. [и др.] Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 71. – С. 93–111.
5. Округин А. В., Журавлев А. И., Мохначевский Г. В. Минералого-геохимические и морфологические особенности россыпного золота юго-восточной части Сибирской платформы // Отечественная геология. – 2013. – № 5. – С. 19–27.
6. Петровская Н. В. Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 348 с.

7. Самусиков В. П. Закономерности концентрации изоморфно-примесных элементов в минералах при гидротермальном рудообразовании // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 3. – С. 338–352.
8. Ehser A., Borg G., de Oliveira D. P. S. [et. al.] Characterization of placer gold deposits from central Portugal: preliminary results // 11th SGA Biennial Meeting, Antofagasta. – 2011. – P. 814–816.
9. Gerasimov B. B. The Use of Typomorphic Features of Placer Gold of the Anabar Region for Determining Its Sources // Minerals. – 2023. – V. 13, № 4. – P. 480.
10. Omang B. O., Suh C. E., Lehmann B. [et. al.] Microchemical signature of alluvial gold from two contrasting terrains in Cameroon // J. African Earth Sci. – 2015. – V. 112. – P. 1–14.

Жураев М. Н. [1] (j.mexroj@yandex.ru), Саттаров А. Б. [2] (sattarovazimjon52@gmail.com), Тураев Ш. Б. [1] (torayevv19@gmail.com), Туйгунов Н. А. [1] (nurgeldituygunov0@gmail.com)

[1] Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан

[2] Узбек геология разведка АО, Кызылкум СГЭ, г. Навои, Республика Узбекистан

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ Au-W ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШИРОТНЫЙ (ГОРЫ ЧАКЫЛКАЛЯН)

В данной статье приведены данные о геологических, структурных и морфологических особенностях золото-вольфрамового оруденения на месторождении Широтный. Золото-вольфрамовое оруденение преимущественно выявлено в зоне субширотных и близких межпластовых разломов в северо-западном направлении Кызылтурукского рудного поля. Основными рудоконтролирующими структурами на месторождении Широтный являются продольные разломы длительного развития и относящиеся к ним разломы зоны северо-западного и северо-восточного простирания. Для месторождения выделены три морфологических типа рудных тел: изометричные, плоские и вытянутые по одному направлению.

Ключевые слова: золото, вольфрам, месторождения Широтный, Кызылтурук, разлом, субширотный, оруденение, структура, окварцевание, морфология.

Близкое к промышленному золото-вольфрамовое оруденение в Кызылтурукском рудном поле выявлено на месторождении Широтный (горы Чакылкалян) в зоне сближенных межпластовых срывов субширотной и северо-западной ориентировки [3].

В геологическом строении месторождения принимают участие отложения ордовика, девона и карбона [3]. Ордовикские отложения развиты в северо-восточной части месторождения, относятся к средне-верхнему отделу и представлены полимиктовыми и олигомиктовыми песчаниками, слюдисто-глинистыми песчаниками, слюдисто-глинистыми сланцами и рассланцованными порфиритами средне-основного ряда. Для толщи ордовикских отложений характерно повсеместное присутствие линзовидных прослоев известняков и доломитов (В. Е. Раскин, 1982). Девонские (D_2ha) отложения на участке относятся к эйфельскому веку (ходжакурганская свита) и представлены частым переслаиванием известняков и кремнистых сланцев. На площади кремнистые сланцы составляют порядка 70 % разреза. По облику эти породы различных оттенков серого, темно-серого цвета, сливные, четкосланцеватые. Каменноугольные отложения представлены глинистыми и углисто-глинистыми сланцами, по простиранию переходящими в глинистые известняки. Известняки отмечаются в виде линз и горизонтов с меняющейся мощностью от долей до 10 м и более.

В структурном отношении месторождение Широтный располагается в южном крыле Кызылтурукской антиклинали, которая осложнена серией разноориентированных разрывов. Насыщенность рудоносных пород сульфидами зависит от первоначального состава вмещающих пород и геолого-структурных условий. Наиболее высокие содержания сульфидов и золота отмечаются в углисто-глинистых, углеродисто-известково-кремнистых и углеродисто-кремнистых сланцах. Меньше концентрации в однородных по составу кремнистых сланцах, и значительно меньше содержания в окварцованных известняках.

Рудовмещающими на месторождении являются кремнистые сланцы, которые в пределах тектонических зон интенсивно рассланцованы, перемяты и дезинтегрированы. Зоны межпластовых срывов, развитые, как правило, на контактах кремнистых и карбонатных пород, имеют четкие поверхности скольжения, характеризуются образованием по карбонатным породам тектонических брекчий с кварцевым цементом, по кремнистым сланцам зон хлорит-серицит-кварцевых метасоматитов, приуроченных к участкам линзовидного рассланцевания, развальцевания и будинирования «жестких» прослоев [2].

За пределами зон дробления тектонических швов кремнистые сланцы отчетливо слоистые, имеют спокойное залегание с падением на юг-юго-восток под углами 50–75°.

Основными рудоконтролирующими структурами на месторождении Широтный являются продольные разрывы длительного развития и оперяющие по отношению к ним зоны сколовых трещин северо-западного и северо-восточного простирания.

Ведущей рудолокализующей структурой месторождения является широтный разрыв, вмещающий основное оруденение участка. Рудоносная зона, в которой локализуется рудное тело № 5, представлена интенсивно дислоцированными и гидротермально измененными кремнистыми сланцами. Гидротермальные изменения выразились в окварцевании, хлоритизации, серицитизации и пиритизации рудовмещающих пород, на локальных участках в них развивается турмалин. Зона окисления на месторождении развивается до глубины 60–80 м (в рассечке № 10 более 150 м), в ней породы лимонитизированы и слабо осветлены. Граница зон окисления четко устанавливается по появлению в рудах вкрапленности пирита.

Мощность зоны дробления, окварцевания и метасоматической проработки кремнистых сланцев, вмещающих рудоносную зону, меняется от 2–5 до 35–50 м (рис. 10, 11, 12). Внутреннее строение рудоносной зоны характеризуется наличием сближенных параллельных кварцевых прожилков мощностью от 0,5–2 до 5–10 см и протяженностью от 0,3–1,5 до 3–5 м и более.

Форма прожилков преимущественно линзовидная. Преобладающее направление прожилков – субширотное (170–180 ∠ 55–75° – 200 ∠ 55–75°). Прожилки разобщены между собой, образуют сближенные полосы мощностью 0,3–0,5 до 2–3 м (шт. 5, рис. 9, 10, 11, 12), образующие как бы каркас рудоносной зоны. Кварц встречается также в виде будин размером до 0,5 × 0,3 м. В рудных зонах насыщенность жильным кварцем в среднем составляет от 10–20 до 60 %. За пределами рудоносных зон степень окварцевания кремнистых сланцев становится весьма незначительной (0,5–1 %), и преобладающей формой его выделения является метасоматическая [1].

В пределах рудоносной зоны, приуроченной к Широтному разрыву, изучено рудное тело № 5, которое по морфологии может рассматриваться как линейно-вытянутая крутопадающая непрерывная залежь пластообразной формы достаточно устойчивой мощности. Северным ограничением рудного тела является контакт кремнистых сланцев с известняками, южная граница нечеткая, но близка к геологической границе зоны окварцевания и максимальной гидротермальной проработки кремнистых сланцев. Падение рудоносной зоны южное под углами 60–70°. Прослеженная протяженность минерализованной зоны, вмещающей оруденение, на поверхности 200 м, на горизонте штолен № 3 и № 4 – 400 м.

Мощность рудных тел меняется от первых до 5 м в раздувах, при снижении борта мощность рудоносных зон доходит до 15 м. Эти раздувы, по-видимому, соответствуют очаговым структурам в узлах пересечения зон разломов широтного, северо-восточного и меридионального простирания. Морфология рудных тел в пределах очаговых структур линзовидно-столбообразная, по простиранию переходящая в пластообразную форму.

Повышенные содержания вольфрама соответствуют центрам очаговых структур и периферическим частям, длина которых (в шт. № 3 р. т. № 5) – 55 м, при среднем содержании вольфрама 0,45 %, при мощности рудного тела 5 м, рудоносной зоны – 15 м. В корневых частях очаговых структур ожидаемая форма рудных тел столбообразная [4].

В пределах шт. № 3 наличие очаговых структур отмечается по раздувам рудоносной зоны и повышенным содержаниям золота и вольфрама по стволу между рассечками Р-5-ю и Р-7-ю, а также между рассечками Р-3-ю и Р-5-ю. При этом расстояние между сближенными очагами 50–60 м. При наличии очаговых структур рудоносные зоны имеют наибольшие мощности, высокие содержания золота и вольфрама, интенсивность околорудных изменений высокая.

По мере удаления от очаговых структур в восточном направлении (шт. № 4, шт. № 6) мощность рудоносной зоны постепенно уменьшается от 4,5 до 1,5–1,0 м, с последующим выклиниванием в пределах сжатых блоков.

Распределение золоторудной минерализации в рудном теле № 5 весьма неравномерное. Содержание золота варьирует от десятых долей г/т. Золоторудная минерализация связывается как с кварцевой средой, так и сульфидной минерализацией.

Мощность рудного тела № 5 – величина относительно постоянная и меняется в незначительных пределах (от 2,1 до 5,0 м).

Рудное тело № 5 имеет пологое юго-западное склонение под углом 15–20°, которое, по-видимому, обусловлено рудоконтролирующей ролью зоны пересечения Широтного разрыва с разрывами северо-восточного и меридионального простирания.

Рассматривая рудное тело № 5, по оси склонения от поверхности на глубину устанавливается некоторая зональность в размещении собственно золотого и золото-вольфрамового оруденения. Комплексные руды вскрыты стволом штольни № 3 (горизонт +1295,7 м) и далее по склонению прослежены скважинами. Вольфрамовая минерализация вписывается в золоторудные сечения, образуя на горизонте штольни № 3 золото-вольфрамовую линзу протяженностью 55 м. По склонению ниже горизонта штольни во всех сечениях установлены комплексные руды. Таким образом, рудное тело № 5 представляет собой рудную залежь пластообразной формы, склоняющуюся на юго-запад под углом 15–20°. В верхней части рудоносного пласта установлено собственно золотое оруденение, которое в очаговых зонах сменяется комплексным золото-вольфрамовым.

Вольфрамоворудная минерализация в пределах рудолокализующего Широтного разрыва установлена по скважинам и за пределами рудного тела № 5, но интенсивность вольфрамовой минерализации в таких сечениях низкая, и такие участки рассматриваются как фланги очаговых структур.

На месторождении Широтный в 150–200 м южнее рудного тела № 5 выделено рудное тело № 7, также приуроченное к межпластовому срыву на контакте известняков и кремнистых сланцев. Рудное тело вскрыто в единичном сечении квершлагом 17 и по трем скважинам. Исходя из подобия в литолого-структурном контроле рудных тел 5 и 7, аналогичного вещественного состава руд, близких параметров и подобия эндогенных ореолов, форма рудного тела № 7 принимается пластообразной.

Месторождения пластовой (пластообразной) формы бывают однопластовыми (шт. № 3, 4, 6) и многопластовыми (шт. № 5, рас. 9, 10, 11, 12). Многопластовость иногда зависит от принятого бортового содержания золота. При борте 0,5–1,0 единая пластообразная залежь при борте 2,0 превращается в ветвящиеся, сложной формы, и их можно рассматривать как многопластовые залежи (шт. 5, р. т. 7, 8, 8а). Многопластовые залежи наблюдаются: при наличии продуктивной толщи пород; при частом переслаивании разнородных пород с различными физико-механическими свойствами; при различном уровне содержания в них углеродистого вещества. Количество рудоносных пластов в продуктивной толще может быть различно. Мощность продуктивной толщи (шт. 5, рас. 9, 10, 11, 12) 60–80 м. При этом при борте золота 2,0 количество пластообразных золотоносных залежей три, каждая залежь разделена друг от друга слабоминерализованными пластами.

Здесь же, судя по интенсивности околорудных изменений, наличия раздувов золоторудных зон (от 17–35 до 50 м), по повышенным содержаниям золота (1,0–20,0) и вольфрама от 0,01 до > 0,1 %, предполагается наличие очаговых структур в рассечке № 10 и между рассечками 11 и 12.

Таким образом, приведенные морфологические разновидности рудных тел соответствуют предварительно-оценочному этапу геологоразведочных работ, по мере накопления фактического материала и повышения детальности проводимых исследований и по мере изменения принимаемых бортовых содержаний золота соответственно могут корректироваться.

Изометричные тела полезных ископаемых представляют собой скопления минерального вещества, примерно равновеликие во всех измерениях. К ним принадлежат штоки, штокверки и гнезда. В пределах очаговых структур ожидаемая форма рудных тел линзовидно-столбо-

образная. Рудные столбы в корневых частях очаговых структур морфологически линзовидные, концентрационные по повышенным содержаниям полезных компонентов (Au, W).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Жабборов Д. Э., Жураев М. Н. Стратиграфо-литологические критерии локализации золото-вольфрамового месторождения Широтный Кызылтурукского рудного поля // Сборник международной конференции «ИННОВАЦИЯ 2016». – Ташкент : ТашГТУ, 2016. – С. 155–156.
2. Мирусманов М. А., Захидов А. Р. [и др.] Комплексное изучение перспектив золотого и золото-редкометалльного оруденения Северного склона Чакыл-Кальянских гор за 2004–2007 гг. – Ташкент, 2007.
3. Раскин В. К. [и др.] Поисково-оценочные работы на золото и другие полезные ископаемые на рудопроявлении Широтное и детальные поиски на Гандинской перспективной площади на рудопроявлении Ходжавахалюк. – 1979–1982.
4. Захидов А. Р., Джантуганов Н. И. [и др.] Анализ, разработка и обоснование локальных площадей на золото и золото-редкометальное оруденение в Каратюбе-Чакыл-Кальянском горнорудном районе за 1997–2000 гг. – Ташкент, 2000.

Звездов В. С. (zvezdov@tsnigri.ru), Чурилова Т. А. (churilova@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

МИНЕРАЛЫ-ИНДИКАТОРЫ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУД: ВОЗМОЖНОСТИ И СЛОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОГНОЗЕ И ПОИСКАХ

Проанализированы возможности использования минералов-индикаторов при прогнозе и поисках медно-порфировых месторождений (МПМ), а также сложности, возникающие при интерпретации результатов их изучения. Проведена группировка этих минералов по информативности для решения вопросов потенциальной рудоносности интрузивных комплексов, масштабности прогнозируемых объектов, оценки степени их эрозии.

Ключевые слова: медно-порфировые месторождения, минералы-индикаторы, прогноз и поиски, рудоносность интрузивных комплексов.

В публикациях последних десятилетий (в основном зарубежных) по минералам-индикаторам медно-порфировых месторождений (porphyry indicator minerals – PIMs) приведены данные исследований циркона, рутила, титанита, плагиоклазов, граната, апатита, хлорита, эпидота, магнетита, турмалина, алунита, кварца, серицита-мусковита, самородного золота. Наибольшее число работ посвящено *циркону, рутилу, апатиту, магнетиту, турмалину, эпидоту и хлориту,* присутствующим практически во всех интрузивных и вулканических породах и, за исключением хлорита, в той или иной мере устойчивым к наложенным изменениям, включая гипергенные. Эти минералы легко диагностируются и извлекаются из проб и шлихов. Их макро- и микроэлементный состав, установленный современными методами микроанализа (SEM-EDS, EMPA, LA-ICP-MS, SIMS, WDS), применяется как при построении геолого-генетических моделей медно-порфировых рудно-магматических систем (МП РМС), так и для прогноза и поисков месторождений, в т. ч. скрытых и перекрытых.

Одним из необходимых условий формирования гидротермальных месторождений является водонасыщенность (не менее 4 об. %) и высокая степень окисления материнских магм (K. Burnham, J. Hedenquist, J. Richards, R. Sillitoe и др.). Окислительно-восстановительный потенциал (redox) отражает насыщенность расплавов летучими компонентами (H_2O, Cl, S и др.) и их способность к переносу комплексных соединений металлов, а с другой стороны, влияет на распределение содержаний основных, редких и редкоземельных (REE) элементов в акцессорных и гидротермальных минералах магматических и развитых по ним метасоматических пород. По составу этих минералов-индикаторов с определенной достоверностью можно судить

о термодинамических и физико-химических параметрах магм и разбраковывать по продуктивности плутоногенные и вулканогенные комплексы, являющиеся их производными.

Циркон наиболее информативен среди PIMs: присутствует практически во всех породах – интрузивных, вулканических, перекрывающих рыхлых; исключительно устойчив к поздним преобразованиям, что «обеспечивает» сохранность его первичного микроэлементного состава (REE+Y, Hf, Nb, Ta, U, Th, Pb, Ti и др.), по которому можно судить об эволюции состава магм, степени их окисления и рудоносности; используется для определения абсолютного возраста (U-Pb (CA-ID-TIMS) методом) и температур становления (по Ti) магматических комплексов.

По экспериментальным данным (A. Burnham, A. Berry, 2012) вариации содержаний Ce и Eu в цирконе являются функцией от активности кислорода (fO_2) в расплаве. Мера обеднения или обогащения Ce и Eu выражается отношениями Ce/Ce* и Eu/Eu*, где Ce и Eu – измеренные содержания элементов в образце, а Ce* и Eu* – их теоретические содержания в ряду REE. Положительные аномалии содержаний Ce (Ce/Ce* > 100) и умеренно отрицательные Eu (Eu/Eu* > 0,4), а также высокие отношения Ce^{4+}/Ce^{3+} (> 120) в цирконах указывают на окисленные магмы, продуктивные на медно-порфировые руды (J. Ballard et al., 2002; J. Dilles et al., 2015; J. Wilkinson et al., 2017). Однако, совместная или предшествующая кристаллизация апатита и/или титанита влияет на микроэлементный состав циркона (Y. Buret et al., 2016; M. Loader et al., 2017), поэтому для оценки redox рекомендуется использовать только его высокотанталовые разности (> 0,2 ‰ Ta), характерные для пород с отсутствием названных минералов.

Исследования цирконов в целях оценки использования для определения продуктивности интрузивных комплексов проведены за рубежом (J. Ballard, Y. Buret, E. Campos, M. Fiorentini, M. Loader, R. Loucks, Y-J. Lu, J. Palin, H. Pizarro, P. Shen, K. Hattori, J. Wilkinson и др.) на Au-Cu-, Au-Mo-Cu- и Cu-Mo-порфировых месторождениях Кордильерского (Гибралтар, Хаймаунт, Лорнекс, Вэлли (Канада), Эсперанца (США)), Андийского (Эль-Теньенте, Чукикамата, Эль-Абра, Рио Бланко – Лос Бронсес, Эскондида, Родамиро Томик, Опаче, Манса (Чили), Мирадор (Эквадор), Бахо де ла Алумбрера (Аргентина)), Центрально-Азиатского (Бощекуль, Нурказган, Коунрад, Борлы, Актогай, Коксай (Казахстан), Сар Чешме, Сунгун (Иран), Дексинг, Джиама, Кулонг, Нанниху, Ючилинг и др. (КНР)), Юго-Восточно-Азиатского (Бату Хайджау (Индонезия), Тампакан (Филиппины)) минерагенических поясов, а в России (О. В. Петров, В. В. Шатов, А. В. Молчанов, А. И. Ханчук, В. В. Иванов, Ю. О. Редин, А. А. Редина, А. В. Малютина и др.) – на Au-Mo-Cu-порфировых объектах Сихотэ-Алинской (Малмыжское, Пони, Гион) и скарново-медно-порфировых Восточно-Забайкальской (Лугоканское, Култулминское, Быстринское) провинций.

Для разбраковки магматических комплексов на потенциально рудоносные и безрудные по микроэлементному составу цирконов зарубежными специалистами предложены вариационные и дискриминантные диаграммы отношений содержаний: (Eu/Eu*)/(Ce/Ce*); (Ce^{4+}/Ce^{3+})/(Eu/Eu*); Eu/Eu* к Cu, Mo, Hf, Y, Ce/Nd, (Ce/Nd)/Y, Dy/Yb; а также (Ce^{4+}/Ce^{3+})/запасы Cu, млн т; в отдельных случаях для характеристики зональных кристаллов (месторождение Бахо де ла Алумбрера, Аргентина) – (Th/U)/(Yb/Gd), (Ce/Sm)N/(Yb/Gd), (Eu/Eu*)/(Yb/Gd), Ti/(Yb/Gd).

По результатам этих исследований можно констатировать, что в целом состав цирконов может использоваться при прогнозе медно-порфирового оруденения, однако при интерпретации аналитических данных должны быть учтены осложняющие факторы: влияние на состав циркона близодновременно кристаллизующихся рутила и/или апатита; наличие кроме гомогенных кристаллов циркона, по-видимому, образовавшихся на завершающих стадиях формирования РМС, многочисленных зерен этого минерала «сложного» строения (зональных многофазных с древними ядрами, гибридного происхождения, с включениями, метаморфическими оболочками), которые были «вынесены» из глубинных частей систем. Микроэлементный состав цирконов может отражать не только исходную металлоносность магматических расплавов, но и разные уровни эрозионного среза плутонов, при которых на современной поверхности могут быть обнажены как верхние, некогда флюидонасыщенные, рудоносные части магматических колонн, так и их корневые, практически безрудные, зоны, чем объясняется неоднозначность получаемых результатов. Следует также отметить, что различия в составе цирконов продуктивных и непродуктивных магматических комплексов наиболее контрастны

для гигантских, крупных и, отчасти, средних по запасам МПМ, но не для мелких, для которых поля значений содержаний REE на диаграммах в большой мере перекрываются с «безрудными». Тем не менее, с учетом перечисленных осложняющих факторов, при условии применения вместе с традиционными методами геологоразведки, изучение цирконов может использоваться для выделения потенциально рудоносных интрузивов, предварительной оценки масштабности прогнозируемых объектов, поисков перекрытых МПМ в областях развития гранитоидного магматизма.

Рутил как минерал-индикатор может использоваться для разбраковки интрузивных комплексов по фертильности, а с учетом присутствия в шлихах – для поисков МПМ, погребенных под рыхлыми отложениями. Значения отношений Ce^{4+}/Ce^{3+} и Eu/Eu* в рутиле рудоносных пород близки к установленным для циркона, как это было показано на примере месторождения Гибралтар (Канада) (A. Plouffe et al., 2017), однако его изучение целесообразно лишь вместе с цирконом, по которому возможна датировка изучаемых пород.

Апатит – минерал-индикатор флюидного режима магм, потенциальной рудоносности и металлогенической специализации плутоногенных формаций. Содержания галогенов, S, Mn, V и REE в апатите отражают степень окисления материнских расплавов: высокая – фиксируется низкими значениями содержания Mn и Y/ΣREE и повышенными Cl, S, V, Eu, La/Sm и Ce/Th.

Состав апатитов магматического и гидротермального генезиса различен, как и состав этого минерала в рудовмещающих породах месторождений разных рудно-формационных типов (РФТ) – Au-Mo-Cu-порфировых, Au-Ag эпитермальных, W-скарновых, железо-оксидно-медно-золотых (IOCG), орогенных Au и Cu-Ni (M. Mao et al., 2016). По составу апатитов можно разделять и месторождения медно-порфирового семейства (Cu-Mo-, Au-Mo-Cu и Au-Cu-порфировые), однако статистически достаточных данных для разработки соответствующей методики к настоящему времени нет (J. Wilkinson et al., 2017). Исследования с анализом различий составов апатитов минерализованных и безрудных интрузивов в целях прогноза медно-порфирового оруденения также практически не проводились, если не считать работы по гигантскому Cu-Mo-порфировому месторождению Чукикамата (Чили) (E. Brugge et al., 2017) с неоднозначными результатами.

Состав апатита и его люминесценция могут применяться при расшифровке строения рудно-метасоматических ореолов МПМ. Апатиты неизмененных пород, калиево-кремниевой и филлизитовой метасоматических зон МП РМС различны по содержаниям Mn, Fe, Cl, Na, S, REE и цветам люминесценции (F. Bouzari et al., 2016; M. Loader et al., 2017; F. Zhang et al., 2023 др.), что может быть использовано в качестве вспомогательных критериев при расшифровке рудно-метасоматической зональности и оценке эрозионного среза изучаемых объектов.

Магнетит – первостепенный индикаторный минерал медно-порфировых и других рудных месторождений. Сравнительно высокая устойчивость к гипергенезу, широкое распространение и легкое извлечение, прежде всего из шлихов, позволяют использовать этот минерал как индикатор потенциальной рудоносности территорий, для чего применяются шлиховые методы поисков. Они входят в состав стандартного комплекса методов геологоразведки и широко используются при поисках скрытых и перекрытых месторождений, особенно в России, США, Канаде, странах Северной Европы, где широко распространены ледниковые отложения. Возможность диагностики (по составу примесей) магнетитов месторождений разной формационной принадлежности может быть использована при определении наиболее рациональных комплексов поисковых методов.

Как показал опыт опытно-методических и поисковых работ на МПМ – Казино, Маунт Полли, Коппер Маунтин, Бингхэм Каньон, Ескондида, Морокоча. Ою Тологой, Риджвэй и многих других – по составу основных элементов и элементов-примесей (Mg, Al, Ti, V, Mn, Co, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge) можно отделять магнетиты гидротермального генезиса (внутренней биотит-калишпатовой либо биотитовой зон) от магматического, в частности, по отношению Al/Ti к V/Ti(M. McCurdy et al., 2022; L. Pisiak et al., 2017 и др.), а также различать магнетиты месторождений разных РФТ: медно-порфировых, скарновых, IOCG, Fe-Ti, Fe, V и др. – по отношениям Ni/Co и $MgO/A1_2O_3$ (Г. М. Зайцева и др., 1981), Ni/(Cr+Mn)/(Ti+V) и (Ca+Al+Mn)/(Ti+V) (C. Dupuis, G. Beaudoin, 2011).

На перспективных площадях, закрытых делювием ближнего сноса, для выявления внутренних (рудоносных) зон прогнозируемых МП РМС наряду с геолого-поисковыми маршрутами, геофизической, геофизической и шлихоминералогической съемками может использоваться каппа-метрический анализ, как это было сделано в ходе поисковых работ 2010–2012 гг., проведенных ЦНИГРИ и подрядными организациями – ОАО «Георегион» и АО «ВИРГ-Рудгеофизика» на площади Ракетного потенциального рудного поля (РП) Ольховского рудного района в Чукотском АО (В. С. Звездов и др., 2013). По количеству магнетита в дубликатах литохимических проб, в комплексе с результатами традиционных поисковых методов, здесь были выделены поисковые участки с ранжированием по перспективности и очередности проведения заверочных горно-буровых работ. Эти участки, фиксирующиеся аномалиями магнитного поля, Cu и Mo во ВОР и повышенным количеством магнетита в пробах, представляют собой в различной степени эродированные локальные центры гидротермальной системы, сопряженные с выступами-апофизами находящегося на глубине крупного гранитоидного массива. Два из них фиксируются «магнетитовыми максимумами», соответствующими выходам на дневную поверхность магнетитсодержащих биотит-калишпатовых метасоматитов, а третий – слабой аномалией, что обусловлено меньшим эрозионном срезом и развитием более поздних филлизитов.

Турмалин – боросодержащий минерал, устойчивый к химическому и физическому разложению в естественной среде. Он характерен в основном для Mo-порфировых (Кляймакс, Маунт Эммонс, Юрэд-Гендерсон, Сорское, Шахтама, Бугдаинское и др.) и Cu-Mo-порфировых (Эль Теньенте, Рио-Бланко – Лос Бронсес, Лос Пеламбрес и др.) месторождений, где в больших количествах присутствует в рудовмещающих гидротермально-магматических брекчиях, а также во вкрапленности и жилах практически во всех метасоматических зонах. Представлен в основном в виде агрегатов зерен, а не отдельных кристаллов; редко содержит включения (циркона, рутила); как правило, предшествует отложению метасоматических и рудных минералов. Как показали исследования на месторождениях Шафт-Крик, Хайленд-Вэлли, Казино, Коксхит, Нью Афтон, Вуджэм в Канаде, Донозо – Лос Бронсес в Чили (A. McDonald, C. Beckett-Brown, 2017; C. Beckett-Brown et al, 2023), зерна турмалина обладают концентрической и секторальной, реже пятнистой и разрастания, зональностью, отражающей изменения концентраций Mg, Fe и Al по мере их роста. Они богаты Mg и Fe, варьируя по составу от преобладающего (80 %) дравита до шерла при значениях Mg apfu от 0,69 до 2,89, в среднем ~ 2,0 (тренд повондраита–оксидравита, фиксирующий замещения $Al^{3+} \leftrightarrow Fe^{3+}$ при постоянных содержаниях Mg). Смена окислительной обстановки минералообразования восстановительной при эволюции порфировых систем фиксируется снижением содержания Fe3+ и ростом Fe^{2+} в турмалинах (при аномально низких F и Cl), хотя она может быть также обусловлена и различными глубинами.

Для турмалинов Au-Mo-Cu-порфирового месторождения Песчанка и рудопроявления Находка ведущим типом изоморфных замещений является $Fe^{3+} \rightarrow Al$, что соответствует данным по турмалинам пропилитовых зон МПМ, где такой изоморфизм, предполагающий значительное содержание Fe^{3+}, указывает на высокую активность кислорода. Для турмалинов филлизитовой зоны характерно изоморфное замещение ${}^{Y}Al + {}^{W}O \rightarrow {}^{Y}Fe^{2+} + {}^{W}OH$. При этом в составе турмалинов из безкарбонатных кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов, сопровождающих субэпитермальную полисульфидную минерализацию на флангах РМС, содержание Ca существенно выше, чем из карбонатсодержащих филлизитов, вмещающих медно-порфировые руды (Марущенко и др., 2015).

Отмеченные особенности зональности и макроэлементного состава (Mg, Fe, Al, Ca) турмалинов не являются «уникальными», т. е. присущими лишь МПМ, поэтому для эффективного распознавания турмалинов порфировых систем необходимо их использование в комплексе с данными по микроэлементному составу (C. Beckett-Brown et al, 2023).

Хлорит и эпидот – типоморфные минералы пропилитовых зон МПМ. Концентрации в них ряда халькофильных (As, Sb, Pb, Bi и др.) и сидерофильных (Fe, Mn, V, Sn и др.) элементов за счет проникновения магматогенных флюидов в периферийные зоны МП РМС выше, чем в тех же минералах вмещающих пород, подвергнувшихся зеленокаменному метаморфизму. Уровни содержаний этих элементов зависят от расстояния прохождения флюидов от центров

гидротермальных систем, т. е. от протяженности путей движения по вмещающим породам, игравшим роль геохимических буферов (барьеров). С увеличением этого расстояния температуры минералообразования и fS_2 снижаются, а кислотность растворов в результате реакций с окружающими породами возрастает (растет fO_2, снижается pH), что отражается в микроэлементном составе хлорита и эпидота.

Как показано опытно-методическими работами Геологической службы США на Cu-Mo-порфировых месторождениях Эль Теньенте, Росарио, Юджина, Куабрада Бланка, Ла Хайфа, Олла Бланка (Чили), Резолюшион (США), Au-Mo-Cu-порфировом Ою Толгой (Монголия), Au-Cu-порфировых Бату Хайджау (Индонезия), E26 и E28 (Австралия) (M. Baker et al., 2020; D. Cooke et al., 2020; L. Hart et al., 2015; A. Pacey et al., 2017, 2020; J. Wilkinson et al., 2015, 2020), слабо проявленная пропилитизация, связанная с рудогенезом, «фиксируется» LA-ICP-MS, SEM-EDS и WDS анализами составов хлоритов и эпидотов (повышенными содержаниями As, Sb, Ti, Mn, Co, U, Yb и др. элементов) на площадях, значительно превосходящих эндогенные геохимические ореолы месторождений, выявляемые традиционными поисковыми и аналитическими (по валовому составу пород) методами. Установленные с использованием микрозонда и LA-ICP-MS анализа соотношения содержаний Ti и Sr в эпидоте, Sb и As в хлорите позволяют оценивать расстояния до прогнозируемых центров гидротермальных рудообразующих систем и таким образом могут быть использованы для прогноза скрытых, не выходящих на дневную поверхность, месторождений и предварительной оценки глубины их залегания.

Применение описанной методики поисков требует наличия дорогостоящей аналитической аппаратуры (электронный микроскоп, микрозонд, масс-спектрометры и др.), а также достаточной обнаженности изучаемой территории либо проходки поверхностных горных выработок и/или скважин, по которым могут быть отобраны образцы. При интерпретации результатов необходим учет масштабности прогнозируемых объектов, безусловно влияющей на возможные расстояния (от центров РМС) фиксации пропилитовых изменений по хлориту и эпидоту, а кроме того, определенных различий в их составе в месторождениях медно-порфирового семейства (эпидот Cu-Mo-порфировых объектов в сравнении с Au-Cu-порфировыми, например, обогащен As и Sb и обеднен Yb (J. Wilkinson et al., 2017)). Поэтому, с нашей точки зрения, для достоверных прогнозных оценок изучаемых территорий необходимы объекты-эталоны в том же рудном районе или, по крайней мере, металлогенической зоне, где были бы уже определены возможные уровни концентраций макро- и микроэлементов в хлоритах и эпидотах. Необходимо также отметить, что различия в составе этих минералов в пропилитовых ореолах мелких МПМ и во вмещающих зеленокаменно-измененных породах не столь контрастны как на средних, крупных, а тем более гигантских объектах, что ограничивает поисковое использование описанной методики.

По результатам подготовленного обзора можно сгруппировать минералы-индикаторы МПМ по информативности и возможным областям применения при ГРР. Самыми информативными являются *циркон* и *магнетит*, результаты изучения которых наиболее часто учитываются при прогнозе и поисках МПМ. Остальные PIMs используются существенно реже.

Изучение макро- и микроэлементного состава минералов-индикаторов может применяться как при прогнозно-минерагенических, так и при поисковых работах: циркона, рутила, апатита – для разбраковки интрузивных комплексов по рудоносности при выделении и оценке перспектив потенциальных рудных районов и узлов; магнетита, турмалина, хлорита и эпидота – для оконтуривания в их пределах потенциальных рудных полей.

Для достоверной интерпретации результатов исследований минералов-индикаторов МПМ, как, впрочем, и месторождений других геолого-промышленных типов, необходима *добротная геологическая основа прогнозирования.* Образцы пород для определения состава PIMs необходимо отбирать из потенциально рудоносных интрузивных формаций, выделенных при прогнозно-металлогеническом районировании изучаемых территорий с применением традиционных методов прикладной металлогении – структурно-формационного и рудно-формационного анализов.

Для изучения минералов-индикаторов необходима современная аналитическая аппаратура, а для использования его результатов при прогнозе и поисках МПМ – комплексирование с тра-

дициионными геологическими, геофизическими и геохимическими методами геологоразведки. Целесообразна апробация минералого-геохимических методов поисков по PIMs на хорошо разбуренных отечественных объектах (Песчанка, Малмыжское, Ак-Суг, Михеевское, Томинское и др.) с отбором проб из различных фаз магматических комплексов и с разных гипсометрических уровней порфировых систем в целях сопоставления прогнозных построений, основанных на интерпретации результатов их применения, с реальным геологическим строением и зональностью месторождений, а также с данными геохимических съемок по ВОР и солевым ореолам, выявляемым йонно-сорбционным, EnzymeLeachSM, BioLeach и др. методами. Это позволит оценить эффективность использования минералов-индикаторов для прогноза и поисков МПМ, а также получить данные по «месторождениям-эталонам», необходимые для дальнейших исследований.

Зинчук Н. Н. (nnzinchuk@rambler.ru)
Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я), г .Мирный

О ФАЦИАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВНИХ ОСАДОЧНЫХ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ ТОЛЩ

На основании изучения геодинамических, фациальных условий формирования и вещественного состава верхнепалеозойских осадочных толщ Малоботуобинского алмазоносного района Сибирской платформы оценена роль местного материала в различных фациальных разрезах лапчанской, ботуобинской и боруллойских свит пермского возраста, что позволило высказать рекомендации по методологии формационного-фациального анализа и важности отдельных обстановок для прогнозно-поисковых работ на алмазы. Кимберлитовый материал поступал в бассейны седиментации фаций нижних частей разрезов рассматриваемых стратиграфических подразделений за счет размыва верхних горизонтов как известных, так еще не открытых диатрем в областях денудации.

Ключевые слова: фациальный анализ, верхнепалеозойские алмазоносные осадочные образования, Сибирская платформа.

В алмазоперспективных районах древних платформ мира широким развитием пользуются древние коры выветривания (КВ) на различных породах [1–5], а также отложения, обогащенные продуктами их размыва и переотложения в различных фациальных обстановках [6–10]. Интенсивность выветривания обычно возрастает с увеличением температуры и количества выпадающих осадков. Большое значение при этом имеет также обилие гумусового вещества, обладающего кислотными свойствами. Мощность КВ во многом зависит от глубины залегания грунтовых вод. Наиболее мощная КВ формируется на водоразделах, в то время как интенсивная денудация элювиальных продуктов происходит вдоль эрозионной сети, а на плоских водоразделах наблюдается минимальный размыв при наиболее интенсивном дренаже. Сохраняются от размыва элювиальные продукты только при стечении благоприятных факторов и преимущественно в понижениях древнего рельефа и в тектонически опущенных блоках. Наиболее детально КВ в алмазоносных регионах изучены в Малоботуобинском (МБАР), Далдыно-Алакитском (ДААР) и Средне-Мархинском (СМАР) районах Сибирской платформы (СП), в которых благоприятные палеогеографические условия для формирования выветрелых толщ существовали преимущественно в позднедевонское–раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время[11–14].

Поскольку на рассматриваемой территории в конце девона произошло сокращение морского бассейна, то на северо-западе и северо-востоке Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС) сформировались прибрежные низменные равнины, а на юге как этой, так и Вилюйской мезозойской синеклиз (ВМС), возникли равнины с континентальным осадконакоплением, которые разделялись более высокими денудационными плато. Каменноугольному периоду активизации

общего воздымания СП предшествовала эпоха относительного покоя, в течение которой практически не происходило дифференцированных тектонических движений. Выравнивание пенепленизированного рельефа и образование элювия на исходных породах протекало постепенно на протяжении всего периода формирования территории, при котором продукты КВ поступали в коррелятивные толщи равномерно, что связано с незначительными в это время изменениями тектонического режима и палеорельефа. Поэтому отложения нижнего карбона ТВС отражают погребенную поверхность выравнивания на границе девона и карбона и по всему разрезу обогащены продуктами выветривания, представляя тем самым формацию КВ [15–17]. Общая картина осадконакопления в карбоне (по сравнению с девоном) изменялась мало. На территории ТВС в карбоне и перми широкое развитие получили низменные заболоченные равнины с угленосными отложениями. В конце пермского периода во многих районах СП начались излияния лав и внедрение траппов (особенно сильно проявившиеся к началу раннего триаса). К концу этого периода длительная эпоха денудации завершилась пенепленизацией СП. Региональная пенепленизация в среднем и позднем триасе обусловлена эпохой относительного тектонического покоя, предшествующей юрской активизации СП. Происходило формирование мощной КВ, причем корообразование, денудация и переотложение элювиальных продуктов в коррелятивные толщи происходили относительно равномерно, что обусловлено (как и в позднем девоне–раннем карбоне) слабым изменением палеорельефа и тектонического режима [18–22].

Особенности геодинамических и фациальных условий формирования древних осадочных толщ нами рассмотрены на примере одного из самых развитых в плане добычи алмазов – МБАР СП, в котором перспективными для дальнейшего прироста сырья являются верхнепалеозойские отложения, в разрезе которых выделяются [1–3] лапчанская (P_1l), ботуобинская (P_1b) и боруллойская (P_2br) свиты. В пределах площади распространения отложений *лапчанской свиты* выделяется фациальные зоны развития аллювиальных, аллювиально-пролювиальных, делювиальных, делювиально-пролювиальных, озерно-лагунных и лагунных отложений. Эти зоны сменяют друг друга по площади и характеризуют три палеоландшафтные области, отражающие условия седиментации отложений лапчанской свиты: подножий склонов и конусов выноса, речных долин (малых водотоков), заливно-лагунного мелководья бассейна. Область подножий склонов и конусов выноса отмечена в юго-западной, центральной и северо-западных частях рассматриваемой территории. Она окаймляет крупное палеоподнятие и постепенно переходит в незначительную по размерам область речных долин. В западной части региона в то время господствовали бассейновые условия седиментации. Эта область включает зону развития делювиальных и делювиально-пролювиальных образований. Здесь получили развитие фации песчано-алеврито-щебнистых элювиально-делювиальных образований (ЭД), гравийно-песчано-алевритовых осадков пролювия (ПР), алеврито-глинистых осадков застойных, зарастающих озер (ОЗ), алеврито-песчаных осадков крупных озер (ОК), углисто-глинистых осадков заиливающихся торфяных болот (БЗ) и осадков торфяных болот (БТ). Образование отложений лапчанской свиты в северной и северо-западной части региона началось [4–8] на ограниченных площадях с выполнения элювиально-делювиальными осадками отрицательных форм древнего рельефа, расположенных вблизи наиболее длительно существовавших в рассматриваемый период областей денудации. Это несортированные отложения, представленные щебенкой терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, сцементированной карбонатно-глинистым и алеврито-глинистым материалом. В основании разреза происходило накопление преимущественно к внутренним частям впадин тонкозернистыми пролювиальными и озерными осадками. В краевых частях конусов выноса периодически возникали мелкие озерные водоемы, которые часто подвергались кратковременному заболачиванию, чем и объясняется появление в разрезе осадков торфяных болот. Область речных долин (малых водотоков) включает зону преимущественного развития аллювиально-пролювиальных осадков и имеет незначительное распространение. Рассматриваемые отложения выполняют наиболее пониженные участки доверхнепалеозойского рельефа, в то время как на прилегающих склонах палеоподнятий накапливались элювиально-делювиальные и пролювиальные отложения. Область заливно-лагунного мелководья бассейна получила довольно широкое распространение и включает зоны озерно-лагунных и лагунных отложений. В начальную стадию седиментации в основании лапчанского разреза

происходило накопление песчано-алеврито-щебнистых элювиально-делювиальных осадков (ЭД). Последовавшая трансгрессия морского бассейна обусловила преимущественное накопление алеврито-глиниситых осадков лагун (ЛЗ). В верхней части разреза отмечаются фации алеврито-глинистых осадков застойных, зарастающих озер (ОЗ).

В пределах площади распространения отложений нижней части *ботуобинской свиты* выделяется несколько фациальных зон: преимущественного развития аллювиальных, подвижного мелководья бассейна, подводно-дельтовых, озерно-болотных отложений и осадков заливно-лагунного мелководья бассейна, при участии озёрно-болотных делювиально-лагунных и пролювиально-лагунных образований. По условиям седиментации все перечисленные фациальные зоны объединяются [8–12] в следующие палеоландшафтные области: континентального осадконакопления, прибережного сильно подвижного мелководья, заливно-лагунного мелководья и открытого подвижного мелководья бассейна. В начале раннепермского времени широкое развитие получил комплекс фаций континентальных отложений. Затем последовало незначительное прогибание территории, что способствовало дальнейшему продвижению вод бассейна вглубь суши. В результате этого сокращалась площадь континентального осадконакопления и устанавливались преимущественно бассейновые условия седиментации, что нашло отражение в распределении фациальных зон как по площади, так и в разрезе. В основании разреза ботуобинской свиты преобладают фации песчаных осадков русла и подводной части дельты (ПД). Они слагают основную часть разреза и выше перекрываются фациями глинисто-алеврито-песчаных осадков открытого подвижного мелководья бассейна (ОМБ), песчаных осадков баров, кос и россыпей (БКП). Фации алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ) обычно залегают на отложениях открытого подвижного мелководья бассейна, осадках баров, кос, пересыпей и реже непосредственно перекрывают отложения подводной части дельты. В пределах области развития заливно-лагунного мелководья бассейна выделяются три фациальные зоны. В основании разреза отмечаются незначительные по мощности фации песчано-алеврито-щебнистых элювиально-делювиальных образований (ЭД), которые выше по разрезу перекрываются отложениями фации алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ). Нижняя часть зоны развития пролювиально-лагунных отложений обычно представлена фацией гравийно-песчано-алевритовых осадков пролювия (ПР). Выше по разрезу залегают фации алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ). Зона развития озерно-болотных и лагунных отложений имеет широкое площадное распространение. Здесь устанавливаются фации алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ). В разрезе отмечаются также фации алеврито-глинистых осадков застойных, зарастающих озер (ОЗ), углисто-глинистых осадков заливающихся торфяных болот (БЗ), алеврито-песчаных осадков крупных озер (ОК), глинисто-алеврито-песчаных осадков открытого подвижного мелководья бассейна (ОМБ) и песчаных осадков подводной дельты (ПД).

В пределах поля развития нижней части разреза *боруллойской свиты* выделяются [1–3] четыре фациальные зоны: преимущественного развития аллювиальных, аллювиально-дельтовых и подводнодельтовых отложений, а также образований открытого мелководья бассейна. Перечисленные фациальные зоны образуют три палеоландшафтные области, характеризующиеся различными условиями седиментации в начале позднепермского времени: речных долин и аллювиально-дельтовых равнин, прибережного сильно подвижного мелководья и открытого подвижного мелководья бассейна. Область речных долин и лагунно-дельтовых равнин включает в себя фациальные зоны развития аллювиальных и аллювиально-дельтовых отложений. Аллювиальная равнина получила довольно широкое развитие, окаймляя крупное позднепермское палеоподнятие, расположенное в восточной и южной частях рассматриваемой территории, которая являлась в этот период областью длительного размыва. В пределах аллювиальной равнины преимущественное развитие получили фации песчано-гравийно-галечных осадков русла (АР) и песчано-алевритовых осадков поймы (АП). Меньшее распространение получили фации алеврито-песчаных осадков крупных озер (ОК), алеврито-глинистых осадков застойных и зарастающих озер (ОКЗ), углисто-глинистых осадков заливающихся торфяных болот, а также осадков торфяных болот. Последние обычно наблюдаются в верхних частях разрезов и нередко тяготеют к бортам долины. В западной части изученной территории получила развитие аллювиально-дельтовая равнина, которая примыкает на всем своем протяжении к довольно обширной

зоне подвижной дельты. Область прибережного сильно подвижного бассейна включает в себя фациальную зону преимущественного развития подводнодельтовых осадков с характерным для них преобладанием фаций песчаных осадков подводной дельты (ПД), на которых вблизи береговой линии залегают фации алеврито-глинистых осадков застойных, зарастающих озер (ОЗ) и алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ). Область подводного открытого мелководья занимает зону преимущественного развития фаций глинисто-алеврито-песчаных осадков открытого мелководья бассейна (ОМБ). В основании позднепермского разреза залегают фации песчаных осадков подводной части дельты (ПД) и незначительные по мощности фации углисто-глинистых осадков заиливающихся торфяных болот (БЗ), которые перекрываются глинисто-алеврито-песчаными осадками открытого подвижного мелководья бассейна, а также алеврито-глинистыми осадками лагун и заливов (ЛЗ). Таким образом, нами показано значительное уменьшение в нижнепермское время восходящих тектонических движений в бассейнах седиментации, что привело к перестройке палеогеографической зональности и установлению перерыва в осадконакоплении на части изученной территории. Последовавшая тектоническая стабилизация и гумидный климат обусловили развитие гипергенных процессов, а геодинамические процессы привели к формированию элювиального чехла на изверженных и осадочных породах региона. Замедление тектонических движений компенсировалось осадконакоплением и заканчивалось регрессией. Минимум регрессии приходится на первую половину раннеборуллойского времени, а максимум – на конец этого же периода. Кимберлитовый материал (алмазы и их минералы-спутники, переотложенные выветрелые продукты) в фации нижних частей разрезов поступал за счет размыва верхних горизонтов как из известных в регионе диатрем, так и из тел, предполагаемых в областях денудации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 1998. – Т. 361, № 3. – С. 366–369.
2. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2000. – № 3. – С. 37–55.
3. Зинчук Н. Н. Особенности состава и распределения слюдистых образований в кимберлитовых породах Якутии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1991. – № 7. – С. 58–66.
4. Зинчук Н. Н. Особенности минералов слюд в кимберлитах // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2018. – № 2. – С. 29–39.
5. Зинчук Н. Н. Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе // Отечественная геология. – 2021. – № 2. – С. 41–56.
6. Зинчук Н. Н. Докембрийские источники алмазов в россыпях фанерозоя // Вестник Воронежского ун-та. Геология. – 2021. – № 3. – С. 50–61.
7. Зинчук Н. Н. Геологические исследования при поисках алмазных месторождений // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2021. – № 4. – С. 35–52.
8. Зинчук Н. Н. Коры выветривания и их роль в формировании посткимберлитовых осадочных толщ // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 100–120.
9. Зинчук Н. Н. О специфике глинистых минералов в осадочных формациях // Вестник Пермского университета. Геология. – 2022. – № 1. – С. 10–23.
10. Зинчук Н. Н. О геохимических особенностях разновозрастных образований алмазоперспективных территорий // Отечественная геология. – 2023. – № 1. – С. 42–55.
11. Зинчук Н. Н. Литолого-стратиграфические исследования при алмазопоисковых работах // Вестник СВФУ. Науки о Земле. – 2023. – № 1 (29). – С. 5–28.
12. Зинчук Н. Н. Особенности гидротермального и гипергенного изменения слюдистых кимберлитов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 32–50.

13. Зинчук Н. Н. Сульфаты в кимберлитовых породах // Отечественная геология. – 2023. – № 2. – С. 56–72.
14. Зинчук Н. Н., Афанасьев В. П. Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1998. – № 2. – С. 66–71.
15. Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д. Стратегия ведения и результаты алмазопоисковых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
16. Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
17. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдистых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
18. Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Зинчук Н. Н. Эпохи мощного корообразования в истории Земли. – Воронеж : ВГУ, 1999. – 102 с.
19. Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1228–1233.
20. Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Sibirian platform // DokladyEart Sciences. – 2015. – Т. 465, № 2. – P. 1297– 1301.
21. Serov I. V., Garanin V. K.,Zinchuk N. N., RotmanA. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Vorcanism of the Sibirian Platform // Petrology. – 2001. – Т. 9, № 6. – P. 576–588.
22. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I., Zinchuk N. N., Krasavchikov V. O. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // Jornal of Geochecal Exploration. – 2002. – Т. 76, № 2. – P. 93–112.

Зинчук Н. Н. (nnzinchuk@rambler.ru), Зинчук М. Н. (nnzinchuk@rambler.ru)
Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я), г. Мирный

О ГИПЕРГЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ ВУЛКАНОГЕННОГО МАТЕРИАЛА В АЛМАЗОНОСНЫХ РЕГИОНАХ

По результатам комплексного исследования особенностей геодинамического и гипергенного изменения вулканогенного материала как в его коренном залегании, так и при переносе в различных континентальных водоёмах построена схема преобразования минералов. В умеренных климатических условиях размыву подвергался элювиальный материал, обладающий специфическими структурно-минералогическими особенностями, сохраняющимися при недалеком и спокойном переносе, а также при накоплении в бассейнах седиментации и при последующих диагенетических изменениях.

Ключевые слова: гипергенез, вулканогенный материал, седиментогенез и диагенез.

Региональные исследования древних платформ мира свидетельствуют о длительном развитии процессов денудационного выравнивания и глубоком срезе ряда обширных территорий [1–6]. Мощные коры выветривания (КВ) образовались в эпохи длительного тектонического покоя земной коры и господствовавшего в то время климата, благоприятного для прохождения гипергенных процессов. На Сибирской платформе (СП) в домезозойское время выделяются своей продолжительностью и широким развитием на обширной территории позднепротерозойский (дорифейский) и средне-позднепалеозойский (поздний девон–ранний карбон) этапы выравнивания рельефа и эпохи корообразования. В основных алмазоносных районах СП наиболее мощные эпохи корообразования также существовали в позднедевонское-раннекаменноугольное и средне- позднетриасовое время [7–12]. Учитывая среднепалеозойский возраст кимберлитовых

тел региона, указанные эпохи являлись решающими для формирования древних россыпей алмазов. В позднем девоне–раннем карбоне породы в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе (ДААР) были размыты существенно меньше (до первых десятков метров), чем в Малоботуобинском (МБАР), что привело к различным условиям аккумуляции в терригенных отложениях эродированного алмазоносного материала. Для упомянутых алмазоносных районов характерны элювиальные образования трапповой и кимберлитовой формаций. Трапповые покровы, интрузии и силлы представлены долеритами, а также туфами, туфобрекчиями и туфогенными образованиями.

Трубки взрыва пород трапповой формации характерны для различных частей МБАР. Меньшая устойчивость туфов и туфобрекчий к процессам корообразования по сравнению с вмещающими их породами позволяет рельефно проследить на них закономерность более интенсивного развития и лучшей сохранности КВ в пределах денудационной поверхности выравнивания, территориально совпадающей с конседиментационными палеоподнятиями и их склонами по сравнению с денудационно-аккумулятивными и аккумулятивными поверхностями соответствующими палеовпадинам [13–15]. Поэтому туфобрекчии трубчатых тел на Мирнинском палеоподнятии (А-48, А-49, А-50 и др.) подверглись выветриванию на значительную глубину. Здесь под нижнеюрскими осадочными толщами и породами трапповой формации (долеритами) вскрыта КВ значительной мощности (до 90 и более метров). В отличие от этого в центральных частях Кюеляхской верхнепалеозойской впадины и Ангаро-Вилюйского мезозойского прогиба на туфах и туфобрекчиях трубок взрыва (А-200, А-220, А-400 и др.) устанавливаются только самые нижние горизонты (зоны дезинтеграции и начального выщелачивания) КВ мощностью в несколько метров. В пределах Мирнинского палеоподнятия, наряду с трубками взрыва, выветрелыми на значительную глубину, встречены трубчатые тела (А-88, А-103 и др.) со слабовыраженными процессами корообразования. Такое положение можно объяснить различной степенью переработки агломератовых туфов и туфобрекчий трубчатых тел гидротермально-метасоматическими процессами как в период их становления, так и в дальнейшем при гипергенном преобразовании. Чем интенсивнее эти породы подверглись подобной переработке, тем менее устойчивыми они становились к процессам выветривания.

Кора выветривания на туфогенных образованиях корвунчанской свиты нижнего триаса по сравнению с другими гипергенными площадными образованиями этих же территорий (КВ на терригенно-карбонатных породах и долеритах) имеет ограниченное распространение [1–6]. Такие туфогенные породы нижнего триаса сохранились от размыва в виде относительно больших полей лишь в самой северо-западной части МБАР. На остальной территории траппового плато отмечаются [1, 5] мелкие разобщенные сложных очертаний останцы этих пород, выполняющие отрицательные формы раннетриасового рельефа. Сохранившаяся мощность КВ туфогенных образований корвунчанской свиты составляет первые метры, реже достигая до 27 м. На породах корвунчанской свиты обычно сохранилась от размыва лишь нижняя зона (дезинтеграции и начального выщелачивания) КВ и только в отдельных разрезах большей мощности отмечается её более зрелая часть. Наиболее детально изучена средне-позднетриасовая КВ на туфогенных образованиях корвунчанской свиты в северной части МБАР, где мощность достигает 13 м. Перекрываются они осадочными нижнеюрскими породами мощностью до 5 м. Выветрелые породы представлены зеленовато- и желтовато-серыми или коричневыми агломератовыми туфами и туфобрекчиями. Обломочный материал (включения алевролитов, терригенно-карбонатных пород, долеритов, гравия кремнистых пород и др.) в отдельных участках составляет до половины обьема туфогенных образований. Структура материнских пород преимущественно кристалло-литовитрокластическая, псефито-псаммитовая, участками до псаммитовой. Цементирующая масса сложена изотропным пепловым материалом (бурой и грязно-бурой окраски) с обломками различных пород (траппов, алевролитов и кварцитов) и некоторых минералов.

Результаты проведенной нами [2–6] обработки с помощью кластер-анализа данных о химическом составе различных петрохимических типов пород подчеркнули, что резкие различия в их химизме наблюдаются, с одной стороны, у ультраосновных и основных разностей, а с другой, – у средних и кислых. Выветривание первично минералов первой группы (меланократовых) сопровождается выносом щелочных (Na, K) и щелочно-земельных элементов, а также

избытка Si и окислением подавляющей части Fe^{2+}, приводит к повышению лейкократовости [7–10]. Элювиальные продукты второй (лейкократовой) группы пород характеризуются увеличением их меланократовости, что связано с опережающим выносом Si по сравнению с накоплением Al. Специфическими являются особенности гипергенного и геодинамического изменения вулканогенного материала, входящего в состав различных пород. По активности главнейших обменных катионов при их взаимном замещении, они располагаются в следующем порядке: Li < Na < K < Mg < Ca < H. Это обусловливает тенденцию последовательного вытеснения из межслоевых позиций в структуре первично возникающего смектита слабо устойчивых элементов и обогащение указанных позиций по мере развития гипергенного процесса наиболее устойчивым из щелочных и щелочно-земельных катионов – Ca. Процесс гипергенного изменения долеритов начинается с развития в массивных отдельностях породы системы трещин с выделением на образованных ими поверхностях частиц основных плагиоклазов зародышей новых фаз в виде кристаллитов. Последние являются начальными фазами возникающего позднее по ним Mg-Fe^{2+}-содержащего монтмориллонита, который, как неустойчивый в зоне гипергенеза минерал, быстро подвергается частичной диоктаэдризации с образованием ди-триоктаэдрической фазы Mg-Fe^{3+}-типа. Выделяющиеся при этом избытки окисного железа обуславливают возникновение гидрогётита. За счёт Na^{+}, выделяющегося при разложении плагиоклазов, образуется Na-монтмориллонит, который в богатой Ca среде последовательно переходит в Ca-разновидность. По биотиту в окислительных условиях развивается вермикулит, который в гипергенных условиях переходит в ассоциацию вермикулита и ди-триоктаэдрического монтмориллонита, а также вермикулит-монтмориллонитовое смешанослойное образование. По мере дальнейшей диоктаэдризации последней фазы и прогрессирующего выноса щелочей и щелочных земель из продуктов деструкции Al-Fe^{3+}-монтмориллонита синтезируется каолинит. Близкий механизм гипергенного преобразования исходного материала свойственен также эксплозивным породам, которые нами комплексно изучены на примере туфов и туфобрекчий трубок взрыва этого же алмазоносного района СП. Иной агрегатный характер этих пород по сравнению с массивными долеритами обусловливает повышенную интенсивность промывного режима вулканогенного материала и соответственно более высокую скорость его преобразования. Это обьясняется быстрым течением процесса диоктаэдризации первично возникающих слоистых силикатов, а также ранним появлением в профиле коры выветривания (КВ) каолинита.

Сравнение кинетики как преобразования минералов группы смектитов и смешанослойных образований, так и возникновение каолинита в профилях КВ различных петрохимических типов пород показывает [11–14], что в элювии ультраосновных и основных пород смектит и смешанослойные образования сохраняются более длительное время, чем в средних и кислых. Это связано с выносом из профилей КВ первой группы Mg, переходаFe^{2+} в оксиды и гидроксиды Fe^{3}, преобразования первичного триоктаэдрического смектита в диоктаэдрическую разновидность. Сапонит, возникающий по Mg-Fe-минералам, а также монтмориллонит, образующийся по относительно гомогенным плагиоклазам ультраосновных и основных пород, обладают более высокой степенью упорядоченности структуры по сравнению с одноименными минералами развивающимися по более гетерогенным плагиоклазам, свойственным средним и кислым породам. Соответствующая степень упорядоченности структуры три- или диоктаэдрического смектита наследуется также и в процессе дальнейшего преобразования по нему каолинита. Следует заметить, что в субтропических и в тропических климатических поясах как метастабильная фаза широкое развитие получают каолинит-монтмориллонитовые смешанослойные образования с подчиненным содержанием разбухающих слоев [15]. Эти фазы приурочены к продуктам гипергенного изменения различных в гетерогенном отношении основных и средних изверженных пород как интрузивного, так и эксплозивно-эффузивно-экструзивного типа. В этом случае при условии интенсивного промывного режима по образовавшимся в профилях выветривания реакционно активным, преимущественно разбухающим минералам, особенно с триоктаэдрическим мотивом заполнения октаэдрических позиций в их структуре, возникает указанная смешанослойная фаза. При выветривании туфов и туффитов, начиная с нижних горизонтов, нередко возникает смектит Al-Fe^{3+}, т. е. монтмориллонит. Значительно меньшее содержание в средних и кислых породах Mg и Fe^{3+} определяет большее развитие в профилях выветривания по монтмориллониту каолинита, вплоть до полного исчезновения разбухающего

минерала в верхних горизонтах элювиальной толщи. Существенное значение в областях нивального климата имеет также биохимическое изменение вулканических пород. Отмеченное выше сближение как химического состава [4], так и минералогических особенностей гипергенных продуктов к верхам элювиальных толщ показывает, что диагностическими являются их средние горизонты. Поэтому по различным ассоциациям в них гипергенных минералов можно определять петрохимический тип исходных, т. е. подвергшимся выветриванию пород. Образующийся в профилях КВ элювий при перестройке тектонического плана территории подвергается денудации. Переотлагающиеся продукты в зависимости от тектоно-морфологического и гидрохимического характера областей осадконакопления в дальнейшем могут входить в состав различных осадочных формаций (главным образом терригенная – платформенная и геосинклинальная субформации, а также терригенно-карбонатная формации), в которых элювиальный материал накапливается либо в разуплотненном состоянии, либо в виде формации переотложенных КВ.

Таким образом, анализ полученных данных по результатам изучения КВ на туфах и туфобрекчиях трубчатых тел, а также туфогенных образованиях корвунчанской свиты показал отсутствие четкой зональности и их строения даже в профилях большой мощности. Несмотря на кажущуюся однородность этих толщ, рентгенографические, электронографические и электронно-микроскопические исследования позволили существенно детализировать установленные закономерности формирования продуктов выветривания. В отличие от КВ на таких полнокристаллических и монолитных породах как долериты (которые близки по составу с туфогенными брекчиями) в КВ туфов и туфогенных пород отмечается значительно большая дисперсность глинистых образований, что можно объяснить дискретностью материнских пород, представленных агрегатами мелких обломков пород и вулканического стекла. Это обеспечивало интенсивное промывание (особенно в трубчатых телах) и вынос уже на первых стадиях выветривания Ca и Mg, а также окисление Fe^{2+}. Обеднение пород Mg и Fe^{2+} связано в основном с разложением хлорита. При этом в нижних частях профилей выветривания (т. е. на ранней стадии преобразования пород) по первичным железистым минералам (магнетит и др.), содержащим в основном двухвалентное железо, развиваются псевдоморфозы в виде безводного оксида Fe – гематита. Выше по разрезу последний переходит в наиболее устойчивый в гипергенных условиях гидроксид Fe – гётит. При окислении Fe^{2+} в структуре хлорита и разложении последнего вначале возникает гематит, который по мере усиления выветрелости пород также переходит в гётит. Биотит последовательно трансформируется в парагенетическую ассоциацию вермикулита и монтмориллонита. Последний на ранних этапах выветривания в связи с наличием в структуре преимущественно Mg и Fe^{3+} близок к ди-триоктаэдрическому типу. Проведенными исследованиями показано, что первичный вулканогенный материал, испытывающий существенное изменение в полных профилях КВ под действием гипергенных процессов, в значительной мере теряет присущие ему специфические свойства, сближаясь с продуктами изменения пород самого различного генезиса. Однако в умеренных климатических поясах, при неполных профилях КВ, нередко геодинамическим воздействиям и размыву подвергается элювиальный материал, соответствующий средним (и даже нижним) горизонтам элювиальных толщ, которые четко отражают физико-химическую и минералогическую природу исходных пород. Вследствие этого, поступающий из областей снова вулканогенный материал, попадая в пресные континентальные водоёмы, обычно сохраняет первичные структурно-морфологические свойства первичных минералов, особенно при недалеком и спокойном их переносе. Размыв и перенос временными водными потоками и постоянными речными артериями первичного пирокластического материала приводит к определенной его деградированности, позволяющей уверенно отличать такие продукты от вновь образованных аутигенных выделений, возникших под действием седиментационных и диагенетических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 1998. – Т. 361, № 3. – С. 366–369.

2. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логинова А. М. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138, № 2. – С. 1–13.
3. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2000. – № 3(9). – С. 37–55.
4. Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Т. Особенности минерагении алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М. : Мирнинская городская типография, 2004. – 172 с.
5. Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д. Стратегия ведения и результаты алмазопоисковых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
6. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н. Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
7. Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
8. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдистых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
9. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1997. – № 2. – С. 53–63.
10. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76., № 1. – С. 45–53.
11. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
12. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
13. Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1228–1233.
14. Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Sibirian platform // DokladyEart Sciences. – 2015. – T. 465, № 2. – P. 1297–1301.
15. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Vorcanism of the Sibirian Platform // Petrology. – 2001. – T. 9, № 6. – P. 576–588.

Зубова Т. П. (zubova@tsnigri.ru), Краснов А. Н. (krasnov@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ЗОЛОТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

В тезисах проанализированы материалы за последние 7–8 лет по завершенным поисковым работам на золотоносные коры выветривания. Отмечается, что успешность их проведения напрямую зависит от методики проведения опробования, геохимических и минералогических работ на объектах.

Ключевые слова: кора выветривания, золото.

Анализ результатов работ на геологических объектах по поиску и оценке золотоносных кор выветривания за последние 7–8 лет показал, что идет систематическое невыполнение задачи по оценке прогнозных ресурсов золота. В связи с этим были проанализированы материалы по объектам поисковых работ на золотоносные коры выветривания (ЗКВ).

Основная проблема во многих случаях связана с недоучетом степени преобразования золоторудной минерализации в зоне гипергенеза. В остаточной коре выветривания, в ее верхних горизонтах (зоне гидролиза) полностью меняется облик рудной минерализации; в нижних горизонтах (зонах дезинтеграции, гидратации и выщелачивания) еще сохраняются остаточные признаки (минералогические, геохимические), позволяющие определить тип оруденения и как следствие класс крупности золота. В зоне гипергенеза могут оказаться первичные руды разных формационных типов, содержащие золото от тонкодисперсного до крупного. Часто Исполнители сталкиваются с проблемой недостоверного получения содержаний, как правило, заниженных. Стандартными методами анализов керновых и бороздовых проб являются: золото-спектральный и пробирный. На минералогический анализ в основном отправляются пробы из покровных отложений. При этом не учитывается, что в коре выветривания происходит раскрытие минеральных срастаний, высвобождение золота, которое может укрупняться при определенных условиях и не попадать в анализируемую навеску. Обратной ситуацией является проведение только минералогического анализа по промытым керновым и бороздовым пробам. При наличии в них значительного количества тонкого золота размером -0,15 мм возможны его потери за счет смыва в хвосты промывки.

Приведем несколько примеров, которые продемонстрируют вышесказанное.

Колбихинская площадь (Томская область). В пределах объекта работ широко развиты линейно-площадные коры выветривания палеогенового возраста, формирующиеся по терригенным черносланцевым отложениям, сильно дислоцированным, метаморфизованным в зонах тектонических нарушений, вдоль которых локализуются многочисленные дайки, силлы разного состава, с которыми ассоциируют проявления золоторудной минерализации штокверкового золото-кварцевого типа. Мощность площадной коры выветривания составляет 5–10,0 м, в линейных тектонически ослабленных зонах 30–70,0 и более метров. Кора выветривания состоит из пестроцветного щебнисто-песчано-глинистого материала, с обилием дресвы кварца при развитии ее по зонам окварцевания и кварцевого прожилкования Остаточная кора выветривания перекрыта продуктами ее перемыва – пестроцветными отложениями с обломками пород разной степени окатанности, мощность их может достигать 20,0 м, в среднем 6,0 м.

Результатом проведенных Исполнителем работ явилось выделение в пределах Колбихинской площади Малоушайской зоны с остаточными золотоносными корами выветривания со средним содержанием золота 1,05 г/т. Золото в коре выветривания – свободное мелкое и очень мелкое, часто находится в срастании с кварцем.

Для определения содержаний золота керновых и бороздовых проб был использован масс-спектрометрический анализ (ICP MS). Из интервалов с предполагаемой золоторудной минерализацией (обилие дресвы кварца) отбирались пробы на минералогический анализ. *Сопоставление результатов химического и минералогического анализов установило, что наблюдается занижение содержаний металла по результатам химанализа.* В минералогических пробах могли присутствовать до сотни частиц мелкого золота, значение содержаний по ICP MS составляли < 0,1 г/т.

Ольгинская площадь (Кемеровская область). По результатам проведенных поисковых шлихо-геохимических работ был локализован перспективный участок Березовый, в пределах которого выявлены комплексные минералого-геохимические аномалии, отвечающие проявлению в коре выветривания другого, ранее не известного на данной территории типа золоторудной минерализации: прожилково-вкрапленной золото-пирит-арсенопиритовой, приуроченной к тектоническому контакту вулканогенных и карбонатных пород. Пройденные для заверки минералого-геохимических аномалий горно-буровые выработки подтвердили наличие золоторудной минерализации в коре выветривания и продолжении ее в коренные породы. Были вскрыты остаточная линейно-трещинная в сочетании с контактово-карстовой коры выветривания с содержаниями золота от 0,5 до 4,5 г/т. В связи с окончанием работ, оруденение было уста-

новлено только по одному сечению, в связи с чем оценка ПР золота на участке Березовый была выполнена по категории P_2. Выделение этого перспективного участка стало возможным за счет применения минералогического анализа шлиховых проб, отобранных по профилям вкрест простирания предполагаемых минерализованных зон, приуроченных в данной ситуации к контакту вулканогенных и карбонатных пород. В шлиховых пробах присутствовали: обломки пород с признаками гидротермально-метасоматических изменений, отвечающих проявлению серицитизации, альбитизации, а также полуокисленный пирит, агрегаты гидроксидов железа, знаки азурита. Спектральный анализ шлиховых проб на золото и рудогенные элементы выявил в них высокие содержания золота, мышьяка, меди, свинца, серебра.

По результатам опробования на другом участке Ольгинской площади – Южно-Ольгинском – было установлено несовпадение результатов пробирного и минералогического анализов, что было связано с присутствием свободного самородного золота разных классов крупности. Заверка этих результатов пробирным анализом с предварительным гравитационным концентрированием показала увеличение содержаний в ряде проб на порядок.

Укырская площадь (Республика Бурятия). Наиболее перспективным в пределах площади оказался участок Сохай. В его геологическом строении принимают участие палеозойские осадочные и вулканогенно-осадочные породы олдындинской свиты нижнего кембрия, прорванные интрузивными гранитоидными телами Витимканского комплекса, раннепалеозойского возраста, с внедрением которого связано формирование железорудной и полиметаллической минерализаций. На участке исследования потенциально золотоносная железорудная минерализация представлена линзовидными телами пирротин-магнетитового состава.

В пределах всей площади широко развита остаточная линейно-площадная кора выветривания неполного профиля. Сохранились нижний (зона дезинтеграции) и средний (зона гидратации и выщелачивания) горизонты.

Исполнителями были выявлены участки в коре выветривания, где присутствовало золото гравитационных классов крупности, размером 0,25–0,7 мм. Бороздовые и керновые пробы они анализировали только золото-спектральным анализом, заверяя значения > 0,1 г/т пробирным. При этом на северном фланге перспективного участка Сохай в зоне выветривания железорудного тела при опробовании канавы были выявлены в значительном количестве дезинтегрированные прожилки кварца. В этих интервалах в шлиховых пробах присутствовало самородное золото крупнее 0,25 мм, при этом содержания золота по результатам химико-спектрального и пробирного анализов иногда различались между собой. В пробах с самородным золотом результаты золото-химико-спектрального и пробирного анализов низкие. Так, в пробе с шестью знаками золота размером более 0,5 мм золото-химико-спектральный анализ показал содержание 1,9 г/т, пробирный – 0,14 г/т, что скорее всего связано с непопаданием золотин в навеску анализа. Из пробы с одной мелкой частицей спектральный анализ показал при этом значение > 2 г/т, пробирный 0,2 г/т.

При работах в южной части участка Сохай, где преобладает тонкое золото, которое концентрируется в гидроксидах железа и алевро-пелитовой фракции, сходимость результатов спектрального и пробирного анализов высокая, достигает 97 %.

Приведенные данные показывают, как использование аналитических методов без учета форм нахождения золота и его гранулометрии может привести к занижению и недостоверным содержаниям по золоту, при том, что остальные виды работ (геофизические, горно-буровые) выполнены качественно, в соответствии с Т(Г)З.

При расхождении результатов химического и минералогического анализов необходимо заверить их пробирным анализом с предварительным гравитационным концентрированием либо мокрым отсевом крупного золота. Оба эти анализа учитывают формы нахождения золота в пробах и дают наиболее достоверные значения содержания золота.

Положительным примером по выявлению ЗКВ являются работы, проводимые на Урале в пределах Вилюйской, Шумейской, Режевской площадях (Свердловская область). При опробовании ЗКВ использовалось комплексирование разных видов анализов: химических (золото-спектральный, атомно-абсорбционный, пробирный) с минералогическим. Пробы из коры выветривания промывались с целью выявления свободного мелкого золота, которое не всегда

улавливается перечисленными выше химическими анализами, в связи с непопаданием золотин в навеску.

В целом сложности, связанные с выявлением рудных интервалов в коре выветривания можно объяснить следующими причинами:

- за счет гипергенных преобразований первичные руды теряют свои первоначальные свойства; происходит высвобождение самородного золота; тонкое и тонкодисперсное может концентрироваться как в алевро-пелитовой фракции, так и в оксидах-гидроксидах железа, марганца;
- присутствие в пробах золота разной крупности усложняет процесс определения содержаний золота, что требует применения комплексного использования аналитических методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Риндзюнская Н. М., Зубова Т. П., Голенев В. Б. [и др.] Геолого-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений золота в корах выветривания // Науч. ред. А. И. Иванов. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 162 с.

Иванов А. И. [1], Трушин С. И. [2]
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва,
[2] АО «Полиметалл», г. Санкт-Петербург

ПОЛИГЕННОЕ И ПОЛИХРОННОЕ ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ СРЕДНЕГО УРАЛА — ЗОЛОТОНОСНЫЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрена этапность золотого рудообразования, определен его полигенный и полихронный характер. Охарактеризованы гидротермально-метасоматические процессы разных этапов коллизионной эпохи развития региона и их золотоносность.

Ключевые слова: Средний Урал, золоторудные месторождения, полигенные и полихронные, гидротермально-метасоматические процессы, этапы золотонакопления.

В последние годы геологоразведочными работами АО «Полиметалл» на Среднем Урале выявлено несколько золоторудных месторождений, в процессе изучения которых установлено, что они формировалось длительно и золотонакопление началось в конседиментационную эпоху при формировании осадочно-вулканогенных образований и продолжалось при коллизионных процессах. Таким образом золотое оруденение является полигенным и полихронным.

Так, в конседиментационную эпоху (ордовик–ранний девон?) первичное обогащение вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород золотом и элементами-спутниками могло осуществляться, как полагают ряд исследователей, на этапе их формирования за счет подводного флюидопотока при вулканических и субвулканических процессах и (или) из зон конседиментационных глубинных разломов. Подтверждением этого служит широко проявленное в вулканогенно-осадочных образованиях этого возраста на Урале колчеданное, в том числе золотосодержащее оруденение.

В коллизионную (ранне-среднедевонскую) эпоху проявились этапы линейного складкообразования, метаморфических преобразований и завершающего магматизма. При линейном складкообразовании в позднескладчатый этап при активизации продольных (субмеридиональных) глубинных разломов фундамента в складчатом чехле заложились в крыльях и ядерных частях мегаантиклиналей зоны складчато-разрывных деформаций (ЗСРД), в пределах которых проявилась железо-магнезиальная карбонатизация («бурошпатизация») первого этапа. Предполагается, что, по аналогии с известными золотоносными районами [2], с этим гидротермально-метасоматическим процессом связано обогащение бурошпатизированных пород («березиты-1») золотом и мышьяком как за счет привноса из мантии при проявлении С-флюидного метасоматоза [1], так и при их мобилизации из вмещающих пород в нижних частях «колонны» ЗСРД с локализацией ее в верхних частях в благоприятных *PT*-условиях.

Следующий, уже, очевидно, рудноподготовительный, этап связан с активизацией продольных глубинных разломов в качестве сдвигов с изменением во времени направлений перемещений блоков. Он проявился в постмагматический этап после внедрения пород первой и второй фаз ауэрбаховского комплекса и его возрастных аналогов. Именно в этот этап в швах продольных субмеридиональных и оперяющих северо-восточных разломов формировались зоны альбит-кварц-мусковит-(хлорит)-анкеритовых метасоматитов второго этапа («березиты-2»), обогащенных, по аналитическим данным АО «ЗСУ», серебром, мышьяком и, вероятно, золотом (при чувствительности анализов на золото в 0,1 г/т это не устанавливается, а по данным из других регионов, обогащение бурошпатизированных пород при подобных процессах происходит на уровне сотых долей г/т).

Завершающий этап рудообразования – формирование собственно рудных зон – связан с активизацией деформаций и гидротермально-метасоматических преобразований в зонах рассланцевания и дробления в швах разломов, вмещающих «березиты-2», в постмагматический этап для гранодиоритов третьей фазы ауэрбаховского комплекса (правильнее, по-видимому, его относить к самостоятельному постауэрбаховскому комплексу) и их возрастных аналогов. При этом, при активизации деформаций в ЗСРД в термальном ореоле массивов гранодиоритов (в том числе не вскрытых эрозией) в *PT*-условиях «зоны хлорита и мусковита», при рассланцевании и дроблении «березитов-2» и перераспределении золота и элементов-спутников и его локализации в структурных и «температурных» ловушках формировались рудные зоны. Этот процесс происходил, вероятно, с участием постмагматических и, учитывая значительный привнос серы и мышьяка, глубинных флюидов.

В связи с вышесказанным, при прогнозировании новых золоторудных месторождений на Среднем Урале на основе составления их прогнозно-поисковых моделей, необходимо учитывать полигенность и полихронность их формирования и, соответственно, определять специфику проявления тех или иных рудоконтролирующих факторов на разных этапах золотонакопления [3]. А учитывая значительную «закрытостью» территории Среднего Урала, его перспективы на выявление новых месторождений рудного золота на основе охарактеризованных закономерностей представляются весьма значительными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Летников Ф. А. Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования / Смирновский сборник-99. – М. : МГУ, 1999. – С. 63–98.
2. Иванов А. И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
3. Иванов А. И. Прогнозно-поисковые модели полихронных и полигенных золоторудных месторождений – особенности создания и представления // XII Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» : сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – С. 160–163.

Иванов А. С. [1] (Ivanov_AS6@pers.spmi.ru), Специус З. В. [2] (spetsiuszv@gmail.com)
[1]Горный Университет, г. Санкт-Петербург;
[2]ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

СОСТАВЫ ОСНОВНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ ПИРОПОВ НА ПУЗЫРЬКОВОЙ БИНАРНОЙ ДИАГРАММЕ: ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Гранаты относятся к числу ведущих типоморфных минералов большинства мантийных парагенезисов в кимберлитах и в большинстве случаев представлены пироповым компонентом. Пиропы наиболее информативны и наиболее изучены как представители перидотит-пироксенитовых и эклогитовых пород мантийного происхождения, являющихся материнским субстратом, в котором образовались алмазы. Их составы и свойства широко используются для решения

генетических и петрологических задач, а также для оценки потенциальной алмазоносности при поисковых работах на алмазы. На основании изучения составов пиропов из различных по уровню алмазоносности кимберлитовых трубок предложен новый графический образ диаграмм, которые более достоверно демонстрируют характеристики состава гранатов. В работе приведены бинарные (пузырьковые по окиси натрия) диаграммы составов пиропов в координатах [MgO/(MgO+FeO)]–MnO для четырех кимберлитовых трубок Якутской алмазоносной провинции.

Ключевые слова: кимберлиты, пиропы, перидотиты, пироксениты, эклогиты, пузырьковые диаграммы.

Введение. Гранаты относятся к числу ведущих типоморфных минералов большинства мантийных парагенезисов в кимберлитах и в большинстве случаев представлены пироповым компонентом. Кроме этого, несомненно, что пиропы наиболее информативны и наиболее детально изучены как представители перидотит-пироксенитовых и эклогитовых пород мантийного происхождения, являющихся материнским субстратом, в котором образовались алмазы, а также ксенокристы в кимберлитах и включения в алмазах соответствующих парагенезисов. Их составы и свойства широко используются для решения генетических и специальных петрологических задач, а также для оценки потенциальной алмазоносности при поисковых работах на алмазы. Существующие на сегодняшний день диаграммы составов пиропов (Н. В. Соболев, 1974) и ряда других авторов [2–5] не дают однозначного ответа об уровне содержания алмазов в кимберлитах. На основании изучения составов пиропов из различных по уровню алмазоносности кимберлитовых трубок появилась возможность разработать инновационный графический образ диаграмм, которые более качественно демонстрируют характеристики по изученным составам гранатов и, соответственно, обеспечивают более достоверную оценку алмазоносности содержащих их кимберлитов.

Результаты. Нами построены бинарные (пузырьковые по окиси натрия) диаграммы составов пиропов в координатах [MgO/(MgO+FeO)]–MnO для четырех кимберлитовых трубок Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). При этом подчеркнем, что для этих целей специально были использованы данные по составам гранатов из трубок с разным уровнем алмазоносности. В частности, в этой работе нами представлен вариант новых диаграмм составов пиропов из трубок Ботуобинская и Юбилейная, являющихся, соответственно, высоко- и среднеалмазоносными месторождениями (рис. 1). На всех диаграммах составы пиропов пересчитаны на кла-

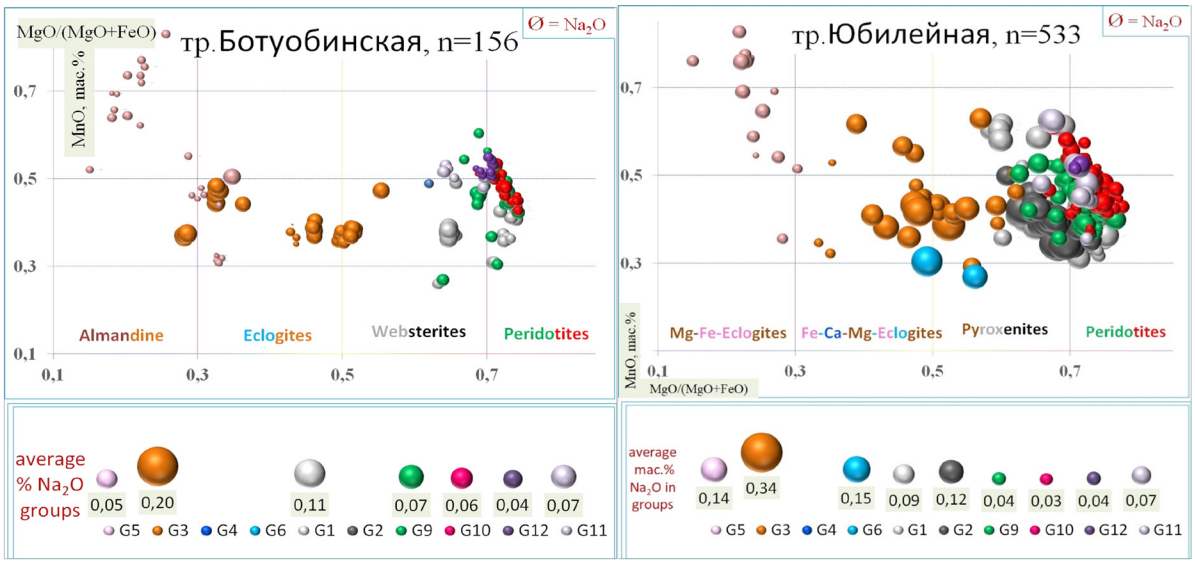


Рис. 1. Пузырьковые диаграммы окиси натрия для составов пиропов трубок Ботуобинская и Юбилейная, где на верхней части диаграмм показаны составы пиропов в координатах [MgO/(MgO+FeO)]–MnO и на нижней – кластерные группы (КГ), по Dawson J. B., Stephens W. E. [3], и средние массовые содержания Na_2O для КГ составов пиропов

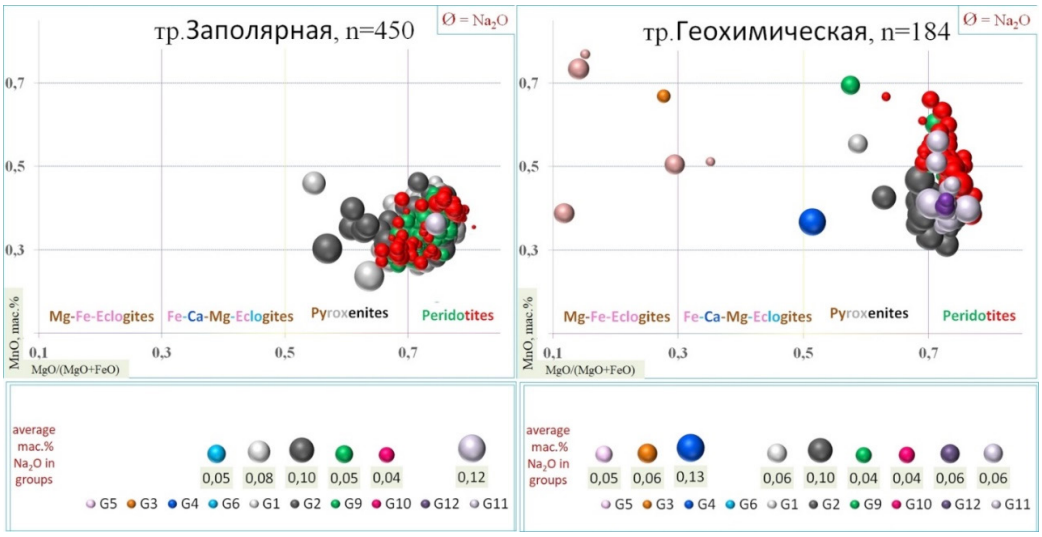


Рис. 2. Пузырьковые диаграммы окиси натрия для составов пиропов низкоалмазоносной трубки Заполярная и убого алмазоносной трубки Геохимическая

стерные группы (КГ) по классификации Dawson J. B. And Stephens W. E. [3], в легенде графиков обозначены их номерами и цветовыми гаммами. На диаграммах содержания окиси натрия в зернах пиропов показаны диаметром фигуративной точки. Ось X на диаграммах соответствует коэффициенту магнезиальности и вычисляется по соотношениям в составах зерен пиропов – Mg/(MgO+FeO). Ось Y отвечает массовому содержанию в зернах пиропов окиси марганца – MnO. Отметим, прежде всего, что на диаграммах обеих трубок фиксируется широкая распространенность как перидотит-пироксенитовых, так и эклогитовых парагенезисов пиропов, а также присутствие практически всех кластерных групп по [3]. Эта закономерность характерна для подавляющего большинства кимберлитовых тел, относящихся к месторождениям с высоким содержанием алмазов. Ранее было отмечено, что повышенные содержания окиси натрия характерны для пироксенитовых и эклогитовых парагенезисов пиропов для алмазоносных кимберлитов [1–5], эта закономерность просматривается на приводимых ниже диаграммах.

Характерной особенностью для кластерных групп составов пиропов на диаграмме трубки Ботуобинская является преобладание окиси натрия в КГ – G1, G2, G3, G4 над остальными более магнезиальными КГ составов пиропов. Такая же картина отмечена и в составах пиропов тр. Юбилейная, где более выражены эти различия соотношений по окиси натрия для выше перечисленных кластерных групп (см. рис. 1).

Ниже на рис. 2 приведены две аналогичные диаграммы составов пиропов для трубок Заполярная и Геохимическая, но в данном случае трубка Заполярная является низкоалмазоносной, а Геохимическая и вовсе – убогоалмазоносной. Соответственно, в популяциях гранатов из этих трубок редки или практически полностью отсутствуют пиропы эклогитовых ассоциаций.

На полученных диаграммах наблюдаются противоположные значения роста средних содержаний окиси натрия для составов пиропов G6-G1-G2 пироксенитовых парагенезисов для тр. Заполярная – (0,05 %–0,08 %–0,10 %), а для составов пиропов трубки Геохимическая G5-G3-G4 эклогитовых парагенезисов – (0,05 %–0,06 %–0,13 %).

Выводы. Представленные нами диаграммы химического состава пиропов показывают полную картину особенностей основных парагенезисов составов пиропов. Подтверждено, что повышенные содержания окиси натрия характерны для пироксенитовых и эклогитовых парагенезисов составов пиропов для алмазоносных кимберлитов. Когда ультраосновной расплав (обедненный натрием) захватывает пироксенитовые и эклогитовые слои, в нем кристаллизуются минеральные зерна пиропов, обогащенные окисью натрия. При формировании кимберлита трубки Юбилейная ультраосновной расплав захватил большой слой эклогитовых пород, в результате этого на диаграммах фиксируется, что пиропы из ультраосновного расплава захватили и больше натрия, что отражается большим размером фигуративных точек анализов зерен пироповв перидотитовом поле. Для составов зерен пироксенитовых парагенезисов пиропов

из кимберлита трубки Заполярная содержания марганца низкие, а магния при этом высокие. Это позволяет сделать вывод, что алмазоносный пироксенитовый слой под трубкой Заполярная был расположен на больших глубинах, чем на показанных выше других диаграммах составах пиропов из сравниваемых кимберлитовых трубок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Иванов А. С. Статистический анализ индикаторных минералов кимберлитов. Труды XIII Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской сессии. – Апатиты : КНЦ РАН, 2017. – С. 172–181.
2. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.
3. Dawson J. B. and Stephens W. E. Statistical analysis of garnets from kimberlites and associated xenoliths // Journal of Geology. – 1975. – V. 83, № 5. – P. 589–607.
4. Gurney J. J. A correlation between garnets and diamonds in kimberlites, in Kimberlite occurrence and origin, edited by J. E. Glover and P. G. Harris: University of Western Australia, Geol. Dept., Publ. – 1984. – № 8. – P. 143–166.
5. Mitchell R. H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology. – New York: PlenumPress, 1986. – 442 p.

Иванова О. А. (ivanova@igm.nsc.ru), Афанасьев В. П. (avp-diamond@mail.ru), Похиленко Н. П. (chief@igm.nsc.ru)

ИГМ СО РАН им. В. С. Соболева, г. Новосибирск

ОНТОГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛМАЗОВ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СНЭП ЛЕЙК (КРАТОН СЛЕЙВ, КАНАДА)

По результатам изучения алмазов из месторождения Снэп Лейк выделены четыре этапа их онтогенеза, связанных с различными условиями существования от глубинных обстановок до завершения формирования кимберлитового тела.

Ключевые слова: алмаз, алмаз в «оболочке», Снэп Лейк, онтогенез, морфология алмаза, пластическая деформация, пятна пигментации, морфология алмаза.

Благодаря тому, что алмаз является чрезвычайно физико-химически устойчивым минералом, он в своих структурных особенностях сохраняет информацию о всех этапах его онтогенеза [3]. Изучение морфологии и внутреннего строения алмазов потенциально может помочь восстановить их историю роста [1, 2, 7].

Проведено комплексное изучение представительной выборки алмазов (200 кристаллов) из месторождения Снэп Лейк. Работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Среди изученных алмазов из кимберлитовых даек Снэп Лейк встречаются октаэдры, шпинелевые двойники, кристаллы переходной формы, ромбододекаэдроиды, кубоиды, алмазы в «оболочке», различные сростки.

Октаэдрические кристаллы. Алмазы октаэдрического габитуса и переходных форм чаще всего бесцветные или имеют светло-серый оттенок. На большинстве граней таких алмазов присутствуют обратнопараллельные треугольные углубления с плоским дном, которые являются результатом природного травления в гипогенных условиях [4, 6]. На поверхности кристаллов часто встречаются пятна пигментации, в некоторых случаях они образуют скопления. Также отмечены кристаллы со сплошным поверхностным зеленым или цвета морской волны окрашиванием. На октаэдрах часто встречаются реликты «оболочки».

Алмазы в «оболочке». Алмазы в «оболочке» широко распространены среди алмазов месторождения Снэп Лейк: их доля составляет около 30 % [12]. Алмазы в «оболочке» характеризуются бесцветным прозрачным октаэдрическим ядром и непрозрачной или полупрозрачной белой,

серой или окрашенной в желто-зеленый цвет дефектной оболочкой волокнистого строения. Толщина «оболочки» значительно варьирует: она изменяется от едва заметной пленки до массивной корки, составляющей 1/3 поперечника алмаза. Поверхности алмазов в «оболочке» также характеризуются наличием обратнопараллельных тригонов: на «оболочках» тригоны более мелкие, чем на гранях алмазов октаэдрического габитуса, и имеют массовое распространение по плоскости «оболочки». На поверхности «оболочек» также наблюдаются зеленые пятна пигментации. Реликты «оболочек» иногда наблюдаются на гранях октаэдрических кристаллов – часто образуются углубления с вертикальными стенками, распространяющиеся до самой ядерной части. Причем сама ядерная часть никаких признаков травления не обнаруживает.

Кубоиды. Алмазы кубического габитуса из месторождения Снэп Лейк встречаются реже, чем кристаллы октаэдрического габитуса. Они отличаются янтарно-желтой, зеленой или серой окраской. Кристаллы алмаза кубического габитуса характеризуются неровной бугорчатой поверхностью, близкой к плоскостям {100}. На поверхности граней наблюдаются четырехугольные углубления, являющиеся фигурами травления [4, 6].

По результатам исследований фиксируются четыре этапа онтогенической истории алмазов из месторождения Снэп Лейк.

Первый этап – медленный рост кристаллов октаэдрического габитуса в мантийном протокимберлитовом расплаве. Рост монокристалла алмаза происходил послойно и зонально вокруг локальной центральной зоны. Области кристалла имеют четкую плоскопараллельную зональность по октаэдру. Высокая степень агрегации азота свидетельствует о нахождении таких алмазов в области высоких температур и/или длительном пребывании в условиях мантии [11]. Наличие включений граната с примесью мэйджоритового компонента в таких кристаллах подтверждает факт кристаллизации алмазов из месторождения Снэп Лейк на глубинах не менее 300 км [5, 9, 10]. Повышенное содержание примеси K_2O (> 0,5 мас. %) во включениях клинопироксена также указывает на высокобарические условия кристаллизации алмазов [8].

Второй этап – одновременный рост алмазов кубического габитуса и нарастание «оболочек» на уже сформированные октаэдрические алмазы при высоких пересыщениях ростовой среды по мере снижения температуры [1]. Образование «оболочек» и кубоидов характеризуется высокой скоростью роста: алмаз при таких условиях захватывает примеси как в виде включений, так и в виде структурных дефектов. Области таких кристаллов, отображенные в катодолюминесцентных снимках, в сечениях имеют волнистую зональность.

Третий этап – растворение алмазов в кимберлитовом расплаве. Растворение приводило к изменению габитуса кристаллов (от переходного до додекаэдрического) и их рельефа (образование сноповидной штриховки на гранях). Растворение кристаллов алмаза сопровождалось развитием характерных обратнопараллельных треугольных и квадратных впадин на поверхности их граней. Стравливание «оболочек» вероятнее всего происходило на этом же этапе вплоть до полного их уничтожения. Легкое разрушение «оболочек» и их нестабильность позволяют полагать, что многие алмазы имели «оболочку», но в разной степени потеряли ее при взаимодействии с кимберлитовым расплавом.

Четвертый этап – постмагматические изменения, связанные с появлением зеленых пятен пигментации и окраски цвета морской волны. Причиной их появления служит контакт алмаза с зернами радиоактивных минералов (монацит, торит, ксенотим), которые могли содержаться в древних гранитоидах, прорванных кимберлитовыми дайками Снэп Лейк. Очевидно, что облучение радиоактивными элементами имело место на постмагматическом этапе после образования кимберлитового тела.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что алмазы месторождения Снэп Лейк отражают длительную историю от зарождения на глубине около 300 км до попадания на дневную поверхность.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400157-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бескрованов В. В. Онтогения алмаза. – М. : Наука, 1992. – 165 с.
2. Григорьев Д. П. Онтогения минералов. – Л. : Наука, 1968. – 95 с.

3. Евдокимов М. Д., Ладыгина М. Ю., Нестеров А. Р. Морфология природных алмазов и механизм ее формирования // Уральский геологический журнал. –2000. – Т. 16. – № 4. – С. 9–43.
4. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. Изд. 2-е. – М. : Наука, 1984. – 263 с.
5. Похиленко Н. П., Соболев Н. В., Мак-Дональд Дж. А., Холл А. Е., Ефимова Э. С., Зедгенизов Д. А., Логвинова А. М., Реймерс Л. Ф. Кристаллические включения в алмазах из кимберлитов района Снэп-Лейк (кратон Слэйв, Канада): новые свидетельства аномального строения литосферы // Доклады РАН. – 2001. – Т. 380, № 3. – С. 374–379.
6. Чепуров А. И., Федоров И. И., Сонин В. М. Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1997. –197 с.
7. Afanasiev V. P, Ugapeva S. S., Babich Y. V., Sonin V. M., Logvinova A. M., Yelisseyev A. P., Goryainov S. V., Agashev A. M., Ivanova O. A. Growth Story of One Diamond: A Window to the Lithospheric Mantle // Minerals. – Vol. 2, № 8. – P. 1048.
8. Harlow G. E., Davies R. Status report on stability of K-rich phases at mantle conditions // Lithos. – 2004. – Vol. 77, №. 1–4. – P. 647–653.
9. Ivanova O. A., Logvinova A. M., Pokhilenko N. P. Inclusions in diamonds from Snap Lake kimberlites (Slave Craton, Canada): Geochemical features of crystallization // Doklady Earth Sciences. – 2017. – Vol. 474. – P. 490–493.
10. Pokhilenko N. P., Sobolev N. V., Reutsky V. N., Hall A. E., Taylor L. A. Crystalline inclusions and C isotope ratios in diamonds from the Snap Lake/King Lake kimberlite dyke system: evidence of ultradeep and enriched lithospheric mantle // Lithos. – 2004. – Vol. 77. – P. 57–67.
11. Taylor W. R., Jaques A. L., Ridd M. Nitrogen-defect aggregation characteristics of some Australasian diamonds; time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds // American Mineralogist. – 1990. – Vol. 75, № 11–12. – P. 1290–1310.
12. Yelisseyev A. P., Pokhilenko N. P., Steeds J. W., Zedgenizov D. A., Afanasiev V. P. Features of coated diamonds from the Snap Lake/King Lake kimberlite dyke, Slave craton, Canada, as revealed by optical topography // Lithos. – 2004. – Vol. 77. – P. 83–97.

Игнатов П. А. [1] (petrignatov@gmail.com), Еременко Р. У. [1], Толстов А. В. [2], Овчинников И. М. 3, Илларионов П. Н. [3]

[1] ФГБОУ ВО «МГРИ», г. Москва,
[2] ИГАБМ СО РАН, г. Якутск,
[3] АК АЛРОСА (ПАО), г. Мирный

НЕОДНОРОДНОСТЬ ФОНА Cr, Ni, Co, V, Sc, Zn, Ba, Sr, Zr В НЕИЗМЕНЕННЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ НИЖНЕГО ПАЛЕОЗОЯ, ВМЕЩАЮЩИХ КИМБЕРЛИТЫ МАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И СЮЛЬДЮКАРСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ АЛМАЗОВ ЯКУТИИ

В последние десятилетия геохимический метод поисков коренных алмазных месторождений в Якутии применяется на закрытых территориях по керну поисковых скважин. При этом обнаруживаются концентрации Cr, Ni и Co, типичные для кимберлитов и скоплений минералов индикаторов кимберлитов. Анализ связи между элементами, типоморфными для кимберлитов (Cr, Ni, Co), карбонатитов (Ba, Sr, Zr) и базитов (V, Sc, Zn) в осадочных породах, вмещающих кимберлиты, по фоновым содержаниям до сих пор не проводился. Авторы имеют десятки и сотни РФА и ISP AES анализов по осадочным породам холомолохской и олдондинской свит нижнего палеозоя, вмещающих кимберлиты Сюльдюкарского поля и Майского месторождения алмазов Накынского поля. На этих площадях, как и во многих других районах Якутии, кимберлиты ассоциируют в пространстве с дайками и силлами среднепалеозойских траппов и карбонатитами. Рассчитаны коэффициенты парной корреляции между названными элементам из проб, отобранных из неизмененных терригенно-карбонатных пород, названных свит из керна скважин, удаленных от кимберлитов более 200 м (фон) и ближнего околокимберлитового

пространства (десятки метров). Установлено существенное снижение высокой положительной связи, характерной для фона, вблизи кимберлитов при сохранении средних фоновых кларковых содержаний. Такая же закономерность отличает пробы, отобранные из зон локального сжатия по сравнению с зонами растяжения околотрубочного пространства, установленными по тектоническим признакам в керне оценочных и разведочных скважин. Выявленный феномен предлагается связать с перераспределением элементов в формах гидридных и хлоридных водных флюидов в миллисекундных процессах, сопровождавших фреатомагматические взрывы формирования кимберлитов.

Ключевые слова: алмазоносные поля, осадочные породы нижнего палеозоя, геохимия, кимберлиты, корреляция, Якутия.

Целью геохимических работ в процессе поисков коренных месторождений алмазов в Западной Якутии является выделение локальных концентрационных аномалий хрома, никеля и кобальта, связанных с кимберлитами. Эти аномалии показывают присутствие самих кимберлитов во вмещающих породах нижнего палеозоя и скоплений их минералов-индикаторов в базальных горизонтах терригенных отложений карбона, перми и юры. Геохимические методы используют при поисках месторождений алмазов на закрытых территориях с применением площадного бурения [4, 8]. Сложность использования геохимических поисков кимберлитов связана с присутствием в разрезах верхнего кембрия и ордовика силлов и даек среднепалеозойских траппов, эруптивных брекчий базитов, карбонатных брекчий и прожилково-метазернистой гидротермальной сульфидной, сульфатной и карбонатной минерализации, которая обусловливает свои локальные геохимические ореолы.

В этой связи предлагается новый подход по анализу субфоновых содержаний ряда элементов, геохимические ассоциации которых, установленные в осадочных породах, нарушены в околокимберлитовом пространстве. Для такого анализа выбраны три группы микроэлементов, которые характерны для: кимберлитов – Cr, Ni и Co; базитов – V, Zn и Sc; карбонатитов – Ba, Sr, Nd и Zr. Элементы последней группы встречаются в повышенных концентрациях и в кимберлитах Якутии [4], которые считаются карбонатит-кимберлитами [6].

Содержания этих элементов корректно определяются методами ICP AES и рентгено-флюоресцентным анализом (РФА), которые используются в практике работ Вилюйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО). Для анализа ICP AES отбирались породы не затронутые перекристаллизацией, скарнированием, выветриванием и, как правило, не содержащие видимых прожилков кальцита, пирита и пр. Анализы выполнены в центральной аналитической лаборатории Вилюйской ГРЭ. ICP AES проводился на приборе iCAP 6300Duo (производитель Thermo Scientific (США)), РФА осуществлялся на спектрометре S8 TIGER «BRUKER» (Германия) по методике SemiQuant.

Проанализированы 4 серии анализов керновых проб, отобранных примерно через 5 м из поисковых скважин, удаленных на более чем 200 м от кимберлитов, и оконтуривающих и разведочных скважин, пройденных вблизи кимберлитов, отстоящих от них на десятки метров (до 120 м). Для расчета из выборок удалялись ураганные значения некоторых элементов, которые отличались более чем в 5–10 раз от рядовых медианных значений. Эти значения, очевидно, связаны со вторичной прожилковой и вкрапленной минерализацией и существенно влияют на определение средних значений и коэффициентов корреляции. Использован стандартный расчет парных коэффициентов корреляции по выборкам, включающим многие десятки анализов.

По центральной части Сюльдюкарского поля, вмещающей одноименные алмазоносные кимберлиты, на основании 141 ICP AES и 638 РФА анализов во вмещающих осадочных породах верхнекембрийской холомолохской свиты установлены близкие средние субкларковые содержания отмеченных элементов как фоновых, по 93 анализам ICP и 395 РФА, так и вблизи кимберлитов, по 48 ICP и 243 РФА пробам.

По серии проб из фоновых скважин установлена высокая положительная корреляция между отмеченными элементами как внутри групп, так и между ними. Напротив, по околотрубочному пространству имеется явное нарушение корреляции для большинства элементов (рис. 1). Хотя для пар геохимически близких элементов, например ванадий–скандий, высокая корреляция сохраняется.

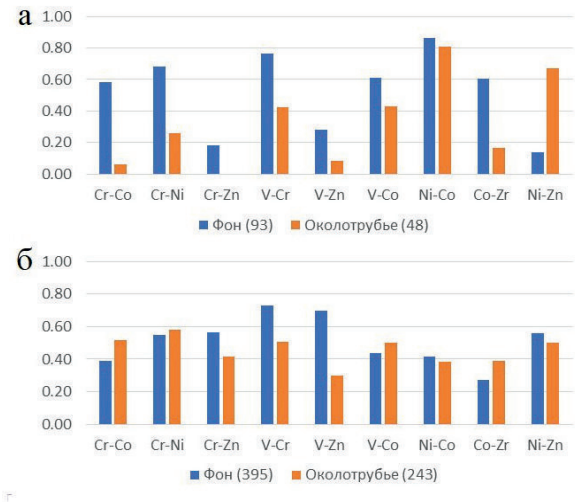


Рис. 1. Коэффициенты корреляции элементов в фоновом пространстве Сюльдюкарского поля и вблизи Сюльдюкарского кимберлита, по результатам анализов ICP AES (а) и РФА (б)

Вероятно, отмеченная геохимическая дифференциация обусловлена неоднородностью геологической среды, вмещавшей кимберлиты. По имеющимся авторским материалам, на участке Сюльдюкарских кимберлитов существовали условия локального сжатия и растяжения, связанные с узлом пересечения лево- и правосторонних сдвигов [1].

По РФА нарушение корреляции в околотрубочном пространстве далеко не так явно, как по ICP. Это, вероятно, обусловлено отбором проб, когда брали образцы пород, содержащие вкрапленные и прожилковые минеральные новообразования.

По РФА анализам отчетливое уменьшение корреляции вблизи кимберлитов установлено только по разрезам, которые попали в сектора сжатия. В породах из секторов растяжения корреляция сохраняется (рис. 2).

Геохимическая неоднородность субфоновых содержаний элементов в секторах сжатия и растяжения околотрубочного пространства различается и по средним значениям. Так, в секторах растяжения заметны изменения средних содержаний скандия, свинца и цинка, а в секторе сжатия – бария и стронция. Остальные элементы не испытывают заметных колебаний фоновых содержаний.

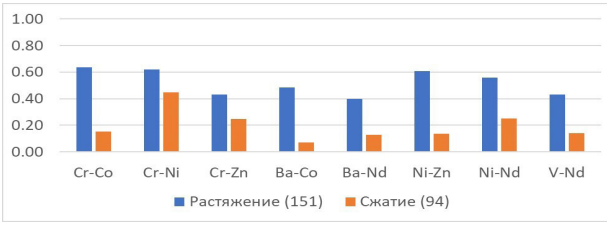


Рис. 2. Соотношения коэффициентов корреляции в секторах растяжения и сжатия в околотрубочном пространстве Сюльдюкарских кимберлитов, по данным РФА

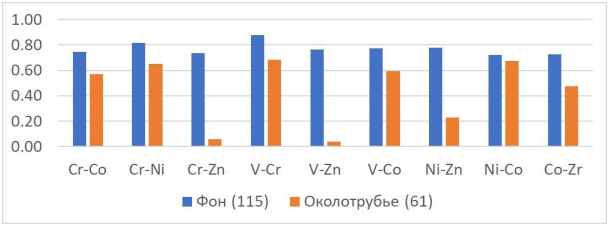


Рис. 3. Соотношение коэффициентов парной корреляции элементов в фоновом пространстве Накынского поля и вблизи кимберлитов Майского месторождения, по результатам анализов РФА

Аналогичные соотношения по отмеченным элементам установлены и на участке Майского месторождения алмазов (61 проба) и по сравнению с геохимическим фоном по центральной части Накынского поля (115 проб) по породам олдондинской свиты ордовика (рис. 3). Они не так существенны для пар Cr–Co и Cr–Ni, что объяснимо их геохимической близостью. Из общего тренда выпадают непонятные обратные связи Ba и Co.

Отчетливые соотношения коэффициентов корреляции отличают сектора сжатия и растяжения (рис. 4).

Высокая корреляция между элементами фоновых содержаний для осадочных пород, очевидно, обусловлена процессами выветривания, морской седиментации, диагенеза и катагенеза терригенно-карбонатных отложений. На всех стадиях литогенеза должны происходить выравнивание содержаний и установление прочных связей за счет однотипных процессов дифференциации элементов в литогенезе [5].

Для объяснения нарушения таких связей в околотрубочном пространстве надо напомнить, что, по ряду представлений, формирование кимберлитов происходило в результате фреатомагматических взрывов [2, 9], когда быстро поднимающаяся флюидизированная магма с температурой порядка 1000 °С достигала на глубинах 1,0–1,5 км кембрийских рассолов, температура которых в позднем девоне вряд ли на много превышала 100 °С. В этих условиях при взрывах должен был формироваться сложный газовый флюид, часть которого захватывала

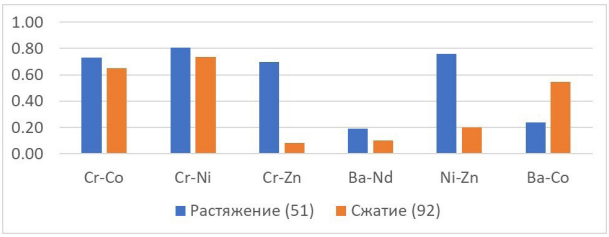


Рис. 4. Соотношения коэффициентов корреляции в секторах растяжения и сжатия в околотрубочном пространстве Сюльдюкарских кимберлитов, по данным РФА

вмещающую кимберлиты геологическую среду. Косвенно это подтверждается аномалиями хлора в породах, вмещающих кимберлиты [8].

Очевидно, что в блоках сжатия газы существенно импрегнировали породы, а в блоках растяжения диссипировали в атмосферу. Ореолы импрегнированного высокотемпературного углекислого газа установлены в околотрубочном пространстве на участках Майского месторождения и Озерного рудопроявления алмазов в Накынском поле Якутии [3].

Таким образом, можно говорить о новом геохимическом признаке участков, вмещающих кимберлиты.

Работа выполнена в рамках исследований МГРИ по гранту Российского Научного Фонда № 23-27-00280.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 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.
2. Игнатов П. А., Новиков К. В., Зарипов Н. Р., Ходня М. С., Бурмистров А. А., Лисковая Л. В., Килижеков О. К. Эруптивные флюидоразрывные образования Накынского алмазоносного поля Якутии // Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология. – 2018. – № 6. – С. 37–44.
3. Игнатов П. А., Шмонов А. М., Новиков К. В., Кряжев С. Г., Ковальчук О. Е., Разумов А. Н. Ореолы углекислого газа в карбонатных породах, вмещающих дайково-жильные кимберлитовые тела Накынского поля Якутии // Руды и металлы. – 2014. – № 3. – С. 39–46.
4. Кириллина А. В., Васильева В. И., Симоненко В. И. Геохимические методы поисков кимберлитов на закрытых территориях западной Якутии // Роль геохимии в развитии МСБ ТПИ. Прогноз, поиски, оценка инновационные технологии освоения редкометалльных объектов. – М. : ИМГРЭ, 2016. – С. 44–47.
5. Костровицкий С. И., Специус З. В., Яковлев Д. А., Фон-дер-Флаасс Г. С., Суворова Л. Ф., Богуш И. Н. Атлас коренных месторождений алмаза Якутской кимберлитовой провинции / Отв. редактор ак. Н.П. Похиленко. – Мирный : ООО «МГП», 2015. – 480 с.
6. Летникова Е. Ф. Геохимическая специфика карбонатных отложений различных геодинамических обстановок северо-восточного сегмента палеоазиатского океана // Литосфера. – 2005. – № 1. – С. 70–81.
7. Маршинцев В. К. Кимберлитовые породы Якутии. – Якутск : Изд. Якутского Госуд. Ун-та, 1995. – 34 с.
8. Симоненко В. И., Васильева В. И. Индикаторные свойства хлора при поисках кимберлитов по первичным геохимическим ореолам. Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов; проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии : Материалы IV Региональной научно-практической конференции. – 2014. – С. 209–211.
9. Lorenz V., Kurszlaukis S. Root zone processes in the phreatomagmatic pipe emplacement model and consequences for the evolution of maar-diatreme volcanoes // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2007. – 159. P. 4–32.

Извекова А. Д. [1] (boxjer@mail.ru), Дамдинов Б. Б. [2] (damdinov@mail.ru), Рипп Г. С. [2]
[1]ФГБУН Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск,
[2] ФГБУН Геологический институт им. Н. Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ

ОСОБЕННОСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РУДАХ ГУРВУНУРСКОГО АПАТИТ-МАГНЕТИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ОЗЕРНИНСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ, ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Изучение минерального состава и распределения РЗЭ в рудах и минералах Гурвунурского месторождения позволяет сделать вывод о том, что редкоземельная минерализация в рудах образовалась в результате скарнирования исходных гранитоидных и вулканогенно-осадочных пород, а источником редкоземельной минерализации явились гранодиориты витимканского интрузивного комплекса.

Ключевые слова: апатит, РЗЭ, магнетитовые месторождения.

Гурвунурское апатит-магнетитовое месторождение расположено на площади Еравнинского рудного узла в 2,5 км от Озрного колчеданно-полиметаллического месторождения и входит в состав Удино-Витимской островодужной системы, сформировавшейся в позднем рифее–палеозое в области активного взаимодействия Сибирского кратона и Палеоазиатского океана [1].

Месторождение сложено вулканогенно-осадочными отложениями олдындинской свиты нижнего–среднего палеозоя. В его строении принимают участие туфы, риолиты, риолит-порфиры, известняки и кварц-серицитовые сланцы. Эти отложения прорваны штоками Витимканского средне-позднепалеозойского интрузивного комплекса, представленного диоритами и базальтовыми порфиритами, и Гуджирского интрузивного комплекса, состоящего из даек, сложенных диоритами, базальтовыми порфиритами, сиенитами и сиенит-порфирами. Вмещающие вулканогенно-осадочные породы олдындинской свиты района Гурвунурского месторождения претерпели длительный метаморфизм. Наиболее интенсивно проявились процессы серицитизации, окварцевания, карбонатизации, биотитизации и альбитизации.

Гурвунурское месторождение представлено линзовидными телами сплошных и вкрапленных кварц-апатит-магнетитовых и пироксен-апатит-магнетитовых руд, залегающих среди риолит-порфиров, на контакте диоритов и риолит-порфиров, реже – среди доломитизированных известняков.

Минералы, содержащие РЗЭ, широко распространены в апатит-магнетитовых рудах Гурвунурского месторождения. Один из главных концентраторов РЗЭ – апатит, в котором содержание суммы РЗЭ достигает 2,6 мас. %. Кроме апатита, минералы, содержащие РЗЭ, представлены алланитом, монацитом, эпидотом.

Апатит входит в число наиболее распространенных (3–18 %) минералов апатит-пироксен-магнетитовых руд, небольшие количества его установлены и в кварц-магнетитовых рудах. Характерной особенностью является распределение апатита, его содержание увеличивается по мере приближения к интрузиям гранодиоритов. Он образует вкрапленность, гнезда и пятнистые обособления среди магнетита и кварца. Апатит представляет собой трещиноватые зерна столбчатой и призматической формы размером 1–5 мм, иногда достигающие 1,5 см. Он часто ассоциирует с пироксеном и магнетитом, но по взаимоотношениям видно, что апатит образовался раньше них. По составу он соответствует фтор-апатиту, присутствие небольших количеств FeO (0,94 мас. %) обусловлено примесью магнетита. Одна из особенностей состава апатита – повышенное содержание хлора (до 0,45 мас. %).

В апатите в повышенных количествах присутствуют редкоземельные элементы (до 1,2 мас. %), наличие которых обусловлено эмульсионной вкрапленностью монацита. РЗЭ представлены в основном легкими лантаноидами с отношениями Ce/La – 1,97, Ce/Nd – 2,99, La/Nd – 1,52. Преимущественным распространением пользуется церий и лантан, ниже содержания неодима, празеодима и итрия. На месторождении, как и на других апатит-магнетитовых месторождениях (Рипп и др., 2017), проявилось отделение редкоземельных элементов от апатита с образованием эмульсионной вкрапленности монацита.

Графики составов редкоземельных элементов из апатита, нормированных к хондриту, имеют конфигурацию кривых, близких к таковым Северо-Гурвунурского месторождения, а также

похожую конфигурацию с вмещающими оруденение гранодиоритами. Кривые имеют выраженный отрицательный европиевый минимум (Eu/Eu* = 0,242). Такие значения, по-видимому, свидетельствуют о преобладании Eu^{3+} над Eu^{2+}, то есть об окислительных условиях. В целом такие конфигурации спектров распределения редкоземельных элементов характерны для кислых интрузивных и эффузивных пород, претерпевших воздействие наложенных метасоматических процессов [2].

Апатит Гурвунурского месторождения имеет повышенные содержания легких РЗЭ и пониженные – тяжелых. В общем, кривые распределения указывают на снижение концентраций тяжелых РЗЭ относительно легких, что наблюдается по правостороннему наклону кривой распределения. Подобная конфигурация характерна и для вмещающих гранодиоритов.

Значения Sr/Y и Sr/Mn отношений в апатите, согласно [4], ложатся в поле апатита, характерного для гранитоидов.

Монацит образовался в процессе рафинирования апатита, в котором он встречается в виде эмульсионной вкрапленности, а также слагает более крупные зерна и прожилки по краям зерен апатита. В составе монацита преобладают легкие лантаноиды (Ce_2O_3 до 37,47, La_2O_5 до 22,34 мас. %) с отношениями Ce/La – 1,76, Ce/Nd – 4,24.

Эпидот установлен в гнездах и прожилковидных образованиях скарновых агрегатов, а также в диоритах и риолит-порфирах. Участками он присутствует в виде вкрапленности как в кварц-магнетитовых, так и в пироксен-апатит-магнетитовых рудах. Эпидот слагает неправильные, иногда призматические зерна, присутствует в интерстициях между зернами магнетита, кварца и пироксена, в виде мелких прожилков, секущих кристаллы апатита. В составе эпидота имеются легкие лантаноиды (La до 5,11, Ce до 2,47 мас. %) с отношениями Ce/La – 1,81, Ce/Nd – 2,32. Вариации содержаний редкоземельных элементов обусловлены постепенным переходом минерала в алланит.

Алланит встречается в виде выделений неправильной, короткопризматической формы в апатит-магнетитовых рудах, где его количество достигает 1–1,5 %. По отношению к апатиту, магнетиту и пироксену минерал ксеноморфен. Некоторые зерна имеют зональное строение с переходом отдельных участков в эпидот от центра к периферии. Зональное строение обусловлено изменением содержаний редкоземельных элементов. От центра к периферии повышается общее количество La, но отмечается чередование участков, в разной степени обогащенных редкоземельными элементами. Наиболее часто алланит встречается среди скоплений апатита, по отношению к которому является более поздним. В составе минерала преобладают легкие лантаноиды с содержаниями Ce до 14,35 мас. %, La до 9,16 мас. %. Отношения Ce/La=1,62, Ce/Nd=3,26. В алланите установлены пониженные концентрации MgO и MnO, ThO2.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что источником редкоземельной минерализации, по-видимому, являлись гранодиориты Витимканского интрузивного комплекса. Присутствие среди вмещающих пород агрегатов скарнового состава, приуроченных к выходам интрузий, редкоземельных элементов в скарновых минералах (эпидот-алланит) может быть свидетельством в пользу скарновой природы редкоземельной минерализации Гурвунурского месторождения. Процессы скарнирования преобразовывали исходные толщи осадочных пород и руд, в свою очередь в них происходило накопление редкоземельных элементов, которые отделялись от вмещающих гранитоидов и гранодиоритов.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания по проекту IX.130.3.1 (№0284-2021-0001) при частичной финансовой поддержке гранта РНФ № 22-17-00106.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гордиенко И. В., Минина О. Р., Ситникова В. С. Новые данные по составу и возрасту палеозойских осадочно-вулканогенных толщ и интрузивов Еравнинского островодужного террейна (Забайкалье) // Вулканизм и геодинамика : Материалы III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Т1. БНЦ СО РАН. – Улан-Удэ, 2006. – С. 154–158.
2. Перетяжко И. С., Савина Е. А. Тетрад-эффекты в спектрах распределения редкоземельных элементов гранитоидных пород как индикатор процессов фторидно-силикатной жидкостной несмесимости в магматических системах // Петрология. – 2010. – Т. 18, № 5. – С. 536–566.

3. Belousova E. A., Griffina W. L., Suzanne Y. O'Reillya, Fishera N. I. Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: trace-element compositions and their relationship to host rock type // Journal of Geochemical Exploration. – 2002. – № 76 (1). – P. 45–69.
4. Mc Donough & Sun. The composition of the Earth // Chemical Geology. – 1995. – № 120 (3–4). – P. 223–253.

Калита В. А. (vkalita55@mail.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОБОБЩЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ РОССИИ ПО ЦВЕТНЫМ И БЛАГОРОДНЫМ МЕТАЛЛАМ В 2021–2023 гг.

В период с 2021 по 2023 гг. в России ежегодно росло количество реализуемых инвестиционных проектов по освоению месторождений цветных и благородных металлов. Более половины от общей суммы инвестиций при этом приходилось на долю лишь восьми крупнейших проектов. Лидерами по объему инвестиций являлись Забайкальский и Красноярский края.

Ключевые слова: инвестиционный проект, цветные и благородные металлы, субъект РФ, ввод, перенос сроков.

В рамках проводимого мониторинга рассмотрена реализация наиболее значимых инвестиционных проектов в сфере отечественного недропользования по цветным и благородным металлам. В качестве критерия отнесения проекта к числу значимых использована характеристика крупности запасов месторождений (иногда – двух территориально сближенных). В отдельных случаях учитывался региональный аспект, при сравнительно небольших запасах инвестиционный проект может существенно влиять на улучшение экономических показателей региона (рост валового регионального продукта, создание рабочих мест и пр.). Для сопоставимости проектов с различными видами полезных ископаемых использовалась величина инвестиционных затрат.

Из общего числа рассмотренных проектов, подавляющее большинство объектов инвестирования содержат золоторудную или золотосеребряную минерализацию. В некоторых проектах основными полезными компонентами являются МПГ+Ni+Cu. Отдельные объекты характеризуются преимущественно свинцово-цинковой, собственно медной, или серебряной минерализацией.

К началу 2021 г. в России реализовывалось 40 соответствующих определению инвестпроектов, начатых ранее (переходящие). В течение года к ним добавилось 13 новых проектов. По итогам 2021 г. 4 проекта были завершены: Наседкино (Au) – первый этап (Забайкальский край); Нежданинское (Au, Ag) – первая очередь (Республика Саха (Якутия)); Юбилейное (Cu, Zn) – 6-ая залежь (Республика Башкортостан); Клен (Au, Ag) – Чукотский АО. По количеству реализуемых проектов в числе лидеров были следующие субъекты РФ (суммарная стоимость – оценка): Красноярский край – 9 (11,7 млрд долл.), Забайкальский край – 9 (8,9 млрд долл.), Республика Саха (Якутия) – 7 (1,5 млрд долл.), Хабаровский край – 5 (3,9 млрд долл.). Суммарные инвестиционные вложения в проекты, реализовывавшиеся в 2021 г., можно оценить примерно в 47,5 млрд долларов США.

К началу 2022 г. в России насчитывалось 49 соответствующих переходящих инвестпроектов. В течение года к ним добавилось еще 9 новых проектов. По итогам 2022 г. 3 проекта были завершены: Первенец (Au, Ag) – Красноярский край; Курасан (Au, Ag) – Челябинская область; Кекура (Au, Ag) – Чукотский АО. По количеству реализуемых проектов в числе лидеров остались те же, что и в предыдущем году, субъекты РФ: Забайкальский край – 10 (12,6 млрд долл.); Красноярский край – 10 (11,8 млрд долл.); Республика Саха (Якутия) – 8 (около 2 млрд долл.); Хабаровский край – 6 (около 4 млрд долл.). Суммарные инвестиционные вложения в проекты, реализовывавшиеся в 2022 г., можно оценить примерно в 55,5 млрд долларов США.

К началу 2023 г. в России реализовывалось 55 соответствующих переходящих инвестпроектов. В течение года добавилось еще 18 новых проектов. По итогам 2023 г. 6 проектов были завершены: Краснотурьинский (стр-во ОФ, Au, Cu, Zn) – Свердловская область; Верхне-Менкече (Zn, Pb, Ag), Северное (Au, Ag, U) – Республика Саха (Якутия); Высокое (Au, Ag) – Красноярский край; Павлик (Au, Ag) – вторая очередь, Тэутэджак (Au, Ag) – Магаданская область. По количеству реализуемых проектов список лидеров остался прежним: Забайкальский край – 14 (13,8 млрд долл.); Красноярский край – 10 (12,2 млрд долл.); Республика Саха (Якутия) – 10 (2,3 млрд долл.); Хабаровский край – 7 (4,1 млрд долл.). Суммарные инвестиционные вложения в проекты, реализовывавшиеся в 2023 г., составили примерно 56,5 млрд долларов США.

Таким образом, число переходящих инвестпроектов к 2024 г. выросло до 67.

Таблица. Крупнейшие инвестиционные проекты России по цветным и благородным металлам, реализовывавшиеся в 2021–2023 гг.

Проект	Субъект РФ	Инвестиции (млрд долл. США)	Основные виды сырья
Песчанка (Баимский проект)	Чукотский АО	8,5 [1]	Cu, Au, Ag, Mo
Удоканское (I+II очередь)	Забайкальский край	6,6 (2,7+3,9 [3])	Cu, Ag
Масловское	Красноярский край	4,1	МПГ, Ni, Cu
Култуминское	Забайкальский край	3,9	Cu, Au, Ag, Fe
Сухой Лог	Иркутская обл.	3,3	Au, Ag
Малмыжское	Хабаровский край	3,1	Cu, Au
Черногорское	Красноярский край	2,7	МПГ, Ni, Cu
Кингаш (Кингашское+Верхнекингашское)	Красноярский край	2,7	Cu, Ni, Au, Ag, Co, МПГ

Следует отметить, что, согласно оценке, в Красноярском крае, около 90 % общего инвестиционного портфеля – это проекты, реализуемые на территории Арктики [2]. Среди них – инициативы ГМК «Норильский никель» и ГК «Русская платина» – проекты освоения месторождений Масловское и Черногорское. В Арктической зоне на Чукотке также реализуется крупнейший проект – Песчанка (Баимский).

Значительное число проектов характеризуется переносом срока завершения их реализации на более поздний (от одного года до нескольких лет). Анализ показывает, что в 2021 г. из числа рассмотренных таких проектов было 18, в 2022 г. – 27 и в 2023 г. – 35. Рост в последние два года в существенной мере был обусловлен введением внешних ограничительных мер. Тем не менее недропользователи, используя различные механизмы, формируют решения по успешному завершению инвестиционной фазы и переходу к операционной стадии проекта.

Выводы:

1. По количеству инвестпроектов рассмотренного типа и объему инвестиций из всех субъектов РФ с заметным отрывом лидировали Забайкальский и Красноярский края.

2. В России в течение последних трех лет отмечался заметный рост числа инвестиционных проектов по цветным и благородным металлам.

3. К концу трехлетнего периода значительно выросло число инвестпроектов с отложенным от первоначального сроком реализации. Соответственно, число ежегодно завершаемых проектов было сравнительно невелико.

К 2024 г. более 60 % общих инвестиций по цветным и благородным металлам приходилось на долю восьми крупнейших российских проектов (таблица).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баимская горнодобывающая компания. Баимский ГОК. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://baimskaya.ru/ (дата обращения: 18.12.2023).
2. Добывающая промышленность. Экономика Красноярского края за год получит свыше 900 млрд инвестиций. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://dprom.online/unsolution/

ekonomika-krasnoyarskogo-kraya-za-god-poluchit-svyshe-900-mlrd-investitsij/ (дата обращения 11.12.2023).
3. LENTA.RU Якорный проект. Дан старт реализации второй очереди ГМК «Удокан». [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://lenta.ru/articles/2021/09/08/udokan/?ysclid=lpr0rklr7y525560074 (дата обращения: 8.09.2021).

Калмыков Б. А. [1], Трусов А. А. [1], Гончаров Е. М. [2], Мальков А. А. [2]
[1] АО «ГНПП «Аэрогеофизика», г. Москва,
[2] АК «АЛРОСА», г. Мирный

ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И АНОМАЛИЙ ТРУБОЧНОГО ТИПА ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ МПП ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АЛМАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Приводятся результаты геологической интерпретации материалов аэроэлектроразведки МПП, полученных с применением аппаратуры «HoriZOND» при проведении алмазопоисковых работ.

Ключевые слова: аэроэлектроразведка МПП, поиски алмазов, траппы, аномалии трубочного типа.

На современном этапе проведения алмазопоисковых работ в пределах Западно-Якутской алмазоносной провинции отмечается снижение эффективности магнитометрического метода. Это обусловлено смещением поисковых работ в области развития трапповых образований и исчерпанностью незаверенных перспективных магнитных аномалий на площадях 1–3 геотипов. В связи с этим возникает насущная потребность в применении новых геофизических методов, ориентированных на выявление слабомагнитных и немагнитных кимберлитовых тел, а также трубок, перекрытых трапповыми образованиями, бронирующими полезный магнитный сигнал. Одним из таких методов является электроразведка методом переходных процессов (МПП) в различных модификациях [3]. В этом отношении аэровариант электроразведки МПП – наиболее эффективен в силу своей оперативности и системности наблюдений на значительных территориях.

В 2023 г. АО «ГНПП «Аэрогеофизика» по договору с АК «АЛРОСА» провела комплексную аэрогеофизическую съемку масштаба 1 : 5000 на одной из поисковых площадей, включающую магниторазведку и электроразведку МПП с применением аппаратуры «HoriZOND». Данный аппаратурный комплекс был впервые использован при алмазопоисковых работах, однако полученные предварительные результаты позволяют предполагать ее геолого-поисковую эффективность на площадях сложного геологического строения.

Аэрогеофизическая съемка проводилась на вертолете МИ-171 по субширотным профилям с расстояниями между ними 50 м. На борту были установлены: аэроэлектроразведочная аппаратура «HoriZOND» в комплекте с аэромагнитометром «AeroMaster 100» (АО «ГНПП «Аэрогеофизика»); магниточувствительный датчик Cs-3, система спутниковой навигации GPS; радио0 высотомер UMMR и бортовой компьютер.

После проведения первичной обработки был построен комплект цифровых геофизических (магниторазведочных и электроразведочных) моделей, включающих карты исходных полей, их трансформант и геоэлектрические разрезы по линиям полетов. Данные материалы с учетом априорной геологической информации были проанализированы на предмет получения новой геологической и поисковой информации.

Основное внимание было уделено материалам электроразведки МПП, позволяющим изучить элементы геологического строения глубоких горизонтов и выявить электроразведочные аномалии трубочного типа. Существующие технологии обработки полученных данных электроразведки МПП позволяют провести зондирование геологической среды до глубин 350–400 м, фиксируя элементы геологического строения под трапповыми массивами.

В геологическом строении территории принимают участия образования двух структурных этажей: нижний структурный этаж сложен кристаллическими породами архейского фундамента, верхний – образованиями осадочного чехла, в состав которых входят осадочные, вулканогенно-осадочные и магматические породы венда, палеозоя, мезозоя и кайнозоя [1]. Имеющиеся сведения о петрофизических параметрах данных пород [2, 3] позволяют проводить их идентификацию по геофизическим данным.

Кимберлитовмещающая толща в пределах площади работ представлена в верхней части карбонатными и терригенно-карбонатными породами верхнего кембрия (холомолохская свита) и нижнего ордовика (балыктахская свита). Породы характеризуются низкой магнитной восприимчивостью и, в ненарушенном состоянии, высоким удельным сопротивлением (380–1200 Ом·м). Терригенно-карбонатные отложения холомолохской свиты подстилаются мергелями и известковистыми алевролитами мирнинской свиты, образующими подмерзлотный водоносный комплекс. Воды горизонта характеризуются повышенной соленостью, что отражается в резком повышении электропроводности пород мирнинской свиты. Данная контрастная граница падения сопротивлений (от 500–2000 до 10–45 Ом·м), приуроченная к кровле мирнинской свиты, может быть использована для проведения структурных построений. Волнистый характер кровли подмерзлотного водоносного горизонта отражает участки проникновения рассолов в вышележащие отложения по ослабленным зонам дробления, которые могут быть благоприятными для локализации кимберлитовых тел.

Дайки среднепалеозойских долеритов вилюйско-мархинского комплекса пронизывают нижнепалеозойское основание в виде системы крутопадающих тел северо-восточного простирания. Они характеризуются высокой магнитной восприимчивостью и высокими удельными сопротивлениями и отчетливо проявляются в магнитном поле протяженными линейными локальными аномалиями разной степени интенсивности. На глубинных срезах полей сопротивлений они фиксируются малоамплитудными линейными аномалиями повышенных сопротивлений, сопровождающимися фрагментарными линейными аномалиями проводимости. На геоэлектрических разрезах даечные тела отражаются крутопадающими областями повышенных сопротивлений с нечеткими границами.

Перекрывающая толща в пределах участка сложена породами верхнего палеозоя, мезозоя и кайнозоя.

Верхнепалеозойские отложения представлены песчано-глинистыми отложениями, характеризующимися низкой магнитной восприимчивостью. Удельные сопротивления пород в целом имеют пониженный уровень, который закономерно уменьшается от более песчанистых разностей к более глинистым, что отражается на геоэлектрических срезах и разрезах.

Раннетриасовые образования представлены туфогенными и туфогенно-осадочными отложениями чичиканской свиты и долеритами катангского комплекса. Долериты обладают высокими удельными сопротивлениями (10 000–30 000 Ом·м), которые понижаются на участках тектонических дислокаций. В электрическом поле массивы долеритов отражаются областями высоких сопротивлений, на площадях развития туфогенных пород уровень сопротивлений снижается. Участки и блоки верхнепалеозойских отложений, присутствующие в трапповых массивах, проявляются участками пониженных сопротивлений. При залегании долеритов на нижнепалеозойских карбонатных отложениях граница между ними проявляется неотчетливо в силу близости электрических свойств.

Нижнеюрские отложения представлены песчано-галечными и глинисто-алевритовыми отложениями. Породы характеризуются пониженными удельными сопротивлениями, колеблющимися в зависимости от влагонасыщенности и глинистости.

Площади развития верхнепалеозойских и нижнеюрских отложений проявляются областями пониженных сопротивлений.

Выделение *разрывных нарушений по электроразведочным* данным проводилось по цифровой модели сопротивлений в интервале абсолютных отметок 180–230 м. Данный диапазон глубин соответствует верхней части нижнепалеозойского основания и выбран, как оптимальный, после анализа геологических разрезов по буровым линиям несколько ниже кровли абсолютных отметок карбонатного цоколя.

По электроразведочным данным выделялись разрывные дислокации следующих типов. Первый тип нарушений соответствовал спрямленным градиентным границам контактирующих блоков с разным уровнем сопротивлений. На геоэлектрических разрезах такие нарушения выглядят как вертикальные сместители сбросового типа. Вероятно, часть таких электрических неоднородностей может быть связана с мерзлотными явлениями и отражает характер перехода мерзлотных вод в жидкое состояние. Тем не менее, данные явления должны контролироваться разрывными дислокациями. Второй тип нарушений отражается линейными зонами повышенной электропроводности. Они обусловлены ослабленными зонами дробления, благоприятными для просачивания межмерзлотных и подмерзлотных вод, характеризующихся повышенной степенью минерализации. Таким образом, линейные зоны повышенной электропроводности являются индикаторами зон дробления в кимберлитовмещающей толще, благоприятными для локализации кимберлитовых тел. Третий тип нарушений представляет собой сместители границ блоков и линейных зон проводимости, то есть нарушения сдвигового типа.

Аномалии электропроводности трубочного типа выделялись по цифровой модели сопротивлений в интервале абсолютных отметок 180–230 м, соответствующем верхней части кимберлитовмещающей толщи. Особенности морфологии аномалий были проанализированы на геоэлектрических разрезах. Электрические свойства кимберлитов существенно меняются с глубиной. Верхние части трубок, затронутые корообразующими процессами, обладают повышенной пористостью и влагонасыщенностью, здесь же повышается содержание глинистых минералов. Вследствие этого они характеризуются пониженными сопротивлениями и на фоне высокоомных вмещающих пород будут отражаться субизометричными аномалиями повышенной электропроводности. Повышению электропроводности способствует и тонкораспыленный магнетит, образующийся при серпентинизации оливина. При переходе с глубиной в неизмененные плотные кимберлиты их удельные сопротивления повышаются, и аномалии нивелируются. В условиях относительно низкоомных вмещающих пород (мергелей, глинистых алевролитов) плотные неизмененные кимберлиты могут вообще отражаться аномалиями повышенных сопротивлений. Таким образом, в электрическом поле кимберлитовые трубки на фоне высокоомных карбонатных пород балыктахской и холомолохской свит должны отражаться слабоконтрастными аномалиями пониженных сопротивлений. На геоэлектрических разрезах кимберлитовые тела должны проявляться субвертикальными зонами пониженных сопротивлений, распространяющихся на некоторую глубину развития корообразующих процессов. Определенные перспективы могут связываться и с аномалиями проводимости, приуроченными к поднятию кровли минерализованного водоносного горизонта [3].

Наибольший интерес представляют аномалии электропроводности, выделенные в верхней части кимберлитовмещающей толщи в областях развития траппов, где применение магниторазведки неэффективно. Часть аномалий, приуроченных к безтрапповым областям, сопровождаются магнитными аномалиями и неоднородностями магнитного поля, то есть являются комплексными. Следует заметить, что магнитные и электрические аномалии имеют различную природу. Если магнитные аномалии обусловлены магнитной минерализацией, то электрические аномалии связаны с пористостью, влагонасыщенностью и глинистостью пород. В связи с этим эпицентры магнитных и электрических аномалий могут не совпадать, и такие комплексные аномалии должны рассматриваться как аномальные участки.

Развитие новых технологий аэроэлектроразведки МПП будет способствовать повышению эффективности алмазопоисковых работ на площадях сложного геологического строения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственная геологическая карта Российской федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Верхневилюйская (новая серия). Лист P-50-I. Объяснительная записка. – М. : МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 142 с.
2. Зинчук Н. Н., Бондаренко А. Т., Гарат М. Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 695 с.
3. Стогний В. В., Коротков Ю. В. Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов. – Новосибирск : Малотиражная типография 20, 2010. – 121 с.

Канимбуе Л. С. (ludmilacanhimbue@mail.ru), Таловина И. В. (talovina_iv@pers.spmi.ru)
ФГБОУ ВО «СПГУ», г. Санкт-Петербург

РУДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, НОРИЛЬСКИЙ РАЙОН

Проведен анализ состава вкрапленных и массивных руд центральной части Октябрьского месторождения, а также их сравнение с рудами главной залежи Хараелахская-1. Получен вывод о сопоставимости этих руд по содержанию платиновых металлов. Выявлены особенности состава руд и различия в парагенезисах минералов благородных металлов. Полученные данные указывают на отдельную, самостоятельную эволюцию вкрапленных и массивных руд при разных условиях из различных порций магмы, близких по составу.

Ключевые слова: Норильский рудный район, Октябрьское месторождение, Хараелахский интрузив, металлы платиновой группы, рудогенез.

Октябрьское месторождение, приуроченное к Хараелахскому интрузиву, является крупнейшим в Норильском рудном районе и представляет собой совокупность не менее пятнадцати рудных тел и залежей (рис. 1) [4, 5]. Огромный объем аналитических данных получен для наиболее крупной залежи Хараелахская-1 на западном фланге, где отрабатываются массивные и медистые руды нижней экзоконтактовой и эндоконтактовой зоны интрузива. В условиях истощения запасов богатых сульфидных руд возникает интерес к менее изученным участкам.

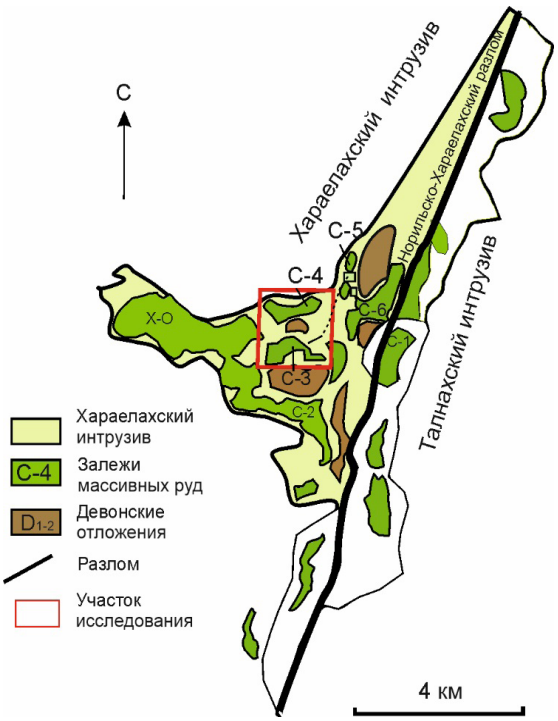


Рис. 1. Проекция интрузивных тел и массивных руд Талнахского рудного узла на горизонтальную плоскость

В центральной части Октябрьского месторождения, расположенной в пределах рудника «Таймырский», развито массивное оруденение залежей С-3 и С-4, а также вкрапленные руды, локализованные в пикритовых и такситовых габбро-долеритах Хараелахского интрузива. Отличительной особенностью данного участка месторождения по сравнению с флангами является наибольшая мощность горизонта вкрапленных руд (более 40 м). Стоит отметить, что вкрапленные руды представляют основной объем руд Октябрьского месторождения и содержат более 60 % запасов благородных металлов норильских месторождений [2], однако, в настоящее время отработка данного типа руд крайне ограничена.

Рудные залежи С-3 и С-4 характеризуются разным минеральным составом: в первой преобладают халькопирит-пирротиновые руды, в то время как во второй развиты низкосернистые кубанит-талнахитовые руды. Относительные концентрации платиновых металлов ΣЭПГ/S меняются от 0,19 до 0,88 в массивных халькопирит-пирротиновых рудах и от 1,23 до 2,04 в массивных кубанит-талнахитовых рудах. Во вкрапленных пентландит-халькопирит-пирротиновых рудах величина ΣЭПГ/S значительно возрастает, достигая значения 80–93,45. Среднее содержание ЭПГ во вкрапленных рудах составляет от 20 до 50 г/т в 100 % сульфидной массе. Эти значения сопоставимы и даже превышают таковые в богатых и «медистых» рудах главной залежи, что позволяет рассматривать вкрапленные руды центральной части Октябрьского месторождения как весьма перспективный источник платиновых металлов.

Изучение рудных залежей в центральной части Октябрьского месторождения также играет важнейшую роль для понимания условий формирования Хараелахского интрузива в целом.

Проведенные исследования [1, 3] позволили выявить разные тренды эволюции магматического расплава в горизонтах вкрапленных и массивных руд залежей С-3 и С-4. Установленные различия в концентрации благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах, а также различные парагенезисы минералов благородных металлов в пределах рудных тел отражают генетические особенности каждого типа оруденения. Это подтверждает гипотезу о независимом, последовательном формировании вкрапленного и массивного оруденения в Хараелахской интрузии.

На основании полученных данных предполагается образование вкрапленных и массивных руд центральной части Октябрьского месторождения из различных порций магмы, близких по составу, но отличающихся сульфидной составляющей и условиями кристаллизации. Таким образом, месторождение характеризуется более сложной структурой и генезисом, чем отмечалось ранее.

Приведенные данные, несомненно, повышают перспективность центральной части Октябрьского месторождения и указывают на целесообразность проведения полного комплекса геологоразведочных работ на данном участке. Существует необходимость в усовершенствовании технологий переработки руд для большего вовлечения вкрапленных руд в производство цветных и благородных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Криволуцкая Н. А., Толстых Н. Д., Канимбуе Л. С., Гонгальский Б. И., Кузьмин Д. В. Новые данные о геологическом строении Октябрьского месторождения, Норильский рудный район // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал : Материалы VIII Всеросс. конф. с междунар. участием. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2023. – С. 109–111.
2. Служеникин С. Ф., Анциферова Т. Н., Бровченко В. Д. Благородные металлы в рудах Норильского района // Сборник тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ», 2023. – С. 444–447.
3. Толстых Н. Д., Криволуцкая Н. А., Канимбуе Л. С., Гонгальский Б. И. Минералого-геохимические особенности руд центральной части Октябрьского месторождения, Норильский рудный район // Материалы конференции «Минералообразующие системы месторождений высокотехнологических минералов : достижения и перспективы исследований». – М. : ИГЕМ РАН, 2023. – С. 386–389.
4. Krivolutskaya N. A., Bychkova Y., Gongalsky B., Kubrakova I., Tyutyunnik O., Dekunova E., Taskaev V. New Geochemical and Mineralogical Data on Rocks and Ores of the NE Flank of the Oktyabr'skoe Deposit (Norilsk Area) and a View on Their Origin // Minerals. – 2021. – V. 11. – P. 44.
5. Stekhin A. I. Mineralogical and chemical characteristics of the Cu-Ni ores of the Oktyabr'sky and Talnakh deposits // Proceedings of the Sudbury-Noril'sk Symposium. Lightfoot P.C., Naldrett A.J. (eds.). Ontario Geological Survey. – 1994. – Special Volume 5. – P. 217–230.

Кара Т. В. [2], Шац А. Л. [1], Янюшин А. М. [1]

[1] ООО «Золото Анабара», г. Москва

[2] ИГМ СО РАН им. В. С. Соболева, г. Новосибирск

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ КРУПНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПЕРИФЕРИИ АНАБАРСКОГО ЩИТА

Периферия Анабарского щита перспективна для прогнозно-поисковых работ – предполагается оруденение витватерсрадского, карлинского или меднопорфирового типов, каждый из которых способен формировать крупные и уникальные месторождения. На территории ведется попутная добыча золота и платиноидов, поставлены на баланс запасы россыпного золота.

Ключевые слова: Анабар, Сибирская платформа, золото, платиноиды, витватерсрандский, карлинский, меднопорфировый тип, геологическое таргетирование.

Актуальность и предпосылки. По прогнозу ЦНИГРИ, нынешний рост добычи золота в стране сменится спадом по причине исчерпания разведанных запасов крупных месторождений уже в 30-х годах этого века. Реализация этого сценария ослабит позицию России как ведущего мирового производителя золота. Полностью он не реализуется, поскольку геологоразведочные работы на золото активно продолжаются, тем не менее, перспективы заметного снижения вполне реальны. Ввод в эксплуатацию даже крупного уникального, но единичного объекта – на примере месторождения Сухой Лог – не меняет ситуацию значимо в долгосрочной перспективе. При этом количество участков недр в нераспределенном фонде уменьшается, а качество их падает: если в 2017 г. прошел аукцион на Сухой Лог с 1700 т запасов, в 2021 г. – Кючус 180 т, то сейчас это объекты до 100 т и в более сложных условиях. Основу сырьевой базы составляют месторождения Сибири и Дальнего Востока: суммарно почти 86 % запасов. Лидируют Красноярский край, Магаданская область и республика Саха (Якутия). На границе Красноярского края и Якутии расположен Анабарский щит – крупная геологической структура, в которой выходят на поверхность метаморфизованные породы архейского фундамента, один из немногих древних щитов, для которого пока не выявлено промышленное золотое оруденение.

Золото в непромышленных количествах присутствует на территории междуречья рр. Лены и Анабара, и слабая минерагеническая изученность флангов Анабарского щита сохраняет перспективы обнаружения крупных и уникальных месторождений [4, 7], которые будут являться экономически целесообразными в этих условиях и будут иметь потенциал формирования новой золоторудной провинции. К тематическим работам по благородным металлам этой территории регулярно возвращались с 60-х годов XX в. Работы НИИГА, треста «Якуталмаз», Амакинской экспедиции, АК «Алроса». Но разрозненные результаты опробования разных лет имеют различную и устаревшую аналитику, материалы часто представлены в бумажном виде и не могут быть проанализированы современными методами в силу отсутствия оцифрованных данных, малой точности определения координат и низкого разрешения аналитики. В настоящий момент на территории 15 спаренных листов ГГК-200 отсутствует современная геохимическая основа: не проведено опробование потоков и почв, вторичных и первичных геохимических ореолов,

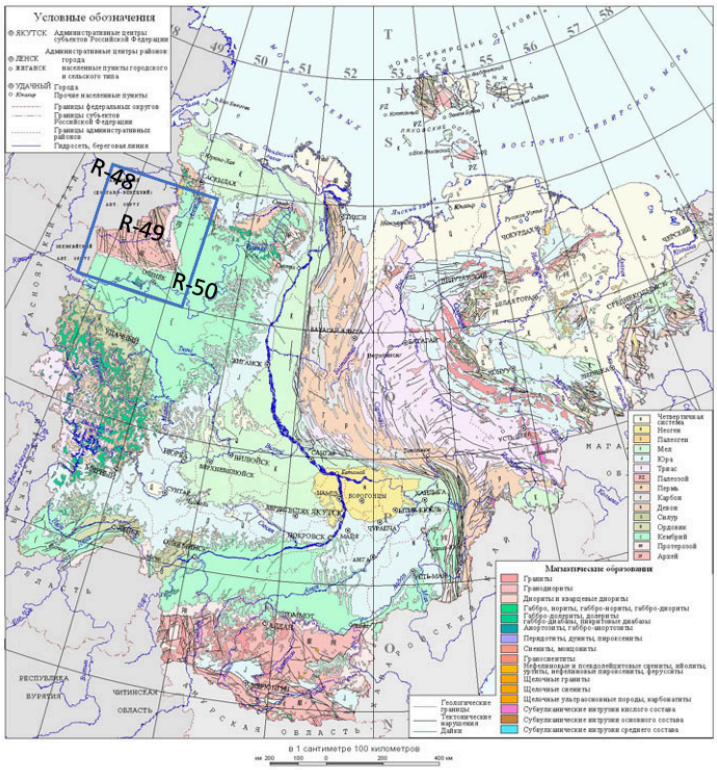


Рис. 1. Анабарский щит – северо-восток Сибирской платформы

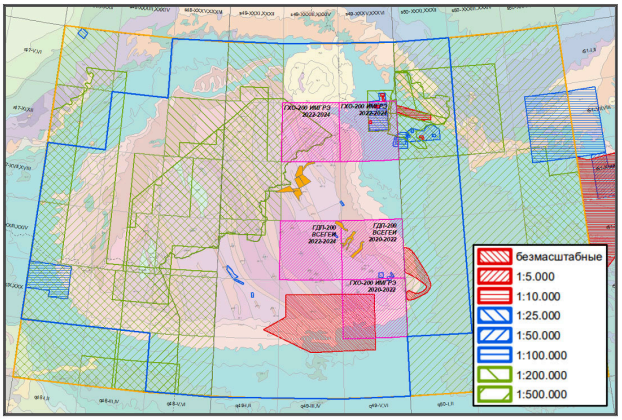


Рис. 2. Схема геохимической изученности территории Анабарского щита

отсутствует систематический отбор шлиховых проб. Это «белое пятно», размером с небольшое европейской государство, расположено в пределах перспективной на золото и металлы платиновой группы территории. Работы по программе ГДП и ГХО-200 идут, но этот процесс займет порядка 20–25 лет.

Прогнозно-поисковые работы и выявление перспективных площадей. В нашем распоряжении имеются современные методики получения и анализа данных. Геологическое таргетирование – комплекс методов для выбора перспективных участков для прогнозных работ в целях последующего лицензирования площадей.

Целесообразно провести опережающие работы в первую очередь по юго-восточной периферии Анабарского щита на основе имеющихся первичных данных, литературных материалов, данных ДЗЗ, спектральной съемки, структурного и линеаментного анализа.

По результатам предварительной камеральной обработки материалов, отчетов и публикаций создается ГИС-проект, объединяющий геологические, геохимические и геофизические данные предшественников и современные данные ДЗЗ. Проводится структурная интерпретация геохимических и геофизических аномалий, анализ мультиспектральных снимков. На основании проекта создаются рабочие модели и выделяются перспективные участки, требующие заверки.

Рекогносцировочные работы на местности позволяют ускорить процесс подготовки площадей для лицензирования. Для успешного проведения работ подготавливаются детальные карты участков с планами маршрутов. Геологами-экспертами проводятся структурные исследования для коррекции направления поисков в поле, включая полевые экспресс-методы анализа. Работами предшественников вероятные источники золота выявлены как в метаморфических породах архея, так и терригенных отложениях протерозоя. Показано региональное распространение совместно с золотом платиноидов. Изучены урановорудные образования, рудоконтролирующие зоны древних структурных стратиграфических несогласий [2], сделаны предположения о возможных типах оруденения.

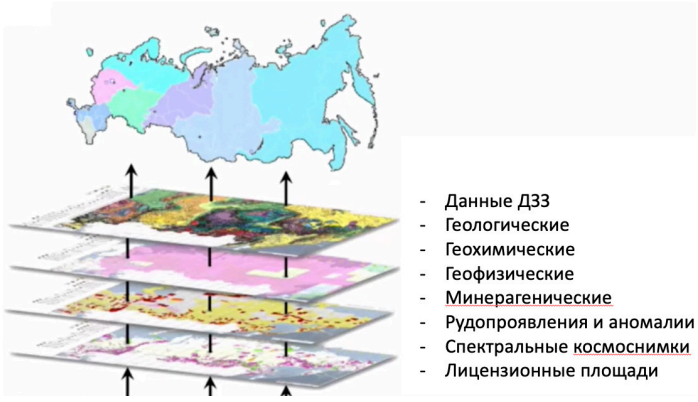


Рис. 3. Создание послойного ГИС-проекта для геологического таргетирования

Типы оруденения. На изучаемой территории прогнозируются различные типы оруденения:

Витватерсрандский тип – золотоносных псевдоконгдомератов – по минеральной ассоциации, морфологии и гранулометрии частиц золота. Минеральная ассоциация (самородное золото, минералы платиновой группы, проявления урана и кластогенные алмазы) характерна для рифтогенных структур и сходна с ассоциацией Витватерсранда [4, 6]. Материалы предшественников показывают широкое распространение поисковых признаков золото-платино-уранового оруденения, имеются находки золотоносных (псевдо)конгломератов, гравелитов и брекчий. Сходство строения Сибирской и Южно-Африканской платформ, приведшее в свое время к открытию Якутской алмазоносной провинции, возможно этим не исчерпывается.

Карлинский тип – крупные метасоматические тела в карбонатных вмещающих породах, которые содержат субмикроскопическое тонкодисперсное золото во вкрапленном пирите или марказите. Распространены в областях, подстилающихся архейскими породами кристаллического фундамента и могут формировать крупные по запасам месторождения.

Медно-порфировый – работами ВСЕГЕИ выделена золотоурароносная Билляхская зона с перспективами золотоносности молибден-порфирового типа и геохимически значимыми содержания платины.

Каждый из типов может привести к выявлению крупных и уникальных объектов.

Методика. Создание современной цифровой металлогенической основы на территорию Анабарского массива и перекрывающих отложений, прогнозирование и изучение потенциально рудоносных структур современными методами исследования. Поиск золоторудных месторождений – это поиск содержащих их структур, так как геология полезных ископаемых – есть структурная геология в ее «полезном» вещественном выражении. Статистика открытий последнего времени показывает, что возможность выявления рудных объектов, перекрытых безрудными образованиями, на существенных глубинах до 300–600 м с применением дистанционных методов и бурения уже не является редким исключением. Для изучаемой территории существует перспектива выявления не единичных объектов, а нового для региона типа оруденения в масштабе золоторудно-россыпной провинции, что соответствует масштабу государственной стратегической инициативы «Геология: возрождение легенды» и привлечению к работе в регионе ведущих недропользователей золоторудной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Долгушин С. С., Черкасов Г. Н., Долгушин А. П. Золотоурановый Витватерсранд и поиски его аналогов по южному обрамлению Сибирской платформы. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2018. – 262 с.
2. Молчанов А. В. Металлогения урана Алданского и Анабарского щитов : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. доктора геол.-минерал. наук / Молчанов Анатолий Васильевич. – Санкт-Петербург, 2004. – 42 с.
3. Никифорова З. С. О возможности формирования крупных золоторудных месторождений мезозойского этапа рудообразования (восток Сибирской платформы) // Журнал Сибирского федерального университета. – 2017. – Вып. 7, Т. 10. – С. 908–921.
4. Старостин В. И., Избеков Э. Д., Разин Л. В., Сакия Д. Р. Перспективы обнаружения крупных и уникальных месторождений благородных металлов на северо-востоке Сибирской платформы // Вестник Московского Университета. Сер. 4. Геология. – 2016. – № 2. – С. 34–43.
5. Старостин В. И., Сакия Д. Р. Эволюция взглядов на происхождение золоторудного месторождения Витватерсранд // Вестник Московского Университета. Сер. 4. Геология. – 2015. – № 2. – С. 32–38.
6. Черкасов Г. Н. Вероятные аналоги золото-уранового Витватерсранда по южному обрамлению Сибирской платформы // Петрология магматических и метаморфических комплексов. 2017. – Вып. 9. – С. 448–454.

Карамышев А. В. (Andrey_Karamyshev@vsegei.ru)
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского», г. Санкт-Петербург

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КАРТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОТЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Доклад посвящен применению методов глубокого машинного обучения в задачах комплексной интерпретации геолого-геофизических данных и прогноза ПИ на примере выделения металлотектов, связываемых с золоторудными объектами в пределах Центрально-Колымского района, с последующей верификацией результатов по априорным геологическим данным.

Ключевые слова: машинное обучение, искусственные нейронные сети, распознавание образов, комплексирование геофизических данных, золото, Центрально-Колымский регион.

Наблюдающийся в последнее десятилетие всплеск интереса к искусственному интеллекту не обошел стороной и геологические науки, что хорошо прослеживается по росту числа публикаций с упоминанием машинного обучения (МО) в профильных изданиях [2]. Особое внимание при этом уделяется подклассу методов глубокого МО, работающих с так называемыми «глубокими», т. е. многослойными нейросетевыми моделями, используемых для создания модельных абстракций высокого уровня на основе частных примеров без явного программирования. В качестве одной из перспективных областей их применения рассматриваются задачи автоматизированного прогноза полезных ископаемых (ПИ), в т. ч. в рамках теоретически сформулированной еще в конце 1980-х годов концепции «картирования минерального потенциала» (англ. mineral prospectivity mapping) [1], заключающейся в выявлении на основе анализа доступных данных так называемой «картировочной функции», т. е. закона, связывающего физические объекты и их отражение в признаковом пространстве. Однако существующие на сегодняшний день решения для машинного прогноза ПИ пока не демонстрируют убедительных воспроизводимых результатов, что во многом связано со спецификой используемых входных данных, зачастую не отвечающих базовым для МО требованиям как к объему и сбалансированности обучающей выборки, так и к качеству аннотации данных.

Вышеуказанные проблемы многократно усугубляются при постановке задачи непосредственного выделения рудных объектов по эталонам-аналогам, так как последние в силу своей малочисленности и принципиальной уникальности заведомо не позволят сформировать достаточно представительную для методов глубокого МО выборку. Кроме того, непосредственно рудные объекты зачастую не имеют отчетливого проявления в геофизических полях и могут быть выделены лишь по уникальному сочетанию аномальных эффектов, производимых геологическими телами и структурами, играющими роль металлотектов для данного типа ПИ.

Поэтому, более эффективно (особенно с учетом ограничений нейросетевых методов) выполнять автоматизированное выделение отдельных элементов геологического строения, генетически связываемых с определенным типом оруденения, а не специфического для определенной пространственной области их сочетания, отвечающего локации предполагаемого рудного объекта. В этом случае выделение перспективных участков может выполняться путем экспертного или автоматизированного анализа результатов распознавания элементов геологического строения на базе априорной прогнозной физико-геологической модели целевого объекта. Такой подход решает проблему недостаточности обучающей выборки ввиду наличия большого количества уже размеченных в рамках геологического картирования данных.

В данной работе решалась тестовая задача распознавания элементов геологического строения, рассматриваемых как факторы локализации крупнообъемного золотого оруденения в пределах Центрально-Колымского района, а именно интрузивных массивов среднего-кислого состава и выходов вулканогенно-осадочных пород атканской свиты.

Для задачи выделения интрузивных массивов в признаковое пространство были включены только потенциальные геофизические поля и их трансформанты. Отказ от использования ограниченно доступных данных АГС-съемки позволил вдвое увеличить обучающую выборку и получить модель, не зависящую от данных, мало представленных на смежных территориях.

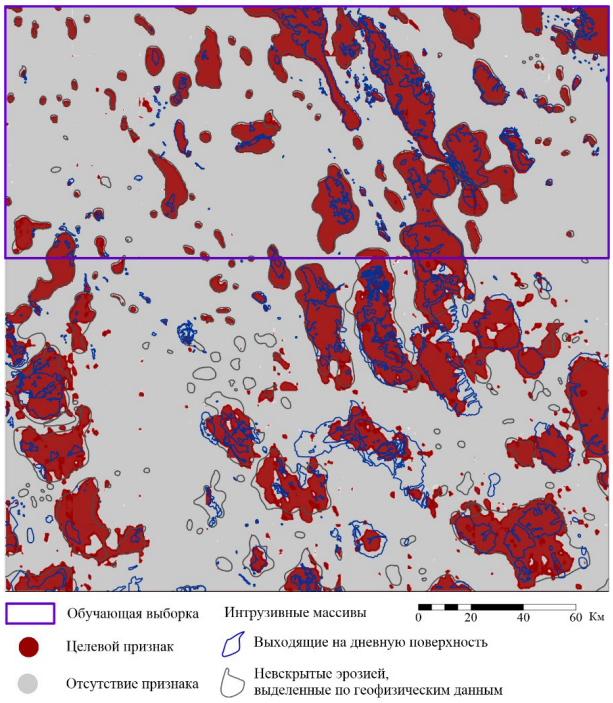


Рисунок. Покрытия с распознанными образами интрузивных массивов среднего-кислого состава по эталонной и целевой площадям

В случае же распознавания пород атканской свиты, относительно слабоконтрастных в потенциальных полях в сравнении с радиогеохимическими, обучение выполнялось только в пределах обеспеченной АГС-данными Аян-Юряхской зоны. Состав используемого набора трансформант выбирался исходя из ожидаемого характера проявленности в них целевых объектов.

Векторные покрытия, содержащие контуры интрузивных массивов и границы выходов литологических комплексов, получены из цифровых макетов карт дочетвертичных образований ГГК-1000/3 и дополнены предполагаемыми контурами невскрытых эрозией интрузивных тел, выделенных по результатам комплексной интерпретации геофизических данных. На их основе созданы соответствующие бинарные растровые покрытия-маски формата .grd. Из подготовленных ЦМ исходных данных различных методов, их трансформант и слоев аннотации сформирована сводная табличная база данных для эталонной и целевой площадей в форматах .gdb и .csv.

Программный код, включающий необходимые процедуры импорта данных, их предобработки, обучения нейронных сетей, визуализации и экспорта результатов был реализован на языке Python. Для работы с моделями МО использовалась программная библиотека TensorFlow 2.0.

После импорта исходной БД выполнялось сокращение признакового пространства до набора необходимых в данной задаче покрытий и разбиение данных по регулярной сети на фрагменты, размерами 256×256 с формированием обучающего и тестового множеств. Последнее содержало 60 % исходных данных в южной части площади. Для контроля процесса обучения в составе оставшихся 40 % обучающего множества в свою очередь резервировалось 20 % случайных одиночных фрагментов, формирующих так называемую валидационную выборку. Для искусственного увеличения имеющейся недостаточной выборки и повышения робастности модели обучающий датасет увеличивался в 10 раз простым копированием, после чего к нему применялся комплекс процедур аугментации. Последние включали случайные повороты, отражения, ограниченное масштабирование и внесение гауссова шума.

Полученные таким образом обучающий и валидационный наборы данных тензорного формата, стандартного для обучения нейронных сетей в TensorFlow, перемешивались, разбивались на пакеты по четыре элемента и подавались на вход нейросети.

Использовалась нейронная сеть с относительно простой сверточной архитектурой типа U-Net [4], хорошо себя зарекомендовавшей в задачах сегментации слабоконтрастных изображений. Сеть состоит из сверточной части или энкодера, представленной набором блоков с чередованием слоев свертки, пакетной нормализации и активации с функцией LeakyReLU [3], и развертоочной – декодера, где для выполнения повышающей дискретизации используются слои транспонированной свертки. Для предотвращения переобучения сети, происходящего при взаимной адаптации нейронов к конкретным обучающим примерам, в декодер добавляются также слои исключения или дропаута, обнуляющие на каждой эпохе обучения выходы некоторого количества случайных нейронов [5]. Передача пространственной информации из энкодера в декодер достигается с использованием «skip connections» – межслоевых связей с пропуском блоков. В качестве функции потерь использована комбинация «binary crossentropy» и «dice», обеспечивающая неплохую сходимость даже при использовании несбалансированного набора данных. Веса классов при обучении задавались в соответствии с их представленностью в выборке.

По результатам нескольких циклов обучения модели распознавания интрузивных массивов на 30-й эпохе с набором признаков, включающим составляющую поля силы тяжести от слоя 4–5 км, его горизонтальный градиент и модуль полного градиента аномального магнитного поля, достигнута сходимость на уровне Dice = 77,8 на валидации.

Аналогичные результаты получены для модели, обученной на выделение выходов атканской свиты по набору данных, включавшему надфоновые компоненты радиогеохимического поля и карту районирования гравитационного и магнитного полей. Оптимальный результат без переобучения модели достигнут на 40-й эпохе со значением метрики Dice = 79,2 на валидации.

Применение полученных моделей к тестовым данным и сопоставление результатов с реально закартированными и выделенными по геофизическим данным контурами целевых объектов демонстрирует общее совпадение положения фактических и прогнозируемых крупных тел, с частными расхождениями в геометрии и мелких деталях (рисунок). Последнее может быть связано как с неоднородностью вещественного состава и, следовательно, проявленности в полях отдельных массивов и литологических разностей, так и с недостатками использованной разметки, не всегда корректно отражающей реальную форму тел.

Полученные результаты позволяют предполагать возможность использования предложенного алгоритма для автоматизированного выделения геологических образований, в т. ч. выступающих в роли факторов контроля оруденения, по стандартному набору аэрогеофизических данных при условии их достаточной контрастности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Bonham-Carter G. F., Agterberg F. P., Wright D. F. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia // Digital Geologic and Geographic Information Systems. – 1989. – № 10. – P. 15–23.
2. Dramsch J. S. 70 years of machine learning in geoscience in review // Advances in geophysics. – 2020. – № 61. – P. 1–55.
3. Maas A. L., Hannun A. Y. and Ng A.Y. Rectifier nonlinearities improve neural network acoustic models // Proc. Icml. – 2013. – V. 30, № 1. – P. 3.
4. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. – 2015. – P. 234–241.
5. Wan L., Zeiler M., Zhang S., Le Cun Y., Fergus R. Regularization of neural networks using dropconnect // International conference on machine learning. – 2013. – P. 1058–1066.

Кирсанов А. А. (Aleksandr_Kirsanov@vsegei.ru),
Липияйнен К. Л. (Konstantin_Lipiyainen@vsegei.ru),
Смирнов М. Ю. (Mihail_Smirnov@vsegei.ru),
Кирсанов Г. А. (Georgi_Kirsanov@vsegei.ru)
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Рассматриваются возможности применения аэрогиперспектральных данных для решения прогнозно-поисковых задач. Определены благоприятные и неблагоприятные территории с различными геолого-ландшафтными условиями для аэрогиперспектральной аэросъемки. Приведены этапы технологии исследований от проведения аэросъемки до получения схем распространения гидротермально-метасоматических образований. Показаны результаты спектрального анализа аэрогиперспектральных данных с использованием спектров минералов-индикаторов и горных пород в виде схем распространения метасоматитов.

Ключевые слова: прогнозно-поисковые работы, аэрогиперспектральные данные, минералы-индикаторы, гидротермально-метасоматические породы, спектральная библиотека, спектральный анализ, полезные ископаемые.

Необходимость повышения прогнозно-поисковой эффективности региональных геологических работ с целью пополнения фонда перспективных объектов определяет актуальность проведения исследований с использованием новых источников информации, в том числе, гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли нового поколения [1].

Технологии получения гиперспектральных данных основаны на построении изображений земной поверхности в каждом из узких интервалов (нанометры), регистрируемого спектра электромагнитных волн как отраженного, так и собственного теплового излучения конкретных природных объектов, в том числе, горных пород. Поэтому возможности применения данных аэрогиперспектральной съемки (АГС) для решения геологических задач в значительной степени зависят от геолого-ландшафтных условий изучаемых территорий. Наиболее благоприятными из них для проведения АГС являются горные и холмистые районы с выходами коренных пород на поверхность. Это позволяет при выполнении съемочных работ получать спектральные характеристики конкретных горных пород. К благоприятным также относятся площади распространения делювиальных, элювиальных, пролювиальных и коллювиальных отложений, открытые или с редкой травянисто-кустарниковой растительностью, на склонах гор и на равнинах. Эти отложения связаны с коренными породами и находятся на дневной поверхности, что также позволяет при выполнении съемочных работ получать их спектральные характеристики. Непригодными являются территории: развития рыхлых четвертичных отложений; со сплошным покровом растительности и почв. Они закрывают горные породы, и при съемке отображаются спектральные характеристики рыхлых отложений, растительности и почв, которые находятся на дневной поверхности.

Материалы АГС могут быть использованы при решении следующих задач (с использованием спектрального анализа гиперспектральных дистанционных основ (ГДО) и библиотеки спектров минералов и горных пород):

1. При средне- и крупномасштабном геологическом картировании: картирование пород на труднодоступных участках по эталонным спектрам таких пород.

2. При прогнозных исследованиях на твердые полезные ископаемые: выявление минералов-индикаторов (и их ассоциаций) геологических обстановок, перспективных на полезные ископаемые; выявление гидротермально-метасоматических пород как индикаторов полезных ископаемых.

3. При поисковых работах: выявление зон околорудных изменений рудовмещающих пород (грейзенизация, скарнирование, пропилитизация, березитизация, окварцевания, серицитизация, хлоритизация, карбонатизация, сульфидизация и др.).

Технология исследований включает: проведение АГС; составление перечня эталонов минералов и пород на основе комплексного геолого-минерагенического анализа территории; спектрометрирование пород и минералов с формированием библиотеки спектров; составление ГДО по данным АГС; спектральный анализ ГДО с использованием библиотеки спектров минералов и горных пород; выделение гидротермально-метасоматических пород; определение перспективных площадей для постановки ГРР.

В настоящее время во ВСЕГЕИ имеется комплекс аэросъемочной и наземной аппаратуры, включающий авиационный гиперспектрометр, позволяющий получать аэроснимки в спектральных диапазонах 380–2500 нм и в 625 каналах, с пространственным разрешением 1 м; полевой полнодиапазонный портативный спектрорадиометр PSR+ (спектральный диапазон 350–2500 нм, спектральное разрешение 0,3–0,8 нм, 1024 канала), для создания библиотеки спектров минералов и горных пород. Использование комплекса позволяет проводить исследования на качественно новом технологическом уровне и разрабатывать пионерную технологию аэросъемки, обработки и прогнозной интерпретации гиперспектральных данных для выявления площадей, перспективных на твердые полезные ископаемые.

Исследования проводились на участке в пределах листов R-49-IX, X, который сложен глубоко метаморфизованными образованиями архея и нижнего протерозоя: различного петрогра-

фического состава гнейсами, кристаллическими сланцами, гранитогнейсами, испытавшими ультраметаморфические преобразования от умеренных до интенсивных (мигматизация, гранитизация), а также диафторические изменения. В породах также проявлены процессы катаклаза, милонитизации, бластокатаклаза и бластомилонитизации. Золоторудная минерализация приурочена преимущественно к выходам кристаллических пород Анабарского щита и представлена пунктами минерализации малосульфидно-золото-кварцевой и золото-кварцевой формаций. Золотосодержащие метасоматиты представлены узкими (1–3 м) линейными зонами катаклазированных и милонитизированных пород в разной степени (0,5–20 %) обогащенных сульфидами. Обогащенные сульфидами зоны низкотемпературных кварц-альбит-хлоритовых метасоматитов являются наиболее перспективными для обнаружения промышленных концентраций золота. Поэтому *основной задачей спектрального анализа ГДО являлось выделение кварц-хлорит-полевошпатовых метасоматитов.*

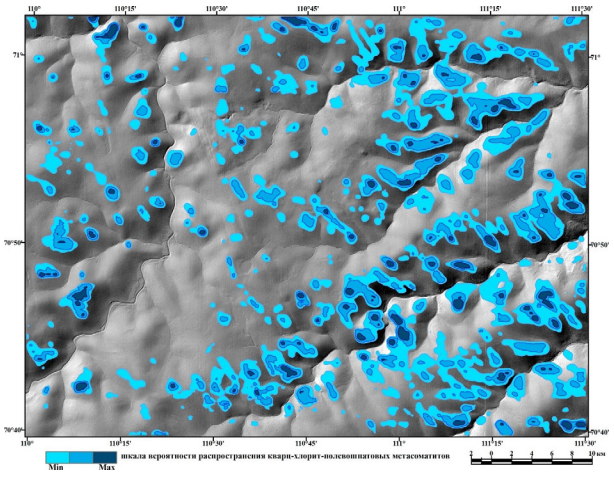


Рис. 1. Схема вероятностного распространения кварц-хлорит-полевошпатовых метасоматитов, наложенная на цифровую модель рельефа

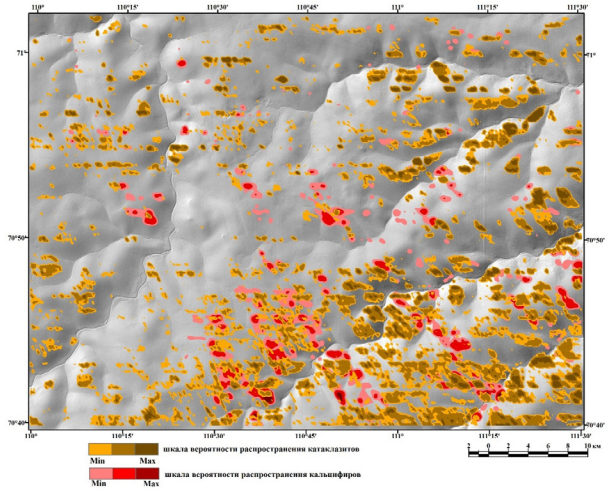


Рис. 2. Схема вероятностного распространения кальцифиров и катаклазитов, наложенная на цифровую модель рельефа

Спектральный анализ ГДО позволил получить ореолы вероятного распространения высоко- и низкотемпературных метасоматитов (в градации min-max), которые развиты среди катаклазированных архейско-протерозойских в той или иной степени мигматизированных пород, гранитогнейсов, нижнепротерозойских диафторитоа, а также в архейских и раннепротерозойских гранитах. В пределах контуров метасоматитов отмечается скопление фигуративных точек рудных минералов-индикаторов. Ореолы метасоматических преобразований пород отмечаются в средней части и на востоке участка (рис. 1).

Сопоставление схемы распространения метасоматитов с результатами геохимического опробования на благороднометалльное оруденение, проведенное предыдущими (Куликов и др., 1984) и последующими исследованиями ВСЕГЕИ в 2022–23 гг., показывает, что на выделенных перспективных участках ореолы метасоматитов в большинстве случаев коррелируются с литохимическими аномалиями золота (и других рудных элементов – полиметаллы, редкоземельные элементы), а также с комплексными рудогенными аномалиями.

В целях выявления зон катаклазитов-милонитов в качестве эталонных для спектрометрирования были выбраны соответствующие образцы пород. Причём в нескольких был отмечен К-полевошпатовый бластез. На схеме распространения пород дислокационного метаморфизма точки отбора эталонных образцов локализуются в вероятностных ореолах распространения данных пород (рис. 2).

Опыт проведенных работ показывает, что использование спектрального анализа ГДО позволяет на ранних стадиях геологоразведочного процесса выявлять потенциально перспективные площади на различные виды твердых полезных ископаемых Основное преимущество использования гиперспектральных данных заключается в возможности получать информацию о распространении минералов и гидротермально-метасоматических пород по территории работ, во-первых, в труднодоступных районах, во-вторых, по всей исследуемой площади (а не точечно, как при анализе образцов, отобранных при полевых работах).

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2022 г. № 049-00018-22-01.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Смирнов М. Ю., Кирсанов Г. А. Гиперспектральные данные дистанционного зондирования Земли – новый источник информации для выявления гидротермально-метасоматических пород : сборник тезисов докладов «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. XII Международная научно-практическая конференция (11–14 апреля 2023 г.). – М. : ЦНИГРИ, 2023. – С. 223–226.

Киселёв Р. В. (ruslan.kiselev@nextgis.com)
ООО «НекстГИС», г. Москва

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ПЛАТФОРМА NEXTGIS – ГОТОВОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГИС ПРЕДПРИЯТИЯ ИЛИ МИГРАЦИИ С ИНОСТРАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Компания «НекстГИС» с 2011 года производит и поддерживает комплекс базового и прикладного ПО ГИС для настольных, серверных и мобильных операционных систем. Компанией создана геоинформационная платформа NextGIS – готовое решением для работы с растровыми и векторными геоданными, под любые цели и задачи предприятия. Платформа доступна как в облаке, так и для развертывания на сервере заказчика.

Ключевые слова: геоинформационные системы, NextGIS, геоданные, импортозамещение, автоматизация, базы данных.

Компания «НекстГИС» с 2011 года производит и поддерживает комплекс базового и прикладного ПО ГИС для настольных, серверных и мобильных операционных систем. Специалисты компании имеют более чем 15-летний опыт разработки ГИС и работы с пространственными данными.

На текущий момент компанией создана геоинформационная платформа NextGIS, которая является готовым решением для работы с растровыми и векторными геоданными под любые цели и задачи предприятия. Платформа доступна как в облаке, так и для развертывания на сервере заказчика.

Среди пользователей программных продуктов семейства NextGIS такие организации, как Росреестр, Минтранс, ЦНИГРИ, Институт им. Карпинского, Росгеолэкспертиза, Гидроспецгеология, Институт Мерзлотоведения, ВИМС, NordGOLD.

Платформа позволяет:

- Создавать и загружать неограниченное количество векторных данных, поддерживается прямой импорт символики QGIS.
- Загружать большие растры; поддерживается технология Cloud Optimized GeoTIFF.
- Подключать и работать с данными Росреестра.
- Подключать TMS, WMS, WFS слои из внешних источников.
- Создать неограниченное количество веб карт на базе всех этих данных.
- Публиковать данные по протоколам TMS, WMS, WFS, MVT, COG, с помощью REST API и в виде интерактивных веб-карт.
- Организовать многопользовательский режим работы.
- Редактировать векторные данные и атрибуты прямо в браузере.
- Экспортировать в форматы Esri Shapefile (*.shp) GeoJSON (*.json), Comma Separated Value (*.csv), CSV for Microsoft Excel (*.csv), AutoCad DXF (*.dxf), MapInfo TAB (*.tab), MapInfo MIF/MID (*.mif/*.mid), GeoPackage (*.gpkg), с возможностью выбора системы координат, в том числе пользовательской.

• Подключаться к своим геоданным из мобильного и настольного ПО.
• Работать с 3D; поддерживаются: 3D модель, 3D стиль, 3D тайлсет, Terrain Provider, 3D сцены).

Платформа имеет возможности администрирования и авторизации/аутентификации пользователей посредством OAuth2, интегрируется с LDAP.

Специалисты имеют возможность разрабатывать на основе платформы собственные геоинформационные приложения, реализовано полноценное API.

Все базовое ПО NextGIS включено в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. На все программное обеспечение NextGIS получены свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Китаев А. В. [1] (kitaevageo@ya.ru), Шенбергер Н. А. [2] (shenberger.na@ya.ru)
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва,
[2] НФ ФГБУ «ВНИГНИ», г. Новосибирск

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТРАЖЕНИЯ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН В ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ СТАНДАРТНОГО КАРОТАЖА В СКВАЖИНАХ ПОИСКОВЫХ УЧАСТКОВ САЛАИРСКОЙ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Приводится описание интерпретации недостаточно широко освещаемых в настоящее время стандартных методов скважинной геофизики для выявления потенциально перспективных интервалов, отвечающих зонам полиметаллической минерализации. Исследования проводились по объекту «Поисковые работы с оценкой перспектив колчеданно-полиметаллического с золотом оруденения основных рудных районов и узлов Салаирской металлогенической зоны» (Росгеолфонд. Геологический отчет № 530198, 2017). При интерпретации геофизических данных, помимо основной задачи разделения на литологические разности и типы пород, проведен типологический анализ кривых и определены граничные значения наиболее информативных классов по каждому из методов скважинной геофизики, выделены классы, охватывающие интервалы максимальных содержаний Cu, Pb и Zn, что позволило определить геофизические критерии присутствия полиметаллической минерализации, а выделенные перспективные интервалы рекомендовать к первоочередному опробованию.

Ключевые слова: Салаир, геофизический комплекс, полиметаллическое оруденение, каротаж, минерализованные зоны, радиоактивность, электрическое сопротивление, аномалия.

В последние годы, когда большая доля затрат на проведение ГРР имеет прямую зависимость от оперативности принятия решений по выбору направления их производства, значительно повышается вес косвенных признаков наличия оруденения, полученных относительно малозатратными методами опоискования, среди которых значительная роль отведена геофизическим методам поисков. По ряду причин сегодня среди сервисных геофизических компаний сложно найти организации, ориентированные на проведение рудного каротажа, имеющие в своем арсенале оборудование для выполнения исследований методами рентгенорадиометрического каротажа (РРК) и контактным способом поляризационных кривых (КСПК), хорошо зарекомендовавших себя при выявлении интервалов прожилково-вкрапленных руд, в частности, на Рудном Алтае. Чаще всего применяемый комплекс включает методы: гамма-каротаж (ГК), каротаж магнитной восприимчивости, гамма-гамма каротаж (ГГК) и каротаж, направленный на изучение удельного сопротивления (КС, БК и т. п.), дополненные кавернометрией и инклинометрией. Основное предназначение – это литологическое расчленение пород. Редко проектами ГРР предусмотрено выполнение каротажа методом электродного потенциала (МЭП), но работает он далеко не во всех условиях и только на сливные руды. То, что вторичные метасоматические преобразования в породах и связанное с ними полиметаллическое оруденение приводят к изменениям физических свойств пород, не вызывает сомнения, и на качественном уровне это можно наблюдать в относительном уменьшении естественной радиоактивности на кривой ГК, отно-

сительном увеличении плотности на кривой ГГК, повышенной дисперсии на кривой КС. Дать какую-либо количественную характеристику подобным изменениям и было основной задачей.

В основе работы лежит сопоставление результатов каротажа 26 скважин с геологическим описанием керна, дополненных химическими и спектральными анализами.

Рудные интервалы на качественном уровне просматриваются по характеру поведения кривых ГГК, КМВ, реже по МЭП и КС. Последние два метода отмечают только хорошо проводящие массивные сливные руды [1]. Вкрапленные руды, а также руды с высоким содержанием сфалерита, из-за особенностей этих методов оказываются пропущенными.

Принимая во внимание, что вкрапленные руды, так или иначе, оказывают свое влияние на значения объемных методов каротажа ГК, ГГК и КС, по рудной скважине 1С был проведен типологический анализ кривых и определены граничные значения наиболее информативных классов по каждому из этих методов.

При сопоставлении данных классификации с результатами химического анализа выделены классы, охватывающие интервалы максимальных содержаний Cu, Pb и Zn. Это позволило определить геофизические критерии присутствия полиметаллической минерализации применительно к использованному комплексу ГИС. Минерализованным зонам скважины 1С соответствуют интервалы пород, характеризующиеся:

- естественной радиоактивностью 5–9 мкР/ч;
- кажущимся сопротивлением 124–1422 Ом·м;
- относительно высокими объемными плотностями по ГГК 0,08–0,1 у. е.

В целях оптимизации описанной методики под условия других участков Салаирской металлогенической зоны, имеющих несколько другой по степени основности вещественный состав вмещающих пород, отражающийся, в первую очередь, в плотностных и радиоактивных свойствах, для методов ГК и ГГК был рассчитан двойной разностный параметр (ΔJГК, ΔJГГК) [2], позволяющий проводить классификацию в условных уровнях, в большей степени зависящую от характера изменения кривых, а не от абсолютных значений параметров:

$$\Delta J\text{ГК } (\Delta J\text{ГГК}) = (J_{\gamma} - J_{\gamma,\text{ мин}}) / (J_{\gamma,\text{ макс}} - J_{\gamma,\text{ мин}}), \qquad (1)$$

где J_{γ}, $J_{\gamma,\text{ мин}}$, $J_{\gamma,\text{ макс}}$ – показания ГК (ГГК) в изучаемом интервале, в опорном интервале с минимальными значениями, в опорном интервале с максимальными показаниями соответственно. Согласно выполненным преобразованиям, параметры классификации по граничным значениям ΔJГК и ΔJГГК для всей Салаирской металлогенической зоны представляются в следующем виде (таблица).

Значимыми для оценки перспективности на полиметаллическое оруденение в этом случае выступают классы: по ΔJГК с граничными значениями 0,3–0,6 у. е., по ΔJГГК 0,1–0,4 у. е.

Технология определения минерализованных интервалов по материалам ГИС была опробована на скважине 2Р Локтевского поискового участка. В результате выделено 24 интервала различной мощности (от 0,2 до 23 м), перспективных на выявление полиметаллической минерализации. По данным полевого многоэлементного спектрального анализа, выполненного рентгенфлуоресцентным анализатором, практически все выделенные по ГИС интервалы характеризуются высокими значениями суммы процентного содержания меди, свинца и цинка.

Результаты интерпретации материалов каротажа, полученные по скважинам 1С и 2Р, позволили выявить характерные закономерности отражения минерализованных зон в физических полях комплекса ГИС и их производных, которые можно использовать для полуавтоматического выделения зон полиметаллической минерализации. При этом ошибки выделения перспективных интервалов сведены к минимуму за счет снижения влияния человеческого фактора.

Главными признаками наличия полиметаллической минерализации по данным комплекса каротажа скважин приняты характеристики, относящиеся к первому классу (см. таблицу):

- комплексные аномалии двойных разностных параметров ГК и ГГК с граничными значениями по амплитуде для ΔJГК 0,3–0,6 у. е., для ΔJГГК 0,1–0,4 у. е.;
- зоны относительно низких кажущихся сопротивлений 124–1422 Ом·м на фоне высоких (до 5000–8000 Ом·м) аномалий;

Таблица. Параметры классификации по двойным разностным параметрам ГК и ГГК

dГК				dГГК				КС		
класс	мин	макс	сред	класс	мин	макс	сред	класс	мин	макс
1	0,323	0,643	0,449	1	0,183	0,404	0,34	1	890,8	126,7
2	0,698	0,812	0,749	2	0,514	0,578	0,549	2	2508,4	2231,2
3	0,233	0,332	0,282	3	0,725	0,734	0,729	3	8050,4	5303,4
4	0,85	1	0,93	4	0,75	0,991	0,87	4	14106	11000
5	0,040	0,2	0,12	5	0,06	0,156	0,128			

• зоны аномальных значений кавернометрии, иногда сопровождающиеся всплесками на кривой магнитной восприимчивости, характеризующие зоны трещиноватости с возможной рудной минерализацией;

• интервалы окварцованных высокоуглеродистых (графитизированных) сланцев, отражающихся высокой магнитной восприимчивостью и резкой изменчивостью ρк от проводника до диэлектрика.

По обозначенным критериям с применением вышеописанной методики интерпретации материалов ГИС были проанализированы данные каротажа по скважинам Локтевского, Бобровского, Верхне-Ненискоого и Бахтинского поисковых участков Пуштулимской перспективной площади, Волотомихинского, Которовского, Волкова Заимка и Большетайлинского участкам Еловско-Которовской площади и Огневозаимсковскому участку Огнево-Романовской перспективной площади. На всех участках получены положительные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика : Учебник для вузов. – М. : Недра, 1991. – 368 с.
2. Фельдман И. И., Блюмцев А. М. Ядерно-физические методы исследования скважин на месторождениях твердых полезных ископаемых // Ядерная геофизика. Сб. статей. – М. : Атомиздат, 1972. – С. 81–90.

Козлов Г. А. [1], Мухина Е. И. [1], Чумаков А. В. [2], Баранов Л. Н. [3]

[1] ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург,

[2] «ЦНТ Инструментс», г. Санкт-Петербург

[3] ВГРЭ «АК АЛРОСА», г. Мирный

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ЧАРО-СИНСКОЙ ЗОНЫ (РЕСПУБЛИКА САХА, ЯКУТИЯ)

В материалах приводятся данные о россыпных проявлениях и минералого-геохимических особенностях золота среднего течения р. Лена и ее притоков, моделируются источники и условия формирования экзогенной золотоносности территории.

Ключевые слова: золото, россыпные месторождения, чаро-синская зона, прогноз.

Россыпная золотоносность территории среднего течения р. Лена и ее притоков имеет длительную историю изучения и промышленного освоения. С 1903 по 1947 гг. более чем на семидесяти участках велась старательская добыча золота из русловых и реже террасовых отложений. Максимум добычи приходился на 1932–1940 гг., когда в бассейнах рек Тонгуо и Намана действовало небольшое предприятие треста «Якутзолото», а в верховьях р. Чара шла дражная добыча [5]. При этом, несмотря на почти непрерывное распространение золота в аллювии и наличие благоприятных участков для его концентрации, россыпные объекты территории имеют незначительные параметры, детально не анализировались, а коренные источники вещества до сих пор являются темой дискуссий.

Сотрудниками отдела металлогении и геологии МПИ ФГБУ «ВСЕГЕИ» и ВГРЭ «АК АЛРОСА» с 2018 г. ведется работа по изучению геологического строения и перспектив золотоносности данной площади. Проведено шлиховое, в том числе укрупненное (пробы до 300 л) и мелкообъемное валовое опробование (пробы 1–3 м^3) русловых, косовых и террасовых отложений рек Мархa, Намана, Намыльдилах, Бирюк и ряда их притоков, в большинстве которых было установлено золото, вплоть до весового содержания.

В геологическом строении рассматриваемой площади принимают породы венд-кембрийского карбонатного комплекса, относящиеся к солеродно-лагунному и карбонатно-глинистому типу разреза. Породы ордовика и силура представлены карбонатно-глинистыми, терригенно-карбонатными отложениями. Выше по разрезу фрагментарно развиты трапповые вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования среднего–верхнего девона. Локально по данным комплексам развита площадная кора выветривания, возраст которой оценивается как доюрский. Данные комплексы плащеобразно перекрываются отложениями юры терригенного состава, включающих интенсивно ожелезненные грубообломочные базальные отложения. Магматические образования представлены силлами, пластовыми интрузивами, дайками и штоками чаро-синского комплекса габбро-долерит – сиенитового состава. Площадь характеризуется простым тектоническим строением при общем северо-северо-восточном залегании. Разломы имеют существенно раздвиговую кинематику, при этом в северо-западном направлении интенсивность вертикальных перемещений заметно увеличивается, вплоть до формирования выраженных горстов и грабенов.

Несмотря на ряд проведенных в пределах чаро-синской площади региональных прогнозно-поисковых [2, 4, 5], а также тематических работ [1, 3, 6, 7], масштаб изученности ее на россыпные объекты остается весьма незначительным. В пределах площади выявлены 9 россыпных проявлений протяженностью от нескольких сотен метров до нескольких десятков километров с неравномерной степенью изученности и освоенности. Наиболее известными являются объекты, расположенные в ее северной части, включая проявления *Безымянное, Эт-Кюэль, Усун-Юрях* в долине р. Намана, а также *проявление Намыльдилахское* в русле одноименной реки, соответствующие историческим участкам добычи золота трестом «Якутзолото» [2]. По имеющимся данным, добыча осуществлялась из современных и верхнечетвертичных русловых и косовых аллювиальных отложений. Среднее содержание золота варьировало от 200 до 500 мг/м^3, достигая в плотиковой части галечников 1 390 мг/м^3 [2, 4] на проявлениях в долине р. Намана и до 1000 мг/м^3 в долине р. Намыльдилах [2, 4]. Данные о степени отработки и параметрах россыпей отрывочны, однако на космоснимках долины р. Намыльдилах до сих пор можно увидеть отводные каналы и частично рекультивированные выработки на протяжении 30 км течения русла выше устья р. Бору. Помимо вышеописанных проявлений имеется ряд единичных проб и участков, где валовым опробованием установлены содержания Au от 50–200 до 1000 мг/м^3 в долине р. Бирюк, Мархa, Намыльдилах, а также в аллювиальных отложениях р. Лена. Шлиховые ореолы золота в пределах территории развиты практически повсеместно и не прерываются.

Распределение шлихового золота по классу крупности, в целом, выдержано в изученных аллювиальных отложениях рек. Наиболее распространенным является золото фракций -0,315 / +0,16 мм и -0,16 мм, суммарно занимающее до 70 % в выборках. Золото фракции -0,5 / +0,315 мм слагает до 25–30 % зерен в выборках. Золото крупнее 0,5 мм было встречено в виде единичных зерен в отложениях р. Мархa. Также одно зерно размером более 2,0 мм встречено в отложениях р. Бирюк. При этом геоморфологические и гидрологические особенности площади обуславливают широкое развитие косовых залежей, характеризующихся резким преобладанием мелкого золота с низкими его концентрациями.

Преобладает мелкое (преимущественно 0,16–0,315 мм) золото чешуйчатой и пластинчатой формы хорошей окатанности, тонкошагреневой, грубоямчатой до гладкой поверхности (золото первого типа). Для многих золотин характерны завальцованные, смятые и сплющенные края, следы пластических и механических деформаций, шрамы и следы волочения, а также отпечатки корродированных поверхностей, сростки с гидроокислами железа.

Второй тип золота встречается реже и представлен мелкими до весьма мелких (0,5–0,315 и 0,315–0,16 мм), комковатыми и цементационными, пластинчатыми, реже среднепластинчатыми

агрегатами, шагреневой до грубо-шагреневой поверхности, окатанными и полуокатанными зернами с гидроокислами железа и незначительно выраженными следами пластических деформаций, не несущих следов длительного переноса. В единичных случаях наблюдаются так называемое тороидальное и шаровидно-пустотелое золото, размерностью не более 0,315 мм, которое, по мнению В. Е. Филиппова, З. С. Никифоровой и соавторов [1, 6], связано с эоловой деятельностью.

Золото типично рудного облика встречено только в долине р. Бирюк и представлено зернами слабоокатанного до неокатанного типов с отчетливыми гранями, а также включениями и взаимными прорастаниями гипидиоморфного кварца. По данным ВГРЭ «АК АЛРОСА», в аллювии р. Намана также установлено золото с включением альмандина.

Предварительные результаты микрозондового анализа показали высокую пробность большинства золотин до 1000 ‰ для большинства типов. Однако дальнейшие исследования позволили установить широкие и закономерные вариации пробности золота из аллювиальных отложений площади. Так, наиболее распространенными примесями выступают Fe (до 2 мас. %), Ag (0,2–11 мас. %), Cu (0,2–11,33 мас. %), Ni (до 0,2 мас. %). При этом золото, обогащенное серебром, более характерно для среднего и нижнего течения рек территории, где они дренируют породы карбонатного комплекса раннего палеозоя, вмещающих девонские дайки и гидротермально-метасоматические образования в карбонатных породах кембрия. Вверх по течению на всех реках увеличивается доля Cu в составе золотин. В наибольшей степени это характерно для отложений р. Бирюк, на участке, где река дренирует девонские вулканогенные и вулканогенно-осадочные комплексы.

Потенциальные коренные источники для россыпного золота территории остаются темой дискуссий [1, 3, 4, 7]. Тем не менее закономерные особенности химического состава золота, его морфологии и геологического фактора строения позволяют предположить автохтонный характер россыпей левобережья р. Лена.

Среди коренных источников золота территории наиболее вероятными выступают разрушающиеся проявления золота джаспероидного, в меньшей степени скарнового и золото-сульфидного типа так называемого Чара-Олекминского тренда – полосы кулисообразных даек чаро-синского комплекса, дифференцированных от габбро-долеритов до сиенит-порфиров, протяженностью до 400 км, при мощности до 120 м; основные россыпи рек Бирюк, Намана и Намыльдилах расположены к северу от данных проявлений. Источниками данных россыпей выступают промежуточные коллекторы юры, включающие золото, поступавшее в базальные горизонты юры за счет размыва вышеописанных проявлений в юрское время, а также коренные проявления медно-эпидотовой осадочно-трахибазальтовой формации, содержащие золото до 2,5 г/т [2].

Учитывая предположения о низкой способности золота территории к транспортабельности [7], перспективы выявления новых объектов в пределах чаро-синской зоны весьма значительны. Авторские оценки минерагенического потенциала: устьевая часть р. Чара – 12–40 т Au [4], долина р. Чына – до 12 т [4], а долины рек Намана, Мархa, Намыльдилах – 4,4 т [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Никифорова З. С., Герасимов Б. Б., Глушкова Е. Г., Каженкина А. Г. «Золотоносность востока Сибирской платформы: россыпи – коренные источники» // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 4. – С. 305–319
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Анабаро-Вилюйская. Лист P-52 Якутск. Объяснительная записка / И. О. Лебедев, Г. А. Козлов, А. В. Молчанов [и др.]. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2022. – 290 с.
3. Избеков Э. Д. Особенности россыпного золота Вилюйской синеклизы и прилегающих районов // Россыпи золота и их связи с коренными источниками в Якутии. – Якутск: Книжное изд-во, 1972. – С. 178–199.
4. Масайтис В. Л., Михайлов М. В., Селивановская Т. В. Вулканизм и тектоника Патомско-Вилюйского среднепалеозойского авлакогена. – М. : Недра, 1975. – 181 с.
5. Молчанов А. В., Петров О. В., Леонтьев В. И., Шатов В. В., Козлов Г. А., Терехов А. В., Лебедев И. О., Хорохорина Е. И., Ашихмин Д. С., Артемьев Д. С., Кукушкин К. А., Лебедева Г. Б.,

Гузев В. Е., Соловьев О. Л., Титов Д. Ю. Алдано-Вилюйская провинция – новая рудно-россыпная золотоносная территория на востоке России // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 88. – С. 39–64. – DOI: 10.52349/0869-7892.
6. Филиппов В. Е., Никифорова З. С. Формирование россыпей золота при воздействии эоловых процессов. – Новосибирск : Наука, 1998. – 60 с.
7. Филипов В. Е., Сурин А. А. Генезис россыпи ручья карстовый // Металлоносность осадочных и магматических комплексов средней лены : Сборник научных трудов. – Якутск : ЯЦН СО РАН, 1995. – С. 103–108.

Конкин В. Д. (konkin@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ»

ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫЕ ОБСТАНОВКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЕЙ ТАЛАИ-КАРАЛОН-СЮЛЬБАНСКОЙ ЗОНЫ

Приведены сведения о геолого-структурных обстановках рудных узлов и полей с золоторудными формациями в формационно-фациальных комплексах Талаи-Каралон-Сюльбанской зоны. Рудовмещающие толщи представлены вулканогенными, вулканогенно-терригенными, туфогенно-черносланцевыми фациями и гранитоидами, что необходимо учитывать при подготовке геолого-поисковых моделей золоторудных полей и последующих прогнозных построениях.

Ключевые слова: Талаи-Каралон-Сюльбанская зона, геолого-структурная обстановка, золоторудные узлы, поля, золото-сульфидно-кварцевая, золото-кварцевая, рудная формация.

Талаи-Каралон-Сюльбанская зона (ТКС) расположена на восточном фланге Олокито-Делюнуран-Сюльбанской шовной зоны, которая в региональном плане фиксирует область сочленения структурно-формационных комплексов с миогеосинклинальным (терригенным и карбонатно-терригенным) режимом осадконакопления в Бодайбино-Патомских прогибах и островодужным (вулканогенным эвгеосинклинальным) в Байкало-Витимских прогибах [1].

В строении ТКС зоны принимают участие стратифицированные рифейские и рифей-вендские вулканогенные, туфогенно-терригенные, терригенно-карбонатные толщи флишоидного строения, в том числе с черносланцевыми и туфогенно-терригенными фациями, сформировавшимися в ранне-верхнерифейский и вендский этапы.

Толщи интрудированы телами базитового (до ультраосновного) и гранитоидного (до граносиенитов) рядов с возрастным диапазоном от рифея до позднего палеозоя включительно и интенсивно дислоцированы разнопорядковой линейной складчатостью, осложненной системой неоднократно подновлявшихся сбросо-(взбросо)-сдвиговых разломов глубинного заложения. Эти системы формировались на протяжении трех циклов тектоно-магматической активизации (рифейской, рифей-вендской, средне-позднепалеозойской), обусловивших сложное линзовидно-блоковое строение ТКС зоны.

На палеозойском этапе эти толщи были интрудированы потенциально золотоносными малыми интрузиями гранит-гранодиоритов Конкудеро-Мамаканского комплекса. По последним данным, с этими гранитоидами связывается формирование практически всех известных в зоне типов золоторудной минерализации за счет рудомобилизующей роли флюидов из углеродистых металлоносных терригенных (черносланцевых) и островодужных вулканогенных пород [1].

Выделение рудных узлов с золоторудными полями проводится с учетом наличия следующего комплекса признаков: преобладающего литолого-фациального состава рудовмещающих пород; выявленных и прогнозируемых к выявлению золоторудных месторождений; ареалов сближенных аномалий ВОР золота и его попутных элементов; зон потенциально золотоносных гидротермально-метасоматических образований преимущественно березит-лиственитового и железо-магнезиально-карбонатного (бурошпатового) составов, трассирующих разнопорядковые зоны разрывных нарушений.

В ТКС по преобладающему составу рудовмещающих пород выделены Каралонский, Уряхский, Бахтарнакский рудные узлы и вне зоны – участок Дикий [4]. Их золотоносность фиксируется минералого-геохимическими разностями золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой рудных формаций в различных комплексах пород (вулканогенных, терригенных и интрузивных) с проявленными зонами метасомитов в различных сочетаниях.

Каралонский рудный узел. Рудовмещающие породы представлены эффузивами (базальты, андезиты, дациты, риолиты) островодужной формации рифея, интрудированных телами гранитоидов верхнего рифея-венда и гранит-гранодиоритами палеозоя Конкудеро-Мамаканского комплекса.

Характеристика месторождений и рудопроявлений Каралонского узла отражена в работе Е. Ю. Рыцк с соавторами [3]. Ими отмечено, что в пределах рудного узла традиционно выделяются два формационных типа оруденения: раннее золото-сульфидное в измененных базальтах и позднее жильное и жильно-прожилковое золото-кварц-малосульфидное в гранитоидах. В его составе выделены Еленинское и Верхнекаралонское золоторудные поля.

Еленинское золоторудное поле с одноименным месторождением и рудопроявлением Березовое, локализованых в метасоматитах березит-лиственитового составов среди брекчированных вулканитов. Метасоматиты сопровождаются ореолами халькофильных элементов и повышенными концентрациями золота. Золоторудные тела представлены серией (не менее четырех) пологих кварцево-жильных рудных зон и рудоносных лиственитов мощностью до 8–10 м с золотоносными кварцевыми жилами мощностью 0,8–1,2 м. В кварцевых жилах золото тяготеет к вкрапленности халькопирита или галенита при неравномерном распределении золота от 2 до 255 г/т.

Верхнекаралонское рудное поле с одноименным рудопроявлением локализовано в массиве микроклиновых гранитов, внедрившихся вдоль контакта вулканитов и силла габбро-диабазов. Золоторудные тела локализованы в маломощных метасоматитах березит-лиственитового составов в пологозалегающих зонах жильно-прожилкового золото-кварцевого и золото-сульфидно-кварцевого

Уряхский рудный узел. Рудовмещающая толща сложена *пакетами переслаивания терригенных (туфогенно-терригенных) и терригенно-карбонатных толщи флишоидного строения* с пачками метавулканитов основного и среднего составов с фациями углеродсодержащих слюдисто-известково-кварцевых пород с послойной прожилково-вкрапленной сульфидов в нижней пачке келянской толщи рифея. Толщи интрудированы телами базитов и гранитоидов (субпластовыми телами плагиогранитного ряда третьей фазы муйского интрузивного комплекса верхнего рифея-венда) и малыми телами гранитоидов Конкудеро-Мамаканского комплекса палеозоя.

1. Характеристика узла приводится по данным В. А. Вахрушева с соавторами (Отчет по объекту 251-6. ФЦП-2.7. Фонды ФГУГП «Читагеологоразведка», 2005) и И. В Кучеренко и Р. Ю. Гавриловым [2]. Ими отмечено, что золоторудные поля приурочены к участкам изгибов и разветвления шовной зоны Сюльбанского разлома глубинного заложения.

В пределах Уряхского рудного узла выделяются следующие типы золотого оруденения: жильное золото-серебряное в метасоматитах кварц-карбонатного и березит-лиственитового составов по разнофациальным типам пород; золото-кварцевое жильное и жильно-прожилковое в различных по составу стратифицированных толщах и интрузиях гранитоидов, включая штокверковое в березитизированных гранитах (аналог Ирокиндо-Кедровских месторождений); стратоидное прожилково-вкрапленное золото-углеродисто-кварцевое в туфогенно-черносланцевых толщах флишоидного строения (возможный аналог Сухоложского типа). В составе узла золоторудные проявления выявлены на трех золоторудных полях – Ветвистое, Золотое и Урях.

Золоторудное поле Урях сложено пакетами переслаивания карбонатно-терригенных углеродсодержащих пород, мраморизованных известняков, углеродисто-слюдисто-известково-кварцевых сланцев, содержащими прожилково-вкрапленную кварцево-сульфидную минерализацию, редких прослоев метаэффузивов основного состав. В зонах рассланцевания широко проявлены золотоносные метасоматиты березит-лиственитого и железо-магнезиально-карбонатного (бурошпатового) составов. В углеродсодержащих сланцево-известняковых фациях с метасоматитами выявлена рудная зона со средним содержанием золота в отдельных сечениях от 1,97 до 2,83 г/т.

Рудные тела характеризуются линзо- и плитообразной морфологией с крутым залеганием в метасоматитах по углеродистым карбонатсодержащим терригенным толщам флишоидного строения и отсутствием четких геологических границ (выделяются по данным опробования). В рудные тела условно объединены участки с развитием линейного кварцевого штокверка в зоне метасоматитов с бортовым содержанием золота 0,6 и 1 г/т.

Бахтарнакский рудный узел расположен на крайнем юге анализируемой площади и сложен терригенно-карбонатными и карбонатными образованиями рифей-венда в зоне влияния Сюльбанского разлома. Толщи претерпели складчатые деформации с узкими линейными складками и флексурообразными изгибами слоев, рассланцованы и интрудированы телами диоритов. Гидротермально-метасоматические преобразования проявлены в зонах рассланцевания с разнообразным сочетанием продуктов пропилитизации, альбитизации окварцевания, сульфидизации и карбонатизации.

Золотое оруденение приурочено к зонам сульфидно-кварц-карбонатных метасоматитов по углеродистым туфогенно-карбонатно-терригенным (черносланцевым) толщам рифея с вкрапленно-прожилковой сульфидизацией (пирит, пирротин) и окварцеванием.

В составе узла выявлены Бахтарнакское и Археоциатовое золоторудные поля.

Бахтарнакское золоторудное поле с одноименным месторождением сложено туфогенно-карбонатно-терригенными, карбонатно-терригенными толщами флишоидного строения с зонами метасоматитов в крутонаклонных зонах. Аномальные содержания золота здесь фиксируются в сульфидно-кварц-карбонатных метасоматитах, реже кварцевых жилах, развивающимся по зонам интенсивной трещиноватости и рассланцевания пород. Проявлен структурный контроль золотого оруденения. Литологический контроль менее отчетлив. Он выражается в избирательной приуроченности наиболее существенных концентраций золота к метасоматитам (альбитизации, карбонатизации, окварцевания) и сульфидизации (в основном пиритизация) по девочандинской толще.

Мощность зоны метасоматитов варьирует от первых метров до 200 м, достигая максимума в узлах пересечения с северо-восточными нарушениями. В целом минерализованная зона достаточно отчетливо прослеживается по простиранию, так как практически на всем ее протяжении к ней приурочены протяженные и контрастные ореолы рассеивания золота в элювиально-делювиальных отложениях, а также линейные резко градиентные аномалии магнитного поля, разделяющие слабоконтрастное положительное (восточнее разлома) и отрицательное (западнее разлома) магнитные поля.

Археоциатовое золоторудное поле характеризуется развитием пелитоморфных битуминозных известняков, известковистых алевролитов, алевролитов, аргиллитов и кварцевых песчаников, интрудированных дайками и штоками диоритовых порфиритов и диоритов. Рудовмещающие известняки рассекаются разломами, выраженными зонами брекчирования и дробления. Протяженность зон от первых сотен метров до 1,5 км, мощность 20–150 м. Породы в зонах окварцованы (прожилковое и сплошное окварцевание), пиритизированы, анкеритизированы. Опробованные штуфами лимонитизированные брекчии в элювиально-делювиальных глыбах содержат золото в количестве 1,74–61,5 г/т. Рудопроявление участка Археоциатовый рассматривается как вероятный представитель месторождений золото-сульфидной формации в карбонатных толщах карлинского типа.

Дикое рудное поле с золоторудным проявлением «Участок Дикий» (потенциально рудное поле) сложено преимущественно интенсивно катаклазированными и метасоматически измененными (пропилитизированными) кристаллическими (динамометаморфическими) сланцами верхнего рифея, блоками архей-протерозойских кристаллических сланцев, интрудированных телами гранитоидов и гранодиоритов палеозоя.

Золотое оруденение представлено кварцевыми и кварц-анкеритовыми жилами и сопровождающими их зонами прожилкового окварцевания и пиритизации. На отдельных участках отмечается видимое золото (до 3 мм, очень редко до 5 мм). Содержания золота по данным фрагментарного штуфного опробования достигают 30 г/т.

Тектонический план участка определяют зоны разломов меридиональной, северо-восточной и северо-западной ориентировок, обусловливающих мозаичный структурный план. Как правило,

разломы крутопадающие, со сбросовым и реже сбросо-сдвиговым типом перемещения. На участке установлены два типа золотых руд: «золото-порфировый» вкрапленный и прожилково-вкрапленный и золото-кварцевый жильный малосульфидный (4). Проявлены зоны железо-магний-кальциевых («бурошпатовых») метасоматитов и пропилитовой формации, приуроченных к зонам рассланцевания.

Протяженность этих зон интенсивных изменений, судя по свалам, достигает сотен метров и контролируются зоной пропилитизированных пород, прослеженной в северо-западном направлении на 8 км при ширине 1,5 км.

Приведенные сведения и анализ литолого-фациально-структурных обстановок нахождения золоторудных узлов и рудных полей с золоторудным оруденением различных рудноформационных типов золотого оруденения в разнообразных стратифицированных и интрузивных комплексах пород, показывает необходимость создание геолого-поисковых моделей рудных полей с учетом фациально-структурных обстановок, адаптированных к геологическим условиям ведения работ. Их использование при поисковых и поисково-оценочных работа на рудное золото позволит более достоверно оценивать перспективы золотоносности исследуемых площадей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Иванов А. И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
2. Кучеренко И. В., Гаврилов Р. Ю. Структурно-динамический режим образования золото-сульфидно-кварцевой минерализации в Сюльбанской золоторудной зоне (бассейн среднего течения реки Витим). Ч. 2. Уряхское рудное поле // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320, № 1. – С. 19–27.
3. Рыцк Е. Ю., Великославинский С. Д., Алексеев И. А., Богомолов Е. С., Ковач В. П., Саморуков В. И. Геологическое строение Каралонского золоторудного поля (Средневитимская горная страна) // Геология рудных месторождений. – 2018. – Т. 60, № 4. – С. 342–370.

Конышев В. О. (villikon@rambler.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМАТИКИ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ КОМПЛЕКСНЫХ ЗОЛОТОНОСНЫХ И ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РФ

Рассматриваемая систематика, рекомендованная Металлогеническим кодексом России (МКР) для обязательного применения в РФ, громоздка для пользователей. Она содержит 32 геолого-промышленных типа (ГПТ). Из них 25 не отвечают таковым по 1 % критерию В. М. Крейтера к объему Российской добычи и запасам золота, а соответствуют минеральным разновидностям руд (МРР) зональных комплексных месторождений, созданных рудно-магматическими системами (РМС) рудных узлов в рудных районах и металлогенических зонах. В предлагаемой версии систематики указанные МРР использованы для укрупнения основных восьми ГПТ, а золото-топаз-кварцевая отнесена к нетрадиционной.

Ключевые слова: минеральные разновидности руд зональных месторождений комплексных золотоносных (золото в качестве второго-третьего по значимости металла указано в названии) и золотосодержащих (золото, как второстепенная примесь в рудах, не отражено в названии) геолого-промышленных типов.

Государственным балансом запасов (ГБЗ) [2] по состоянию на 01.01.2023 г. в РФ учтены 6333 месторождения золота (459 собственно золоторудных, 191 комплексное коренное, 5683 россыпных) с балансовыми (кат. $АВС_1С_2$) запасами золота (16 420 405 кг) и забалансовыми (3 363 067) кг. Добыча золота за 2022 г. составила 421 784 кг, в том числе: из собственно золоторудных место-

рождений – 278 514 кг (66 %); из комплексных – 56 130 кг (13,2 %); из россыпных – 87 140 кг (20,8 %). Сырьевая база 32 геолого-промышленных типов комплексных месторождений ранжирована в табл. 1 по объемам добычи и балансовым запасам золота.

Табл. 1. Промышленные типы комплексных месторождений по ГБЗ на 01.01.2023 г.

№ п/п	Геолого-промышленный тип	Добыча Au		Число объектов	Запасы Au, кг	Золото, г/т
		кг	%			
1	Медноколчеданный	19 858	35,4	60	1 178 288	1,22
2	Золото-железо-медный	14 268	25,4	2	350 094	0,86
3	Медно-порфировый	6213	11,1	8	1 129 187	0,22
4	Сульфидный медно-никелевый	5029	9	20	644 703	0,18
5	Колчеданно-полиметаллический	3766	6,7	3	56 631	1,9
6	Золото-серебряный	2772	4,9	14	37 064	2,77
7	Золото-урановый	1955	3,6	6	153 904	1,05
8	Золото-сурьмяный	516	0,9	6	16 388	6,98
9	Золото-сульфидный	417	0,7	2	47 005	3,06
10	Полиметаллический	389	0,7	18	53 983	0,83
11	Свинцово-цинковый	388	0,7	19	32 239	0,68
12	Золото-медно-магнетитовый	238	0,4	1	1325	0,8
13	Ванадиево-железо-медный	175	0,3	1	11 447	0,09
14	Существенно вольфрамовый	140	0,2	2	4754	0,88
15	Малосульфидный платинометал.	4	0	9	52 571	0,09
16	Золото-вольфрамовый	2	0	1	289	1,03
17	Золото-полиметаллический	0	0	3	23 725	2,45
18	Молибден-золото-урановый	0	0	1	43 178	0,6
19	Медно-платинометалльный	0	0	1	18 750	0,16
20	Магнетитовый	0	0	2	13 321	0,88
21	Золото-висмутовый	0	0	1	12 070	4,7
22	Существенно молибденовый	0	0	1	11 196	0,28
23	Золото-сульфидно-цинковый	0	0	1	6275	1,32
24	Молибден-вольфрамовый	0	0	1	5385	0,11
25	Золото-топаз-кварцевый	0	0	1	4010	2,05
26	Серебряно-золотой	0	0	1	3460	2,77
27	Медистые глины	0	0	1	3450	0,36
28	Вольфрам-оловянный	0	0	1	1658	0,47
29	Уран-ванадиевый	0	0	1	729	0,16
30	Медный	0	0	2	421	0,09
31	Окисленный медно-порфировый	0	0		146	0,07
32	Золото-бурожелезняковый	0	0	1	50	3,85
Золото комплексных ГПТ		*56 130*	*100*	*191*	*3 917 696*	*0,35*

В основу совершенствования систематики положены представления автора [1, 3], апробированные на прошлогодней конференции [4] для собственно золоторудных месторождений, 15 ГПТ которых были укрупнены в четыре главных (золотой, серебряно-золотой, сульфидно-золотой и кварцево-золотой). Каждый из них включает всю совокупность МРР семейства сближенных зональных месторождений типового рудного узла, созданных РМС в рудных районах, металлогенических зонах и провинциях.

Анализ данных табл. 1, показал, что золото в существенных количествах добывается из 14 комплексных ГПТ, но только семь из них удовлетворяют требованиям ГПТ по 1 % критерию В. М. Крейтера [5]. Запасы многих МРР пока не разрабатываются. В предлагаемой версии систематики все МРР использованы для слияния и объединения в восемь основных ГПТ. Только золото-топаз-кварцевая отнесена к нетрадиционной.

Медноколчеданный ГПТ (1) под табличным порядковым № 1 лидирует (35,4 %) по количеству добытого золота в 2022 г. из комплексных месторождений. Предлагается к его названию для упорядочения добавить слово золото (золото-медноколчеданный), как и ко всем другим основным или укрупненным комплексным ГПТ, независимо от того, золотоносные они или золотосодержащие. Выделяемые сорта по богатству руд, как и разнообразие МРР в контурах рудных столбов, тел, месторождений и узлов, отражают общую зональность дифференциации флюидов РМС, созданную во всем разнообразии рудоносных пород и структур еще до кристаллизации всей совокупности последовательных [3] парагенезисов МРР.

Золото-железо-медный ГПТ (2) с 25,4 % долей золота, добытого из комплексных руд в 2022 г., укрупнен сходными по вещественному составу объектами с золото-медно-магнетитовой (12), ванадиево-железо-медной (13), магнетитовой (20), медистых глин (27) и золото-бурожелезняковой (32) МРР. Они обеспечили возрастание до 26,1 % совокупной доли добытого золота из этого семейства месторождений. Окончательное название укрупненного ГПТ предложено по ведущему из них (оставлено прежним).

Золото-медно-порфировый ГПТ (3) с 11,1 % долей добытого из комплексных руд золота, укрупнен медной (30) и окисленной медно-порфировой (31) МРР, из которых золото в 2022 г. не добывалось. Обобщенное название также показывает приоритет ведущего ГПТ.

Сульфидный медно-никелевый ГПТ (4) с 9 % долей добытого золота из комплексных руд укрупнен малосульфидной платинометалльной (15) вкрапленных руд и медно-платинометалльной (19) МРР. Предложено добавить золото и металлы платиновой группы (МПГ) в обобщенное название ГПТ (*золото-сульфидный медно-никелевый с МПГ*).

Колчеданно-полиметаллический ГПТ (5) с 6,7 % долей добытого в 2022 г. золота при содержании 1,9 г/т укрупнен полиметаллической (10) и свинцово-цинковой (11) МРР, позволившими поднять добычу золота до 8,1 % из комплексных руд при снижении содержания в запасах до 1,22 г/т. Наиболее золотоносные участки зональных колчеданно-полиметаллических месторождений нередко получали названия золото-сульфидной (9), золото-полиметаллической (17), золото-висмутовой (21) и золото-сульфидно-цинковой (23) МРР. Они, при средних содержаниях золота 3 г/т, обеспечили в 2022 г. всего 0,7 % долю добычи из комплексных руд. Поскольку добыча по критерию В. М. Крейтера не дотягивает до самостоятельного ГПТ, богатые МРР присовокуплены автором к рядовым колчеданно-полиметаллическим рудам. В итоге золото-колчеданно-полиметаллический ГПТ, укрупненный всем многообразием зональных фаций МРР без подразделения на рядовые и богатые руды, залегающие среди рудоносных толщ с различными вариациями карбонатных, терригенных и вулканогенных пород с субвулканическими массивами, обеспечил добычу 8,8 % золота при среднем содержании его в запасах1,9 г/т.

Золото-серебряный ГПТ (6) с долей 4,9 % добываемого золота из комплексных руд, укрупнен серебряно-золотой (26) МРР, название которой более отвечает собственно золоторудным, а не комплексным объектам. Очевидно, распространенная на этом объекте фациальная разновидность руд при том же среднем содержании золота 2,77 г/т несет относительно невысокое содержание серебра. Укрупненный ГПТ назван по ведущему в составе главному типу.

Табл. 2. Распределение запасов и добычи золота по укрупненным ГПТ золотоносных комплексных месторождений на 01.01.2023 г.

№ п/п	*Укрупненные ГПТ* (номера включенных в них ГПТ и ММР из табл. 1)	Добыча Au		Число объект.	Запасы кат. ABC_1C_2, кг	Au, г/т
		кг	%			
1	*Золото-медноколчеданный* (1)	19 858	35,4	60	1 178 288	1,22
2	*Золото-железо-медный* (2, 12, 13, 20, 27, 32)	14 681	26,1	8	379 687	0,83
3	*Золото-медно-порфировый* (3, 30, 31)	6213	11,1	10	1 129 748	0,22
4	*Золото-сульфидный медно-никелевый с МПГ* (4, 15, 19)	5033	9	30	715 995	0,17
5	(5, 10, 11) + (9, 17, 21, 23) = *Золото-колчеданно-полиметаллический*	4543 417 *4960*	8,1 0,7 *8,8*	40 **7** *47*	142 853 89 075 *231 928*	1,22 3 *1,9*
6	*Золото-серебряный* (6, 26)	2772	4,9	15	40 524	2,77
7	*Золото-урановый* (7, 18, 29)	1955	3,6	8	197 811	0,95
8	(8) + (16, 22, 24, 28) = *Золото-редкометалльный*	516 142 *658*	0,9 0,2 *1,1*	6 6 *12*	16 388 23 382 *39 770*	6,98 0,38 *3,1*
9	*Нетрадиционная золото-топаз-кварцевая МРР* (25)	0	0	1	4010	2,05
Золото укрупненных золотоносных комплексных ГПТ и МРР		56 130	100	191	3 917 696	0,35

Золото-урановый ГПТ (7) с 3,6 % долей золота, добытого из комплексных руд, укрупнен молибден-золото-урановой (18) и уран-ванадиевой (29) ММР. Укрупненный ГПТ назван по ведущему типу радиоактивных руд.

Золото-редкометалльный ГПТ образован слиянием золото-сурьмяной (8) и существенно вольфрамовой (14) МРР, порознь по долям добытого золота 0,9 и 0,2 %, соответственно, не отвечающих самостоятельным ГПТ. В состав объединенного ГПТ дополнительно включены золото-вольфрамовая (16), существенно молибденовая (22), молибден-вольфрамовая (24) и вольфрам-оловянная (28) МРР.

Нетрадиционная золото-топаз-кварцевая МРР (25), для которой пока не разработана технология извлечения золота без разрушения кварц-самоцветного сырья, может быть также названа *нетрадиционной золото-кварц-самоцветной.*

Основные характеристики укрупненных ГПТ золотоносных комплексных месторождений РФ приведены в табл. 2. При сопоставлении табл. 1 и 2 можно видеть, что систематика золотоносных комплексных объектов значительно упростилась для пользователей. Обособлены восемь ГПТ и одна нетрадиционная МРР вместо 32 ГПТ за счет устранения многочисленных повторов добываемых металлов в фациальных разновидностях руд семейств зональных месторождений одного ГПТ, созданных РМС в каждом из типовых рудных узлов.

Принципиально важно считать, что РМС каждого рудного узла или его типового аналога порождает только один из главных ГПТ [4]. Это ограничивает рост их неоправданно бесконечного множества за счет фациальных разновидностей зональных руд.

В унаследованных названиях укрупненных комплексных ГПТ пока не отражены главные рудоносные формации пород, в отличии от МКР [6], в котором они указаны, но только в дополнительных громоздких поясняющих таблицах.

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. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2023 года. Выпуск 29, золото. Т. 1. – М., 2023. – 200 с.
3. Конышев В. О. О составе самородного золота в минеральных ассоциациях золоторудных месторождений Алтае-Саянской области // Руды и металлы. – 2010. – № 6. – С. 40–54.
4. Конышев В. О. К совершенствованию систематики геолого-промышленных типов собственно золоторудных месторождений, традиционных и нетрадиционных для РФ // Сборник тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2023. – С. 249–252.
5. Крейтер В. М. Промышленные типы месторождений // Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. – М. : Недра, 1968. – С. 9–27.
6. Металлогенический кодекс России. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.

Корольков А. Т. (baley51@mail.ru)
ФГБОУ ВО «ИГУ», г. Иркутск

ПЕРСПЕКТИВЫ БАЛЕЙСКОГО РАЙОНА ОТНОСИТЕЛЬНО ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ТИПА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

В Балейском районе развито золотое оруденение балейского и голготайского (дарасунского) типов. К балейскому типу принадлежат раннемеловые убого-сульфидные золото-кварцевые рудные тела знаменитых месторождений Балейского, Тасеевского и Каменских конгломератов. К голготайскому типу относят позднеюрские кварц-золото-сульфидные с турмалином, висмутином, молибденитом и золото-сульфидно-кварцевые рудные тела. Вмещающими породами

для оруденения балейского типа являются ундинские гранитоиды пермского возраста и нижнемеловые терригенные субконтинентальные породы, для оруденения голготайского типа – только ундинские гранитоиды пермского возраста. Сочетание разновозрастных и разнотипных рудных тел позволило выдвинуть гипотезу миграционной рудной зональности. После детального геологического картирования выяснился автохтонный в краевой части и аллохтонный в центральной части характер батолитового тела ундинских гранитоидов пермского возраста, что дало основание для выделения Ундинской купольной структуры (купола, перешедшего в гранитный массив), с развитием которой была увязана ранее установленная рудная зональность. Анализ геодинамического и металлогенического развития территории от активной континентальной окраины до комплекса метаморфического ядра и рифтогенеза, связанного с горячей областью, позволяет выделить разновозрастное и разноглубинное порфировое оруденение.

Ключевые слова: Балейский рудный район, детальное картирование, золото-медно-порфировое оруденение, голготайский тип, балейский тип, геохимические ореолы, микроконтинент, комплекс метаморфического ядра.

Данное сообщение детализирует выводы, озвученные ранее [7]. Активная континентальная окраина возникла на ранних этапах закрытия Монголо-Охотского океана, сопровождавшихся формированием разновозрастных и разнотипных террейнов, когда большая часть современного Балейского района располагалась в других широтах. На геодинамических схемах Л. П. Зоненшайна и др. [4] территория, занятая пермскими ундинскими гранитоидами (Ундинская купольная структура), принадлежит активной континентальной окраине докембрийского Амурского микроконтинента. Это значит, что погружение слэба океанической коры происходило в южных румбах под Амурский микроконтинент. Более детальное изучение Амурского микроконтинента И. В. Гордиенко и др. [3] позволило выявить в его пределах сложный супертеррейн ранне-позднепалеозойского возраста, что не повлияло на модель погружения слэба. Локализация Ундинской купольной структуры, детально изученной А. Т. Корольковым [6], убедительно подтверждает идею существования пермской активной континентальной окраины.

Борщевочный комплекс метаморфического ядра впервые выделен Е. В. Скляровым и др. [12]. Установлено, что формирование этого комплекса произошло в постколлизионной обстановке после закрытия Монголо-Охотского океана в условиях растяжения и развития масштабных и сложных сдвиговых перемещений [5]. Очень интересный материал получен в результате опорного бурения глубиной 2600 м юго-восточной части обрамления Борщевочного комплекса метаморфического ядра [11]. В результате анализа керна и информации по ГИС установлено три группы пород: 1) до глубины 788 м распространен складчатый комплекс, основу которого составляют дислоцированные перидотиты и серпентиниты, а в нижней его части выделяется зона детачмента; 2) интервал 788–1486 м соответствует гранит-кристаллосланцевым породам; 3) интервал 1486–2600 м отвечает собственно метаморфическому ядру и представлен гранит-плагиогнейсовыми породами, где развиты мигматиты до глубины 2349 м, сменяющиеся телом гнейсовидных биотитовых гранитов с большим количеством ксенолитов и скиалитов. Следует вспомнить о ранее высказанном предположении, что детачмент Борщевочного комплекса метаморфического ядра погружается на глубине в сторону Балейского района [5]. Согласно этому развиваются сбросовые сдвиго-структуры, выявленные при картировании 1 : 10 000 масштаба южной части Балейского рудного узла (рис. 1).

Ундино-Даинская депрессия с верхнеюрскими осадочно-вулканогенными породами и наложенные на нее Балейский и другие грабены с нижнемеловыми континентальными осадками обрамляются субщелочными малыми интрузиями монцонитов, микродиоритов и дайками лампрофиров, что указывает на их постколлизионное образование под влиянием Центрально-Азиатской горячей области в позднем мезозое [15].

Миграционную рудную зональность в расположении различных по составу и возрасту золоторудных объектов Балейского района заметили давно [1]. Было показано, что эволюция Ундинской купольной структуры могла быть причиной формирования такой зональности [6]. В последние годы голготайский тип оруденения относят к медно-порфировому типу [10]. Подтверждением этого служат наши геохимические карты южной части Балейского рудного узла,

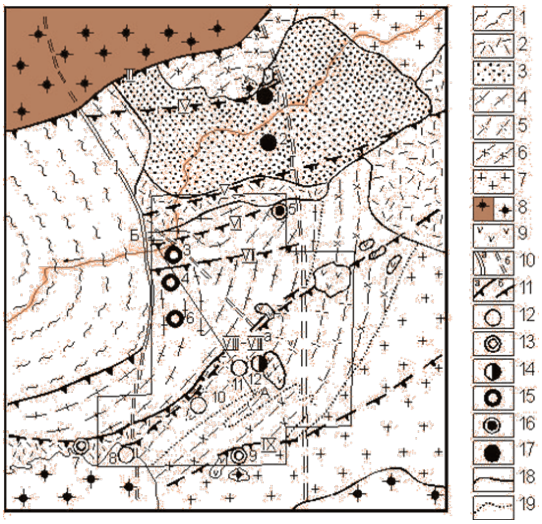


Рис. 1. Геологическая схема Балейского рудного узла, включающая результаты детального картирования [5]:

1 – верхнерифейские метаморфические сланцы; 2 – юрские осадочные и вулканогенно-осадочные отложения; 3 – нижнемеловые грубообломочные отложения; 4–7 – гранитоиды Ундинского батолита (верхний палеозой): 4 – кварцевые диориты и гранодиориты, значительно гнейсированные, 5 – гнейсовидные гранодиориты и граниты, 6 – диориты и кварцевые диориты, 7 – лейкократовые граниты; 8 – гранитоиды борщевочного (выделены серым цветом) и амуджикано-сретенского комплексов (верхняя юра); 9 – микродиориты субвулканического комплекса (верхняя юра); 10 – субмеридиональные крупные разрывные нарушения, прослеженные: а – по геологическим данным, б – по геофизическим параметрам (I – Дутурульское, II – Березовское); 11 – субширотные разрывные нарушения, преимущественно сдвиго-сбросы: а – достоверные, б – предполагаемые (III – Южно-Борщевочный, IV – Контактовый, V – Лево-Ундинский первый, VI – Лево-Ундинский второй, VII – Сайдашный, VIII – Северо-Восточный первый, VIIIа – Северо-Восточный второй, IX – Улановский, X – Сосновский); 12–17 – месторождения и рудопроявления: 12 – кварц-молибденитовые (8 – Лотошное, 10 – Дутурульское, 11 – Голготайское), 13 – кварц-висмутовые (7 – Новое, 9 – Улановское), 14 – кварц-турмалин-сульфидно-золоторудное (12 – Средне-Голготайское), 15 – кварц-сульфидно-золоторудные (6 – Косачихинское, 4 – Майское, 3 – Сосновское), 16 – флюоритовое (5 – Березовское), 17 – пираргирит-кальцит-халцедон-золоторудные (1 – Балейское, 2 – Тасеевское); 18 – контакты стратиграфические и интрузивные; 19 – контакты фациальные. Сплошной контур – граница площади детальных геологических, геохимических и геофизических работ. Линия АБ – геохимический профиль

составленные по первичным ореолам рассеяния в процессе детального картирования [6]. Это геохимические ассоциации элементов без золота и с золотом, выделенные компьютером с помощью многомерного анализа в контуре детального картирования по убыванию коэффициентов контрастности. Ассоциации без золота (с юга на север): 1 – медь-висмут-молибденовая, 2 – мышьяк-висмут-молибденовая, 3 – медь-цинк-висмут-молибден-свинец-сурьма-мышьяк-серебряная, 4 – цинк-молибден-сурьма-мышьяк-серебряная, 5 – медь-серебро-молибден-висмутовая, 6 – висмут-цинк-сурьма-медь-свинец-серебро-молибден-мышьяковая, 7 – висмут-серебро-цинк-мышьяк-свинец-молибден-медная, 8 – медь-серебро-мышьяк-висмут-свинец-молибденовая, 9 – свинец-молибден-серебро-цинковая.

Геохимия первичных ореолов рассеяния Балейско-Тасеевского рудного поля изучалась Р. В. Грабеклисом, который предполагал купольно-кольцевые структуры как среди фундамента, так и в раннемеловых породах Балейского грабена [13]. На рис. 2 дано распределение первичных ореолов золота, где хорошо показаны кольцевые структуры в пределах Балейского, Тасеевского месторождений и Новотроцкого участка.

Необычная модель формирования золотого оруденения балейского типа была предложена А. В. Татариновым и др. [2, 14]. Они рассматривали широкое развитие брекчирования, аргиллизитов, окварцевания, глубинных минералов и органического вещества в рудах месторождений Балейского, Тасеевского, Каменских конгломератов как следствие проявления грязевого вул-

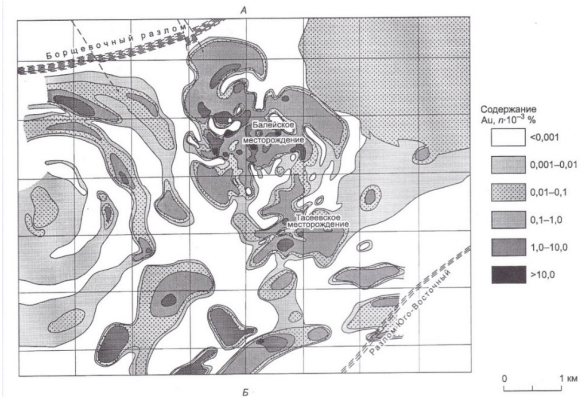


Рис. 2. Эндогенные геохимические поля концентрирования золота Балейского рудного поля, по Р. В. Грабеклису [13]

канизма. Золото в рудах этих месторождений встречается не только в кварцево-жильных рудных телах, но и во вмещающих аргиллизированных и окварцованных метасоматитах. Поэтому Балейское и Тасеевское месторождения после подземной отработки эксплуатировали карьерным способом (сейчас карьеры затоплены агрессивной водой). В пределах месторождения Каменских конгломератов изначально отработка шла карьерным способом, причем четко проявленных протяженных рудных тел не было обнаружено. Показателен пример опорного разреза юго-восточной части Борщевочного комплекса метаморфического ядра [11], где до глубины 788 м развиты очень сильно измененные ультраосновные и основные породы. Не исключено, что комплекс таких же пород располагается на глубине под месторождениями балейского типа.

Условия формирования медно-порфирового оруденения изучены во многих работах [8, 16]. Для Забайкалья ставится вопрос о выделении полигенно-порфирового оруденения [9]. Характерными особенностями оруденения являются связи с вулкано-плутоническими поясами, где проявлен магматизм базальтового или андезитового состава. Внутри поясов развиты на глубине гранитоидные массивы с порфировым строением, сменяющиеся по вертикали субвулканическими штоками, а затем брекчиями. Наблюдаются зонально развитые метасоматиты в направлении от массива порфировидных гранитов к дневной поверхности: биотитизация и калишпатизация – окварцевание – аргиллизация – пропилитизация. Оруденение изменяется от более высокотемпературного кварц-халькопирит-молибденитового вблизи порфировых гранитов, до кварц-галенит-сфалеритового на удалении от массива и золото-серебряного кварцевого на периферии рудно-магматической колонны. Преобладают рудные тела штокверкового и кварцево-жильного типов, формирующиеся в условиях повышенной трещиноватости вмещающих пород. Функционирование рудно-магматической колонны медно-порфирового типа продолжается до 10 млн лет, а ее степень эрозионного среза определяет состав руд и извлекаемых металлов.

Учитывая обобщающие работы [8, 16] и проведенный анализ детальных геолого-геохимических работ, моделью формирования месторождений балейского типа может быть слабо эродированная рудно-магматическая колонна золото-медно-порфирового типа, а голготайского – значительно эродированная. В Балейском районе золото-медно-порфировое оруденение связано как с глубинным магматизмом андезитового типа (голготайский тип), так и с глубинным магматизмом базальтового типа (балейский тип).

Выводы.

1. Балейский рудный район на раннем этапе формирования входил в состав активной континентальной окраины, что предопределило возникновение рудно-магматической колонны медно-порфирового типа, которая существовала на рубеже поздней юры–раннего мела, вероятно, около 10 млн лет.

2. После закрытия Монголо-Охотского океана на этой территории проявилось влияние комплекса метаморфического ядра, формировавшегося при растяжении в условиях сдвиговых деформаций.

3. Влияние Восточно-Забайкальской горячей области привело к образованию малых субщелочных интрузий и рифтогенных грабенов.

4. В позднеюрское время возникло золото-медно-порфировое оруденение голготайского типа.

5. В раннемеловое время проявилось, вероятно, золото-медно-порфировое оруденение балейского типа.

6. Связь позднеюрского и раннемелового порфирового оруденения более детально предстоит изучить.

7. Не исключено, что опорный разрез Борщевочного комплекса мтаморфического ядра вскрыл не только детачмент, но и деформированный слэб, полого погружающийся под Амурский микроконтинент (супертеррейн).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Балейское рудное поле (геология, минералогия, вопросы генезиса) / Науч. рук. Н. В. Петровская. – М. : ЦНИГРИ, 1984. – 271 с.
2. Гладков В. Г., Татаринов А. В., Томилов Б. В. Флюидокластогенное происхождение золотоносной грубообломочной толщи Балейского грабена // Геология и геофизика. 1989. – № 5. – С. 42–49.
3. Гордиенко И. В., Метелкин Д. В. Монголо-охотский складчатый пояс и составной микроконтинент Амурия: проблема их происхождения и взаимодействия в неопротерозое–палеозое // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : Материалы научной конференции 18–21 октября 2022 г., ИЗК СО РАН. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2022. – Вып. 20. – С. 57–59.
4. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натапов Л. М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 1. – М. : Недра, 1990. – 328 с.
5. Корольков А. Т. Геодинамика золоторудных районов юга Восточной Сибири. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2007. – 251 с.
6. Корольков А. Т. Закономерности формирования Ундинской купольной структуры и ее рудоносность (Восточное Забайкалье) : автореферат дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук. – Иркутск : ИЗК СО АН СССР, 1987. – 17 с.
7. Корольков А. Т. Признаки активной континентальной окраины и порфирового оруденения в Балейском районе (Восточное Забайкалье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : Материалы научной конференции 17–20 октября 2023 г. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2023. – Вып. 21. – С. 130–132.
8. Кривцов А. И. и др. Меднопорфировые месторождения. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
9. Летунов С. П. и др. Геодинамическая позиция месторождений полигенно-порфировой серии Забайкало-Монголо-Приамурского региона / Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2019. – С. 39–52.
10. Петров О. В. и др. Карта закономерностей размещения золото-медно-порфировых месторождений России 1 : 2 500 000 масштаба (на основе комплектов государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 5–24.
11. Петров О. В. и др. Опорный разрез Борщовочного комплекса метаморфического ядра (по материалам забайкальской параметрической скважины, 2600 м) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : Материалы научной конференции 18–21 октября 2022 г., ИЗК СО РАН. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2022. – Вып. 20. – С. 228–230.
12. Скляров Е. В., Мазукабзов А. М., Мельников А. И. Комплексы метаморфических ядер кордильерского типа. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 182 с.
13. Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск : Гео, 2006. – 291 с.
14. Яловик Л. И., Татаринов А. В. Указатель опубликованных материалов по золоту для планирования и проведения прогнозно-поисковых, геологоразведочных и добычных работ в пределах Бурятии, Забайкальского края и Иркутской области / отв. ред. Б. Б. Дамдинов. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2022. – 198 с.
15. Ярмолюк В. В. и др. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое // Геотектоника. – 2000. – № 5. – С. 3–29.
16. Richard H. Sillitoe. Porphyry Copper Systems // Economic Geology. – 2010. – V. 105. – P. 3–41.

Кочетова К. Н. (kochetova@tsnigri.ru), Кривицкая Н. Н., Спиридонов Э. М.
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ СУЛЬФОСОЛЕЙ Pb-Sb-As И Pb-Sb ВУЛКАНОГЕННО-ПЛУТОНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА ДАРАСУН, МЕЗОЗОИДЫ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Рудные жилы и залежи месторождения золота Дарасун слагают образования формаций: кварц-турмалиновой, березит-лиственитовой золото-висмут-сульфидно-кварцевой, джаспероидной мышьяково-сурьмяной, телетермальной мышьяковой. Послезолоторудная As-Sb формация включает ранние сульфоарсениды-сульфоантимониды Pb (иорданит – геокронит – шульцит) и непрерывный ряд сульфоантимонидов Pb (с накоплением сурьмы – от буланжерита до фюлёппита, включая джемсонит), далее – антимонит и бертьерит. В телетермальной формации с самородным мышьяком ассоциирует твиннит.

Ключевые слова: месторождение Дарасун, послезолоторудная мышьяково-сурьмяная минерализация, сульфосоли Pb-Sb-As и Pb-Sb.

Сульфосоли свинца – распространённые гидротермальные минералы. Сульфоарсениды-сульфоантимониды свинца: иорданит – геокронит – шульцит развиты в разнообразных вулканогенных месторождениях от колчеданных до малосульфидных [8], в вулканогенно-плутоногенных [1, 7], а также в метаморфизованных месторождениях, для плутоногенных месторождений золота они не характерны [5]. Сульфоантимониды свинца развиты почти во всех типах гидротермальных руд. В плутоногенных и вулканогенно-плутоногенных месторождениях последовательность их прямая – от более высокотемпературного буланжерита до более низкотемпературного джемсонита и далее до фюллёпита (и антимонита) со стандартным накоплением сурьмы и истощением свинца [5–8]. В телетермальных месторождениях сурьмы и свинца последовательность формирования сульфоантимонидов свинца сложная и часто обратная – от антимонита к плагиониту, семсейиту и даже к буланжериту и галениту [9].

Месторождение Дарасун – эталон гидротермальной вулканогенно-плутоногенной березит-лиственитовой золото-сульфидно-кварцевой формации [5]. Оно парагенетически связано с позднеюрским орогенным латит-монцонит-риолит-гранитным Амуджиканским комплексом в мезозоидах Восточно-Забайкальского сектора Монголо-Охотского складчатого пояса. Характерная часть комплекса – трубки взрыва трахириолитов.

Рудные жилы и залежи месторождения золота Дарасун слагают формации : высоко-среднетемпературная кварц-турмалиновая, среднетемпературная березит-лиственитовая золото-висмут-сульфидно-кварцевая, низкотемпературная джаспероидная мышьяково-сурьмяная, вовсе низкотемпературная телетермальная мышьяковая [1–4, 6, 7, 10, 11]. Послезолоторудная мышьяково-сурьмяная формация возникла из малосоленых растворов при 170–110 °С [2, 3]. As-Sb формация представлена кварц-карбонатными жилами и прожилками, которые слагают рисовидный кварц и карбонаты от сидерита до кальцита, и аналогичного состава цементом брекчий, с густой вкрапленностью сульфоантимонидов свинца (от буланжерита до фюлёппита) и сульфоарсенидов-сульфоантимонидов свинца (иорданит – геокронит – шульцит), а также антимонита, бертьерита, маложелезистого сфалерита, мышьяковистых арсенопирита и тетраэдрита [1, 4, 6–8]. Жилы этой формации секут по оси и вдоль зальбандов кварц-турмалиновые и золото-сульфидно-кварцевые жилы. Мощность жил и прожилков As-Sb формации от первых мм до десятков см.

На Восточном, Центральном и Северном участках месторождения более ранними из свинцовых сульфосолей As-Sb формации являются минералы ряда иорданит $Pb_{14}Sb_{2-0}As_{4-6}S_{23}$ – геокронит $Pb_{14}Sb_{4-2}As_{2-4}S_{23}$ – шульцит $Pb_{14}Sb_{6-4}As_{0-2}S_{23}$. На Дарасунском месторождении впервые установлены все три минерала группы геокронита [1]. Вероятно, эти минералы возникли при замещении галенита под действием мышьяково-сурьмяных растворов. Минералы группы геокронита распространены ограниченно, возможно, потому, что их активно замещают сульфоантимониты свинца: буланжерит и бурнонит.

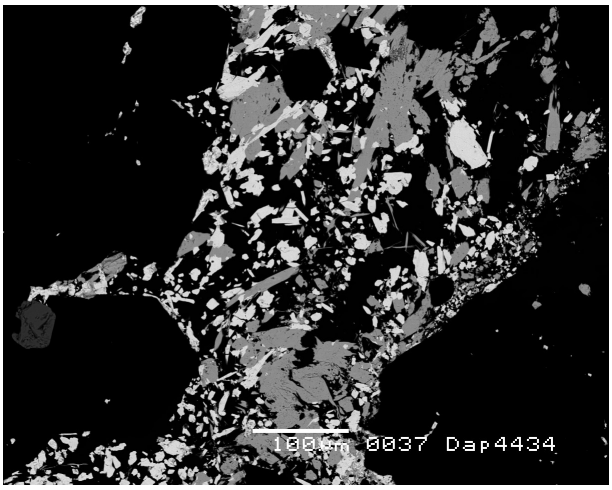


Рисунок. Агрегаты призматических кристаллов фюлёппита (белый) и антимонита (светло-серый), сцементированные кальцитом (чёрный), в промежутках кристаллов рисовидного кварца (чёрный). В отраженных электронах

В составе As-Sb формации наиболее широко развиты агрегаты тонкоигольчатых кристаллов буланжерита $Pb_5Sb_4S_{11}$, полностью заместивших или проросших галенит. Почти столь же широко распространены агрегаты тонкоигольчатых кристаллов джемсонита $FePb_4Sb_6S_{14}$ (до войлокоподобных), которые заместили галенит и арсенопирит, местами и более ранний буланжерит.

Нередко наблюдаются картины последовательного замещения галенита всё более сурьмянистыми сульфосолями свинца. В начале – это семсейит $Pb_9Sb_8S_{21}$, далее последовательно – моелоит $Pb_6Sb_6S_{15}$, плагионит $Pb_5Sb_8S_{17}$, цинкенит $Pb_9Sb_{22}S_{42}$, фюлёппит $Pb_3Sb_8S_{15}$. Фюлёппит замещает также более ранние геокронит и теннантит – тетраэдрит. К концу процесса сурьма накапливается в таком количестве, что вслед за фюлёппитом происходит массовая кристаллизация антимонита (рисунок).

В наиболее поздней и наиболее низкотемпературной телетермальной мышьяковой формации совместно с кальцитом и манганкальцитом формируются самородный мышьяк и твиннит $Pb(Sb,As)_2S_4$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Брызгалов И. А., Кривицкая Н. Н., Спиридонов Э. М. Первая находка минералов ряда иорданит – геокронит – шульцит на одном месторождении (Дарасун, Восточное Забайкалье) // Докл. РАН. – 2011. – Т. 438, № 5. – С. 655–658.
2. Ляхов Ю. В. Температурная зональность Дарасунского месторождения // Геология рудных месторождений. – 1975. – Т. 17, № 2. – С. 28–36.
3. Прокофьев В. Ю., Зорина Л. Д. Флюидный режим Дарасунской рудно-магматической системы (Восточное Забайкалье) по данным исследования флюидных включений // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 5. – С. 50–61.
4. Сахарова М. С. Стадийность процессов рудообразования и вопрос зональности на Дарасунском золоторудном месторождении // Рудообразование и его связь с магматизмом. – М. : Наука, 1972. – С. 213–222.
5. Спиридонов Э. М. Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов. – Апатиты, 2010. – С. 143–171.
6. Спиридонов Э. М., Кривицкая Н. Н., Брызгалов И. А., Коротаева Н. Н. Кочетова К. Н. Фюлёппит $Pb_3Sb_8S_{15}$ из вулканогенно-плутоногенного месторождения Дарасун, Восточное Забайкалье // Вестник МГУ. Сер. Геология. – 2020. – № 5. – С. 71–76.
7. Филимонова А. А. Об ассоциациях сульфоантимонитов свинца в рудах Дарасунского месторождения // Геология рудных месторождений. – 1967. – Т. 9, № 2. – С. 107–121.
8. Чвилева Т. Н. Минералогическая характеристика и диагностика сульфоантимонитов свинца. – М. : Наука, 1973. – 164 с.
9. Moëlo Y. Contribution à l´étude des conditions naturelles de formation des sulfures complexes d´antimoine et plomb. (Sulfosels de Pb/Sb). Signification métallogénique // Document du BRGM. – 1983. – № 55. – 624 p.
10. Spiridonov E. M., Kryvitskaya N. N., Kochetova K. N., Bryzgalov I. A., Korotaeva N. N. Maldonite Au_2Bi and minerals of their replacement – pure gold, jonassonite $AuBi_5S_4$, bismuthian aurostibite $Au(Sb,Bi)_2$ from gold ores at Darasun deposit in mezozoides Transbaikalya // Geology Ore Deposits. – 2023a. – V. 65, № 7. – P. 690–703.

11. Spiridonov E. M., Kryvitskaya N. N., Kochetova K. N., Bryzgalov I. A., Korotaeva N. N. Aurostibite $AuSb_2$, argentian gold and electrum from postgold Sb mineralization at Darasun deposit (Transbaikalya) // Geology Ore Deposits. – 2023b. – V. 65, № 7. – P. 704–711.

Кошкарев Д. А., Мальцев М. В., Мальков А. А.
АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА АК «АЛРОСА» (ПАО) – АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

В начале февраля 2024 г. состоялось заседание Экспертного совета по геологии при генеральном директоре – председателе правления АК «АЛРОСА», где при широком круге участников (институты РАН, ФГБУ «ЦНИГРИ», руководство и ветераны группы АЛРОСА) были обсуждены актуальные вопросы и задачи, стоящие перед геологоразведочным комплексом группы.

Ключевые слова: поисковые работы на алмазы, геологоразведочный комплекс, запасы, ресурсы, стратегия развития.

На проведенном заседании Экспертного совета по геологии при генеральном директоре – председателе правления АК «АЛРОСА» (ПАО) (далее, Компания) при участии представителей как структурных подразделений Компании, академических и ведомственных институтов, так и ветеранов Компании, которые много лет посвятили алмазной поисковой и добычной геологии, был представлен и обсужден широкий ряд вопросов, в том числе: современное состояние геологоразведочного комплекса (ГРК) Компании, стратегия развития, цели и задачи, требующие решения в самое ближайшее время, перспективы развития, состояние геолого-поискового обогатительного комплекса, а также возможности и пути прироста ресурсов высоких категорий и, соответственно, запасов алмазов в ближайшую пятилетку.

При обсуждении один из главных вопросов был посвящен текущему состоянию минерально-сырьевой базы (МСБ) алмазов Компании. На сегодняшний день удалось сохранить прирост запасов на уровне 75–85 % от добычи ежегодно. За период 2016–2023 гг. поставлено на баланс 283 млн карат. К сожалению, данный прирост реализован практически только за счет глубоких горизонтов отрабатываемых месторождений, и в ближайшей перспективе поддержать такой уровень прироста без открытия месторождений не представляется возможным. Тем не менее отмечено, что обеспеченность запасами алмазов на сегодняшний день позволяет сохранять текущий уровень алмазодобычи на ближайшие 10 лет, а также отрабатывать месторождения алмазов до 2060-х гг. Задачи по открытию новых месторождений определены в актуализированной программе ГРР Группы АЛРОСА до 2035 года. Поиски месторождений алмазов геологами АЛРОСА проводятся сегодня только на наиболее перспективных площадях Якутской, Западно-Европейской и Тунгусской провинций. Объективно данные площади позволяют достичь целей открытия в кратко- и среднесрочной перспективе (3–5 лет). Данные площади являются объектами алмазопоисковых работ в рамках проекта «Поиски месторождений алмазов до 2030 г.», с целевым значением 141 млн карат. Остальные минерагенические таксоны требуют опережающих минерагенических геолого-геофизических работ, а также выполнения работ, направленных на оперативную заверку перспектив площадей с неявными признаками перспектив обнаружения месторождений алмазов.

Традиционно значимый блок вопросов был посвящен теме – «почему за последние годы не открываем месторождения» с контекстом, что у ГРК Компании нет никаких успехов в геолого-поисковом плане. Следует отметить, что, несмотря на отсутствие открытий месторождений, с 2017 г. (начало интенсивного реформирования ГРК) вскрыто 27 объектов, среди которых кимберлитовая алмазосодержащая трубка размером 6,5 га (им. Морозовых), плюс еще 4 убогоалмазоносных тела в Мунском и Приленском районах. К сожалению, выявленные кимберлитовые тела не отвечают промышленным требованиям, но показывают работоспособность принятой

в ГРК методики поисков. Кроме того, в 2019 г. в Компании выпущено пособие «Методы поисков коренных месторождений алмазов», в котором собраны все актуальные подходы к алмазопоисковым работам.

По мнению некоторых участников Совета, недостижение цели по открытию месторождений является прямым следствием отсутствия положительных результатов по локализации новых площадей (участков), перспективных на обнаружение алмазоносных кимберлитов, либо россыпей. В реальности такая работа в ГРК Компании ведется постоянно. С 2017 г. локализованы лицензионные участки в Красноярском крае, в границах Томбинской площади, локализованы Дабанская, Усть-Накынская, Эекит-Мархинская площади, участки в пределах Хампинской площади (Ыггыатинский район) и другие. Все вышеуказанные территории включены в первоочередной план поисковых работ до 2030 г. Кроме того, геологической службой Компании проведена большая работа по обоснованию девяти площадей в Арктической зоне РФ, Ленском и Жиганском улусах РС(Я), под постановку поисковых работ на алмазы за счет средств Федерального бюджета (Укукитская, Уджинская, Линденская, Ниженмунская и др. площади).

Другой причиной, которой, по мнению внешних экспертов, можно объяснить низкую эффективность ГРК Компании, является значительное уменьшение штата с 2016 г. (с 2500 до 1200 человек). На сегодняшний день в ГРК Компании работает 1500 человек, включая дочерние общества, что позволяет наиболее оптимально расходовать средства бюджета при той же эффективности работ (до 2016 г. в ГРК работало в общей сложности 3,5 тыс. человек, при этом открытий или вскрытий искомых объектов было ниже современного уровня). Также ГРК практически ушел от масштабного сетевого бурения, акцентируя работы на самых перспективных участках, внедрено самое современное программное обеспечение, ищутся новые геофизические и лабораторные методики. Другими словами, современный штат ГРК полностью отвечает поставленным перед ним задачам и целям. Что касается кадрового вопроса, которому тоже был посвящен целый блок заседания Совета, то естественно, общее положение кадровой обеспеченности геологов не только в России, но и в мире, не могло не сказаться и на Компании. Тем не менее Вилюйской ГРЭ удается сохранять высокие компетенции практически по всем вопросам геологоразведки алмазов, открыт офисный центр в г. Новосибирске, куда несколько легче, чем в г. Мирный пригласить специалистов. Каждый год на практику в геологические подразделения Компании принимается от 50 до 100 студентов, некоторые из них согласны продолжить работу в Компании после окончания ВУЗов.

Ликвидация научно-исследовательского предприятия, на первый взгляд, воспринимается как негативный момент, уничтожающий научные направления в ГРК. Однако следует отметить, что одновременно с ликвидацией предприятия, был создан экспертно-геологический центр в Вилюйской ГРЭ, который вобрал в себя все основные задачи (углубленный минералогический анализ, локальный прогноз, детальное изучение алмазов и картирование по их типоморфным признакам, анализ ресурсной базы и др.), которые ранее решались в отдельном предприятии. Создание центра позволило значительно повысить эффективность, а, главное, оперативность научно-исследовательских работ, поскольку поисковые задачи теперь решаются в одном подразделении по одним проектам. Связи с академическими и ведомственными институтами также не нарушены. С целью взаимодействия с вышеуказанными организациями на базе Вилюйской ГРЭ создан и научно-геологический центр. За последние два года заключено порядка двадцати соглашений о сотрудничестве с институтами РАН, образовательными университетами, ведомственными институтами (от Санкт-Петербурга до Владивостока).

По мнению некоторых экспертов, уход с перспективных на обнаружение новых кимберлитовых полей территорий Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) и локализация работ в районах, хорошо изученных поисковыми работами (в зонах действия ГОКов), ошибочны. Вряд ли это приведет к приросту запасов более 50 млн карат, при требуемых 300 млн.

С точки зрения геологической службы Компании это естественная эволюция – площади опоискованы, перспективы определены как низкие, но, учитывая максимальную локальность поисковых участков, вероятность вскрытия нового кимберлитового тела максимальна. Яркий пример – открытие трубки им. Морозовых размером 6,5 га и расположенной практически в границах карьерной площадки тр. Юбилейная, на оконечности зоны отвалов. Кроме того, на тех

территориях, где что-то возможно найти – прогнозируемые поля (с предполагаемыми промышленными телами), – работы продолжаются, в частности, в Ыгытатинском районе ЯАП и Красноярском крае. Также стоит отметить, что ни одного «нового» конкретного участка Компании не было предложено ни одной организацией, кроме самих геологов АЛРОСА. Более того, посредством работ по госконтрактам Компания начала работать на участках «второго» перспективного уровня, где вероятность открытий ниже, а экономически эффективная отработка тел – отдельный вопрос, который надо будет решать.

Что касается стратегии развития ГРК Компании до 2030 г., то, несмотря на некоторые разногласия с внешними экспертами, которые считают, что стратегии в полном виде не существует, а существует некая декларация о намерениях, то можно считать ее разработанной в полной мере. Разногласия вызваны в основном причиной конфиденциальности. ГРК не имеет права раскрывать многие аспекты стратегии, в том числе финансовые и технологические.

В целом стратегию можно рассматривать как единый план развития ГРК, состоящий из трех основных фаз. Первая фаза (2024–2026): концентрация проектов ГРР в пределах зоны добычных активов Компании; завершение работ на детализированных участках; развитие работ в новых районах (Красноярский край и Западная Якутия), в целях восстановления поискового задела; инициация и участие в опережающих прогнозно-минерагенических работах; дефрагментация или актуализация действующих лицензий. Вторая фаза (2027–2029): переход на стадию детальные работ на ранее опоискованных территориях; выполнение ГРР на проектах «II-й очереди» (Сюгджерский, Дюкунах, Томбинский-2 и др.); лицензирование перспективных смежных территорий, расположенных в радиусе удаления 100 и более км от зоны действий ГОКов; подготовка новых поисковых проектов – задел на 2029–2033 гг.; анализ результатов работ по госконтрактам с лицензированием перспективных территорий; лицензирование территорий в целях заверки ретро аномалий. Третья фаза (2030 г. и далее) видится следующим образом: выполнение оценочных работ на объектах, выделенных на I и II фазах; переход на детальные работы на проектах «II-й очереди»; вовлечение новых локальных площадей по результатам среднемасштабного прогноза; доизучение и переобработка ранее полученных предпосылок, геолого-геофизических данных с учетом новых технологий и решений; анализ результатов работ по госконтрактам с лицензированием перспективных территорий.

Красных А. В. [1] (Andrey.Krasnykh@highlandgold.com),
Макаров Д. В. [1] (makarovdv@highlandgold.com),
Игнатов П. А. [2] (petrignatov@gmail.com), Иванов В. В. [2] (ivanov.vladimir05@mail.ru)
[1] МКАО «ХАЙЛЭНД ГОЛД», г. Москва,
[2] ФГБОУ ВО РГГРУ, г. Москва

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГНОЗА МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУН-МАНЬЁ

Cu-Ni с PGE месторождение Кун-Маньё, расположенное на восточном фланге Приста-нового орогена юго-восточного обрамления Сибирской платформы, по запасам никеля – одно из крупнейших в России [2]. Месторождение открыто в 1997 г., на 2021 г. разведано большинство его участков. Сегодня весьма актуально решение двух задач: прогнозирование нового промышленного месторождения в районе Кун-Маньё, в пределах рудного поля выделение участков с богатыми рудами. Для решения этих задач использованы результаты литогеохимического опробования, материалы по разведке [1] и имеющиеся публикации [2, 4]. Предположено, что рудоносные тела вебстеритов, плагиовебстеритов, габброноритов, лерцолитов, тальк-серпентин-амфиболовых, хлорит-амфиболовых, амфибол-серпентиновых и тальк-серпентиновых сланцев куньманьёнского комплекса слагали единый силл, протяженный более чем на 30 км. Просматривается приуроченность высоких содержаний Cu и Ni в сульфидных рудах к зонам пластических деформаций в нижнем и верхнем боках тел ультрабазитов, к интервалам по-

лосчатых плагиоклаз-тальк-амфиболовых с флогопитом пород, хлорит-тальк-амфиболовых и амфибол-тальк-серпентиновых сланцев в осевых частях силла с наибольшим раздувом мощности. Статистически обработано порядка десяти тысяч рентгенофлуоресцентных анализов проб, опробования, охватившего все известные участки месторождения и другие площади рудного района. Все известные рудные участки месторождения Кун-Маньё имеют литогеохимические ореолы Cu и Ni. Помимо этого, выделены аналогичные концентрационные аномалии на площади распространения потенциально рудоносных ультрабазитов Ян-Хэгдэ (рис. 1) и на участках Чёрный Исполин (рис. 2) и Водораздельный.

Ключевые слова: Cu-Ni месторождение Кун-Маньё, мафит-ультрамафиты, силл, сульфиды, Ян-Хэгдэ, Чёрный Исполин.

Геолого-структурная позиция силлов и даек мафит-ультрамафитов Кун-Маньёнского рудного поля и района, представленная цепочками тел, определена Верхнемайской зоной шовных дислокаций, заложившихся на границе Джугджурского и Туксанийского блоков архейского фундамента. Силлы и дайки мафит-ультрамафитов этого комплекса и генетически связанные с ними проявления сульфидной Cu-Ni с PGE минерализации расположены на борту Верхнемайского трогового прогиба и контролируются глубинной зоной Майского разлома и оперяющими дизъюнктивами [2, 4].

Геологическое строение площади месторождения крайне сложное, что обусловлено длительностью развития, многоэтапностью структурно-тектонических преобразований, ультраметаморфизмом и гранитизацией пород рамы, многократными внедрениями больших объемов магм разного состава.

Рудоносные зоны мафит-ультрамафитов месторождения Кун-Маньё, вероятно, представляли собой единый протяженный более чем на 30 км силл, что обосновано однотипностью их петрографического состава, близкой линзовидной формой и схожими элементами залегания с падением на северо-восток. Многие рудоносные тела имеют флексурные изгибы. Исключение составляют три сближенных полого залегающих тела Шляпа, Треугольник и Водораздельный. Сульфидные руды преимущественно располагаются во фронтальных эндоконтактах наклонных тел базит-ультрабазитов. Во многих местах эти тела смещены по северо-восточным разломам сдвигового типа. В целом рудоносные силлы вытянуты в единую северо-западную зону. Среди этих пород отмечены тела длиной до пяти километров, например Чёрный Исполин. Большинство рудоносных тел имеют примерно одинаковый уровень эрозии юго-западных частей силла. В ряде участков вскрыты серии субпараллельных мафит-ультрамафитов силлов, из которых только один включает руду. При этом руду содержат более мощные силлы.

Предполагается, что внедрение силла было с юго-востока на северо-запад вдоль ослабленной осевой части флексуры. Сама флексура первоначально образовалась внутри парагнейсов и сланцев, а затем была выполнена силлом габбро.

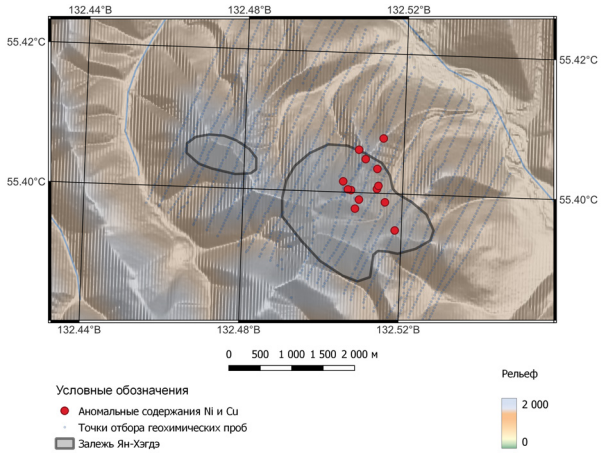


Рис. 1. Схема расположения аномальных содержаний Cu и Ni, по данным литогеохимической съемки на участке Ян-Хэгдэ

Следствием этого является то, что наиболее рудоносными стали боковые фронтальные зоны, падающие на северо-восток, а также осевые и расширенные части силла. На участках раздувов силла их нижние части представлены рудами с наиболее высоким содержанием полезных компонентов.

Наличие такого оруденения предполагает его связь с синхронными внедрению силла продольными и поперечными разломными. Поэтому есть основания предполагать наличие богатых руд в зонах дилатансии и тектонических брекчий в подстилающих вебстериты породах. В некоторых случаях это подтверждается наличием сульфидных медно-никелевых руд в подстилающих габбро.

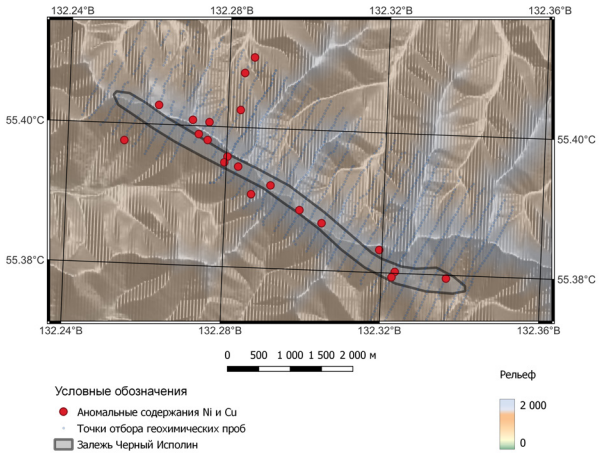


Рис. 2. Схема расположения аномальных содержаний Cu и Ni, по данным литогеохимической съемки на участке Чёрный Исполин

Обработка литогеохимических данных выполнена в соответствии с инструкцией [3] с использованием программного обеспечения QGIS и Microsoft Excel. В Microsoft Excel проведены все расчеты и построены графики. Программное обеспечение QGIS использовалось для пространственного отображения аномальных повышений содержаний Cu и Ni, а также для сравнения и анализа графических данных.

Литогеохимические пробы были отобраны по профилям. Каждый профиль проходил на расстоянии 200 м от другого, а точки отбора проб находились на расстоянии 50 м друг от друга вдоль каждого профиля. Всего было заложено 159 профилей.

Таблица. Статистические данные по участкам Ян-Хэгдэ и Черный Исполин

Название уч.	Участок Ян-Хэгдэ			Участок Черный Исполин		
Элементы	Cu	Ni	Cr	Cu	Ni	Cr
Cmax (г/т)	689,8	1056,2	1849,6	791,0	3380,8	1986,4
Сме (г/т)	34,3	48,3	296,3	28	32	406,4
Корреляция	$r_{(Cu, Ni)} = 0,75$ $r_{(Cu, Cr)} = 0,26$ $r_{(Ni, Cr)} = 0,53$			$r_{(Cu, Ni)} = 0,80$ $r_{(Cu, Cr)} = 0,29$ $r_{(Ni, Cr)} = 0,50$		

С использованием статистических методов анализа геохимических данных определен геохимический фон и порог аномальных значений для Cu и Ni, и выделены 80 проб с аномальным повышением содержаний Cu и Ni. Дополнительно расчеты были проведены для хрома, как для типоморфного элемента данных пород. Основные статистические данные приведены в таблице.

На основании полученных данных выделены перспективные площади Ян-Хэгдэ (рис. 1) и Чёрный Исполин (рис. 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Багринцев А. В., Маркова Н. С. [и др.] Технико-экономические обоснование постоянных разведочных кондиций и Отчет с подсчетом запасов месторождения Кун-Манье по состоянию на 01.01.2021. Лицензия БЛГ 15883 ТЭ от 09.06.2015. Отчет по договору с АО «Кун-Манье» № 02/19 от 14.05.2019. В двух томах, 16 книгах, 18 папках: 942 л. текста, 206 рис., 304 табл., текст. прил. 32/2077 л., граф. прил. 53/933л, библ. 77. ООО «ОРЕОЛЛ», Москва, 2021. ФГБУ «Росгеолфонд»; Амурский филиал ФБУ ТФГИ по Дальневосточному Федеральному округу.
2. Гурьянов В.А., Петухова Л.Л., Абражевич А.В., Вельма А.М., Чубаров В.М., Тихомирова А.И. Геологическая позиция, минералы редких и благородных металлов в рудах медно-никелевого месторождения Кун-Маньё (Юго-восточное обрамление Сибирской платформы) // Тихоокеан. геология. – 2022. – Т. 41, № 6. – С. 3–23.
3. Морозов М. В., Трушин С. И., Осецкий А. И. [и др.] Инструкция по площадным геохимическим поисковым работам. – СПб. : АО «Полиметалл УК», «ЛЕМА», 2023. – 167 с.
4. Приходько В.С., Петухова Л. Л., Гурьянов В. А., Чубаров В. М. Петрология малых тел никеленосных мафит-ультрамафитов юго-востока Алдано-Станового щита // Тихоокеан. геология. – 2020. – Т. 39, № 2. – С. 46–65.

Кривко Т. Н.
ООО «Недра», г. Москва

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗОЛОТОРУДНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ БЕРЕЗОВЫЙ ЛОГ И ЕГО ПРОМЫШЛЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Безусловным успехом последних лет является выявление для Северного Урала золоторудного проявления Березовый Лог. Проявление расположено в 100 км к северу от г. Екатеринбурга и в 15–30 км к юго-востоку от г. Нижний Тагил Свердловской области.

Поисковыми работами 2015–2017 гг. были выделены рудные зоны, локализованы и оконтурены рудные тела, оценены прогнозные ресурсы. Последующими оценочными работами уточнено геологическое строение, выявлена закономерность распределения полезных компонентов, форма и химический состав рудных компонентов, выполнен подсчёт запасов, материалы подготовлены к государственной экспертизе. Уже в настоящий момент можно сделать вывод, что на Северном Урале Березовый Лог уступает лишь Воронцовскому месторождению.

Рудовмещающими являются гидротермально-метасоматические образования кварц-серицитовой, березитовой и в меньшей степени аргиллизитовой формации с прожилково-вкрапленной и жильной золото-сульфидно-кварцевой минерализацией, образовавшихся по диоритам, тоналитам, гранодиорит-порфиритам и плагиогранит-порфирам западноверхисетского комплекса (C_1). Интрузивные породы являются одновременно рудогенерирующими и рудовмещающими. Неясной остается роль тектонического фактора в формировании золотого оруденения.

Продуктивное оруденение установлено как в корах выветривания, так и в первичных породах. Повышенная золотоносность сопровождает интервалы метасоматических изменений кварц-серицитовой и березит-лиственитовой формаций. Золото представлено самородной формой, вкраплено мелкими гнездами, характеризуется тонкодисперсной, пылевидной и тонкой размерностями, также отмечается в срастаниях с пиритом, пирротином и другими сульфидами. По результатам исследований определено, что рудное золото относится к прожилково-вкрапленному золото-сульфидно-кварцевому геолого-промышленному типу.

Распределение сульфидов неравномерное (от убогой до 5 %, редко 10–12 %) в виде гнезд, вкрапленность которых контролируется кварцевым прожилкованием и системой трещин. Они представлены пиритом, арсенопиритом, пирротином. Золото представлено самородной формой, вкраплено мелкими гнездами, характеризуется тонкодисперсной, пылевидной и тонкой размерностью, крайне неравномерно распределено в минерализованных метасоматитах.

Результаты лабораторных испытаний технологических проб показали высокие показатели извлечения золота из окисленных (более 96 %) и первичных (более 97 %) руд единой гравитационно-цианистой схемой обогащения.

Промышленный потенциал Березового Лога ожидается на уровне среднего месторождения. Неизученными остаются северный и южный фланги рудопроявления. По результатам оценочных работ ожидается прирост запасов за счет продолжения геологического изучения всей площади рудопроявления.

Таким образом, перспективы рудопроявления Березовый Лог на обнаружение новых кондиционных тел далеко не исчерпаны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Александров В. В., Кучеревский П. Г., Кривко Т. Н. Особенности околорудных метасоматических изменений и вещественного состав нового потенциального золоторудного месторождения на Среднем Урале // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 42–51.
2. Александров В. В. [и др.]. Отчет о результатах работ по объекту: «Поисковые работы на рудное золото и золотоносные коры выветривания на Вилюйской площади (Свердловская область)». – Екатеринбург, 2017.
3. Ведерников В. В. [и др.]. Отчет о геологическом доизучении масштаба 1 : 50 000 Таволжанской площади (листы О-41-73-Г (запад. пол.), О-41-85-Б, О-41-86-А) в Пригородном, Невьянском и Режевском районах Свердловской области за 1980–1985 гг. – Верхняя Пышма, 1985.

Крикун Н. С. (Krikun_NS@pers.spmi.ru)
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ О. КУНАШИР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОТИПНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ И МДЗ

Основываясь на комплексном анализе материалов дистанционного зондирования и геолого-геофизических данных, построена схема дизъюнктивной сети о. Кунашир. Опираясь на интерпретацию различных ретроспективных данных, уточнена схема распределения полезных ископаемых. Сравнительный анализ полученных результатов позволил изучить закономерности распределения металлических полезных ископаемых о. Кунашир

Ключевые слова: Курильская островная дуга, Прасоловское рудное поле, линеаментный анализ, золото-серебряная минерализация, о. Кунашир.

Несмотря на тот факт, что до конца второй мировой войны японские промышленники активно разрабатывали месторождения черных и благородных металлов на островах Кунашир, Итуруп, Шумшу и др., добыча золота отечественными специалистами в регионе возобновилась лишь в прошлом десятилетии и связана она прежде всего с открытием Айнского месторождения на о. Уруп [1]. Проведение крупномасштабных геологических работ на Южных Курилах практически закончилось в 80-х годах прошлого столетия. Помимо этого, в большинстве своем они были ориентированы на исследование месторождений серы, термальных и минеральных вод, строительных материалов [2]. Разработка новых и существование ряда перспективных объектов, таких как Прасоловское рудное поле [3], в регионе говорит о том, что его минерально-сырьевой потенциал требует дополнительного изучения. Удаленность и труднодоступность территории Курильских островов делает чрезвычайно актуальным комплексное использование в работе разнотипных геолого-геофизических данных и материалов дистанционного зондирования (МДЗ).

Остров Кунашир является наиболее южным в цепи островов Большой Курильской гряды, которая сформировалась в зоне конвергенгции Тихоокеанской и Охотоморской литосферных плит в результате субдукции первой [4]. Геологический разрез острова Кунашир, как и всей Большой Курильской гряды, сложен стратифицированными вулканическими, вулканогенно-обломочными и осадочными породами неоген-четвертичного возраста, которые прорваны комагматичными им субвулканическими и, в меньшей степени, интрузивными образованиями.

В настоящее время на территории острова Кунашир среди металлических полезных ископаемых (МПИ) установлены месторождения и проявления золота, меди, цинка, а также черных металлов в виде ильменит-магнетитовых россыпей. Известно [5, 6], что данные объекты на территории Южных Курил находятся в тесной ассоциации с субвулканическими и интрузивными образованиями, преимущественно поздненеогенового возраста. Данные породы играют рудоматеринскую роль для целого ряда полезных ископаемых. Кроме того, вулканические и интрузивные образования выступают в качестве рудовмещающей среды при наложенных рудоносных процессах и последующей мобилизации металлов. Флюидоподводящими каналами в таком случае служат зоны разрывных нарушений, которые также контролируют распределение интрузивных и субвулканических тел и вулкано-тектонических структур, т. е. основными факторами, контролирующими распределение МПИ на территории островной суши, являются тектонический и магматический.

В таком случае для изучения закономерностей распределения МПИ о. Кунашир необходимо знать особенности дизъюнктивной сети региона и расположение объектов размещения МПИ, поэтому данное исследование можно условно разбить на три части:

1. Построение дизъюнктивной сети региона, на которой произведена классификация разрывных нарушений, основываясь на их масштаб, кинематику, время заложения. Для этого был использован комплексный подход, основанный на интерпретации КС, карт потенциальных геофизических полей и трансформант к ним, сопоставлении полученных результатов между

собой и с существующими геологическими картами, собственными полевыми наблюдениями и наблюдениями предшественников, топографическими схемами и др. источниками. Подробно методика описана в [7].

2. Уточнение схемы размещения МПИ, которое реализовывалось, опираясь на интерпретацию и обобщение различных ретроспективных данных.

3. Сопоставление полученных результатов между собой.

Уже на этапе первой части исследования после дешифрирования КС наблюдалась значимая корреляция между областями пересечения и повышенной концентрации линеаментов и объектами размещения ПИ, что позволяет в дальнейшем использовать схемы плотностного распределения линеаментов в качестве вспомогательного инструмента для поиска полезных ископаемых не только на территории острова, но и в пределах всей островной дуги.

После получения и обработки всех данных на территории острова выявлено три системы разрывных нарушений: **первого порядка** (преимущественно продольные относительно простирания островной дуги), **второго порядка** (преимущественно поперечные относительно простирания дуги) и **третьего порядка** (разнонаправленные). Определяющая роль в локализации оруденения принадлежит разрывным нарушениям преимущественно северо-западного и северо-восточного простираний, контролирующим размещение зон магматических и гидротермально-метасоматических образований, с которыми ассоциируют все известные на площади объекты МПИ. Так, например, золото-серебряная и медно-полиметаллическая минерализация пространственно и генетически связаны с субвулканическими телами камуйского комплекса (плиоценового), размещение которых контролируется разрывными нарушениями северо-западного простирания (поперечными). Следовательно, к поперечным нарушениям прежде всего приурочена минерализации меди, цинка, свинца, серебра и золота. Кроме того, повышенные концентрации рудных элементов связаны с зонами разгрузки парогидротерм. Обогащение вод рудными элементами происходит, как правило, за счет поступлений глубинных эманаций в подземные воды и растворения и выщелачивания горных пород под воздействием высоких температур. Примером такого рода объектов является месторождение рения на влк. Кудрявый (о. Итуруп). Можно ожидать обнаружения аналогичных проявлений и в пределах вулканов о. Кунашир, сформированных в результате схожих вулканических процессов.

Кроме того, глубина эрозионного среза является важным фактором, контролирующим оруденение на острове. Это связано с тем, что наиболее продуктивные с точки зрения МПИ поздненеогеновые образования зачастую перекрыты более молодыми вулканитами. Поперечные разломы обеспечивают блоково-клавишное строение островов и наиболее перспективные объекты приурочены к поднятым блокам. Также стоит отметить литолого-фациальный и геоморфологический факторы, которые имеют большое значение в питании и локализации ильменит-магнетитовых россыпей, соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Арлюкова К. Р., Сагир А. В., Соломина Д. В. Особенности геологического строения Айнского золоторудного месторождения острова Уруп, Курилы // Волынцовские чтения : Материалы I Всероссийской конференции по петрологии и геохимии зон перехода «океан-континент», посвященной памяти Олега Назаровича Волынца, Петропавловск-Камчатский, 25–27 сентября 2018 года. – Петропавловск-Камчатский : ИВиС ДВО РАН, 2018. – С. 69–70.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1 : 200 000. Изд. второе. Серия Курильская. Листы: L-55-XXII, XXIII, XXVIII, XXIX, XXXII, XXXIII, XXXIV; K-55-II. Объяснительная записка. – Спб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2002. – 298 с.
3. Кемкина Р. А., Кемкин И. В. Вещественный состав руд и минералого-геохимическая методика оценки потенциального загрязнения окружающей среды токсичными элементами (на примере Прасоловского AU-AG месторождения). – Дальневосточный гос. технический ун-т (ДВПИ им. В. В. Куйбышева), Российская акад. наук, Дальневосточное отд-ние, Дальневосточный геологический ин-т. – Владивосток : Дальнаука, 2007. – 210 с.
4. Schellart W. P., Jessell M. W., Lister G. S. Asymmetric deformation in the backarc region of the Kuril arc, northwest Pacific: new insights from analogue modeling // Tectonics. – 2003. – Vol. 22 (5). – P. 1–18. – DOI: 10.1029/2002TC00147.

5. Кириллов В. Е., Горошко М. В. Золотоносность острова Уруп Большекурильской островной гряды // Региональные проблемы. – 2008. – № 9. – С. 50–55
6. Данченко В. Я., Рыбин А. В., Штейнберг Г. С. Рениеносная минерализация на Курильских островах // Тихоокеанская геология. – 1999. – Т. 18, № 4. – С. 85–98.
7. Таловина И. В., Крикун Н. С., Юрченко Ю. Ю., Агеев А. С. Дистанционные методы исследования в изучении структурно-геологических особенностей строения о. Итуруп (Курильские острова) // Записки Горного института. – 2022. – Т. 254. – С. 158–172. – DOI:10.31897/PMI.2022.45.
8. Марченко А. Г., Вольфсон А. А., Морозов М. В., Хрол Н. С. [и др.] Геохимические особенности вулканогенных отложений и эксгаляционной минерализации в кратерной части активного вулкана Кудрявый (остров Итуруп Курильской гряды) // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62, № 2. – С. 134–150.

Кряжев С. Г. (s34@mail.ru), Широбоков А. Ю. (shiro@mail.ru),
Виленкина Ю. В. (vilenkina@tsnigri.ru), Миляев С. А., Ждаников С. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ИОННО-СОРБЦИОННЫЙ МЕТОД ПОИСКОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В ФГБУ «ЦНИГРИ» разработан и запатентован новый способ геохимических поисков скрытых золоторудных месторождений. Метод включает избирательное извлечение из почвенных проб подвижных форм золота и элементов-спутников при помощи специального реагента с последующим анализом раствора методом ICP-MS.

Ключевые слова: ионно-сорбционный метод, золото.

Основной тенденцией в развитии поисковой геохимии является разработка методов прогнозирования глубокозалегающих скрытых и погребенных рудных месторождений. Большинство предложенных решений данной задачи основано на замене традиционного валового анализа литохимических проб анализом подвижных форм химических элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Это обеспечивает возможность выявления наложенных ореолов рассеяния – слабых экзогенных геохимических сигналов, обусловленных современной восходящей миграцией рудных элементов и сопутствующих соединений от залегающих на глубине руд к дневной поверхности сквозь толщи коренных пород и рыхлых отложений. Мировой опыт исследований в данном направлении свидетельствует о высокой эффективности метода подвижных форм при поисках месторождений благородных и цветных металлов в сложных геологических и ландшафтных обстановках [3].

Формирование над рудными месторождениями вторичных наложенных геохимических аномалий обусловлено наличием в почвах сорбционно-активного поглощающего комплекса – совокупности минеральных, органических и органоминеральных соединений, нерастворимых в воде и способных концентрировать и обменивать катионы металлов.

Предложено множество методов селективной экстракции металлов из почв [3]. В ФГБУ «ЦНИГРИ» разработан, запатентован (Патент № 2713177 от 16.08.2019) и реализован в практике геологоразведочных работ ионно-сорбционный способ поисков скрытых полиметаллических месторождений (Cu-Pb-Zn), основанный на использовании слабого раствора азотной кислоты. Данный реагент обладает наиболее высокой избирательной способностью извлечения катионов цветных металлов из почвенного поглощающего комплекса. Метод успешно апробирован на многих поисковых площадях России и в ряде случаев способствовал выявлению новых рудных залежей. Литохимические съемки ионно-сорбционным методом особенно результативны при повышенных мощностях рыхлого чехла. С поверхности выявляются наложенные ореолы рассеяния над полиметаллическими рудами, залегающими на глубинах до 200–250 м и перекрытыми дальнеприносными отложениями мощностью до 100 м [1, 2].

Опытно-методические работы, проведенные в различных ландшафтных условиях, подтвердили более высокую эффективность ионно-сорбционной съемки по сравнению с традиционным литохимическим опробованием. Наложенные ореолы рассеяния характеризуются повышенной контрастностью, имеют в два-три раза большую площадь, что позволяет проводить геохимические работы по разряженной сети опробования. Немаловажным преимуществом служит также снижение стоимости работ за счет уменьшения количества отбираемых проб (без потери геологической информации), отбора проб с минимальной глубины и упрощенной технологии пробоподготовки. Однако значительным недостатком данного поискового метода является нерастворимость золота в азотной кислоте и, соответственно, невозможность применения методики к поискам золоторудных месторождений.

Авторами были проведены целенаправленные опытно-методические работы по адаптации ионно-сорбционного метода к поискам золоторудных объектов. Исследования включали отбор литохимических проб на опытных полигонах над известными рудными телами с выходом на геохимический фон, приготовление и анализ вытяжек из отобранных проб с использованием различных комбинаций экстрагирующих агентов. Валовые содержания рудообразующих элементов в пробах при этом были достоверно определены традиционными при геохимических поисках способами, а именно количественным ICP-AES-анализом и количественным анализом золота методом пробирной плавки с инструментальным окончанием. Концентрации Au в пробах охватывали практически весь диапазон, выявляемый при геохимических поисках (от 0,003 до 4,5 г/т). Присутствующие в фоновых и аномальных количествах ореолообразующие элементы-спутники представлены Ag, As, Sb, Pb, Zn.

В результате проведенных работ экспериментальным путем определен реагент, способный эффективно экстрагировать золото и другие рудообразующие элементы из почвенных проб. Коэффициенты корреляции между содержаниями Ag, Pb, Zn в почвах и в вытяжках превышают критический на 95 % уровень значимости (0,48), а для главных элементов (Au, As, Sb) превышают 0,9. Положительная корреляция установлена также между Au и Te, Tl, Bi – элементами-спутниками золота, которые традиционными методами не анализируются. Таким образом, модернизированная ионно-сорбционная методика открывает все присутствующие в почвах элементы-индикаторы золотого оруденения практически со стопроцентной вероятностью и по точности не уступает методам количественного химического анализа.

Модернизированная методика ионно-сорбционной съемки была успешно апробирована в процессе прогнозно-ревизионных работ на Кундат-Талановской площади (Кузнецкий Алатау). Для опытно-методических исследований был выбран профиль, проходящий над известными золоторудными зонами, выходящими на поверхность и перекрытыми чехлом рыхлых отложений мощностью 5–10 м, а также над «слепыми» рудными залежами под тем же чехлом (рис. 1). Отбор проб производили как из верхнего гумусового горизонта (10–20 см), так и из залегающих ниже суглинков (20–40 см) с целью изучения распределения подвижных форм золота в разрезе рыхлых отложений. Установлено, что аномалии Au фиксируются во всем изученном разрезе. При этом в половине случаев содержания золота в гумусовом слое оказались выше, что подтверждает предположение о концентрировании металлов именно на этом геохимическом барьере.

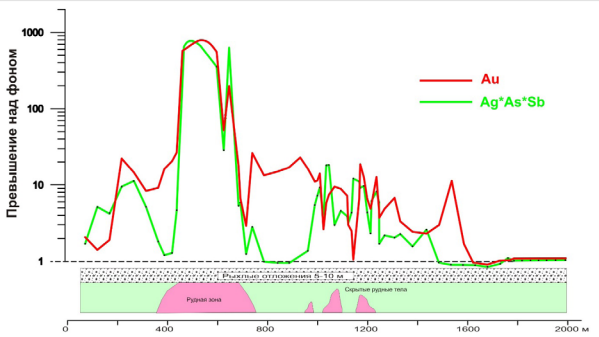


Рисунок. Результаты ионно-сорбционной съемки на Кундат-Талановской площади

Таким образом, результаты опытно-методических работ подтвердили возможность выявления золотого оруденения, перекрытого чехлом рыхлых отложений мощностью до 10 м, путем ионно-сорбционной съемки по верхнему (гумусовому) горизонту почв. На разработанный в ФГБУ «ЦНИГРИ» способ поисков золоторудных месторождений получен Патент № 2801428 от 07.04.2023.

Заключение. Новый метод геохимических поисков скрытых рудных месторождений при сохранении всех преимуществ ионно-сорбци-

онного способа существенно повышает его возможности за счет расширения спектра анализируемых элементов. Метод включает избирательное извлечение из почвенных проб подвижных форм золота и элементов-спутников при помощи специального реагента с последующим ICP-MS анализом раствора на Au, Ag, As, Sb, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, W, Hg, Bi, Te, Tl.

Основные достоинства разработки по сравнению с традиционными способами анализа: 1) одновременный анализ золота и всех без исключения элементов-спутников с минимально возможным порогом обнаружения из одной представительной навески при значительном повышении производительности и снижении стоимости работ; 2) в анализ включены важные элементы-индикаторы золотого оруденения – Bi, Te и Tl, что при использовании мультипликативных показателей резко повышает вероятность выявления слабых геохимических аномалий; 3) анализируются подвижные формы металлов, что дает возможность выявления слепых глубокозалегающих и погребенных рудных тел, перекрытых мощным чехлом рыхлых отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Миляев С. А., Кряжев С. Г., Виленкина Ю. В. Ионно-сорбционный метод литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений: общие принципы, опыт применения // Руды и металлы. – 2017. – № 2. – С. 60–68.
2. Миляев С. А., Кряжев С. Г., Виленкина Ю. В. Поиски полиметаллических месторождений в сложных ландшафтно-геологических обстановках по наложенным ореолам рассеяния // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 1. – С. 39–45.
3. Овсянникова Т. М. Геохимические методы поисков скрытых месторождений // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 8. – С. 13–19.

Кудрявцева Н. Г., Богославец Н. Н. (bogoslavets@tsnigri.ru).
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОКОЛОРУДНО-ИЗМЕНЕННЫЕ ПОРОДЫ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИАРГУНСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Изучены околорудно-измененные породы свинцово-цинковых и колчеданно-свинцово-цинковых месторождений Приаргунской минерагенической зоны, приуроченные к карбонатным породам и алюмосиликам и сделан вывод о их образовании в процессе березитизации. При этом по карбонатным породам формируются кварц-анкеритовые (с пиритом) метасоматиты, по породам кислого состава – фация березитов, а по породам средне-основного состава – лиственитоподобные породы.

Ключевые слова: околорудные изменения (окварцевание, серицитизация, хлоритизация, карбонатизация, пиритизация), березитизация.

Гидротермально-измененные породы, сопровождающие свинцово-цинковые месторождения Восточного Забайкалья, издавна привлекали внимание исследователей. Обстоятельно характеристика околорудно-измененных пород этих месторождений приведена в работах Смирнова С. С. [7], который предложил разделять околорудные изменения в зависимости от состава вмещающих пород, развитых по карбонатным и по алюмосиликам. При этом карбонатные породы (доломиты, известняки) подвержены окварцеванию, доломитизации, пиритизации, в меньшей степени – анкеритизации, тремолитизации, серицитизации, а глиноземсодержащие некарбонатные породы (сланцы, песчаники, гранит-порфиры, лампрофиры и др.) – окварцеванию, серицитизации, карбонатизации, хлоритизации, пиритизации и турмалинизации. Основные выводы С. С. Смирнова по околорудно-измененным породам были подтверждены при дальнейших исследованиях полиметаллических месторождений Приаргунья (Архангельская В. В., Аристов В. В., Кормилицын В. С., Кузнецов К. Ф., Лобанова Г. М., Плигина Д. Б., Полякова О. Н., Санин Б. П., Трофимов Н. Н., Читаева Н. А. и др.), отраженных в сборнике статей ИГЕМ АН СССР

[2], а также в работах Кудрявцевой Н. Г. по Кадаинскому [4] и Голевой Р. В., Редькина С. Ф. по Акатуевскому [3] рудным полям.

По данным этих исследователей с добавлением материалов, полученных в последние годы сотрудниками ЦНИГРИ по Приаргунской минерагенической зоне [5], составлены таблицы, отражающие характер околорудных изменений, развитых преимущественно в карбонатных и в алюмосиликатных породах. В таблице для карбонатных пород приведены околорудные изменения свинцово-цинковых месторождений Нерчинско-Заводского (Кадаинское, Михайловское, Смирновское, Благодатское, Воздвиженское и др.), Кличкинского (Савинское № 5 и др.) и Александрово-Заводского (Акатуевское) рудных районов.

На этих месторождениях преобладает оруденение преимущественно свинцового и/или свинцово-цинкового состава, а форма рудных тел – линзообразная, пластообразная, трубообразная. Рудовмещающими породами являются венд-кембрийские карбонатные породы (доломиты и известняки). Вначале необходимо отметить, что карбонатные породы на ряде месторождений (Кадаинское, Савинское № 5, Ивановское и др.) подвержены контактовому метаморфизму в результате чего сформированы роговики (кварц-диопсидовые, кварц-плагиоклазовые и др.), а также магнезиальные и известковистые скарны [8], скарноиды, которые, в свою очередь, подвержены околорудному преобразованию.

Изменения карбонатных пород на этих месторождениях очень сходны: доломиты подвержены перекристаллизации, окварцеванию, пиритизации, а известняки – доломитизации, окварцеванию, анкеритизации. На месторождении, где развиты роговики, отмечается серпентинизация (Кадаинское, Акатуевское, Покровское), а где скарны – аксенитизация (Савинское № 5).

В пределах характеризуемых месторождений отмечаются и породы другого состава. При этом осадочные породы (сланцы, песчаники, конгломераты) подвержены окварцеванию, серицитизации, хлоритизации, карбонатизации, пиритизации, редко – турмалинитизации (месторождения: Михайловское, Покровское), а интрузивные породы кислого состава (граниты, гранит-порфиры) – окварцеванию, серицитизации, пиритизации, реже – хлоритизации, а среднего состава (лампрофиры, диориты) – карбонатизации, серицитизации, хлоритизации, окварцеванию, пиритизации. Из сказанного выше следует, что на всех месторождениях Приаргунья различными авторами околорудные изменения классифицировались только по названию одного минерала.

На основании детального изучения околорудных метасоматитов на месторождениях Кадаинского [4] и Акатуевского [3] рудных полей установлено, что они сформированы в процессе березитизации в результате чего по карбонатным породам образованы апокарбонатные породы (кварц-анкеритовые с пиритом); по сланцам, песчаникам, конгломератам и гранит-порфирам – кварц-серицит-карбонатные с пиритом и кварц-серицитовые с пиритом (березиты), а по лампрофирам и диоритам – кварц-серицит-хлорит-карбонатные с пиритом (лиственитоподобные породы) [1].

Поскольку на других месторождения Приаргунья развиты сходные с месторождениями Кадаинского и Акатуевского рудных полей околорудные изменения, то их также можно рассматривать как образовавшиеся в процессе березитизации.

В таблице для алюмосиликатных пород приведены околорудные изменения месторождений Александрово-Заводского (Меркурьевское, Кодак и др.) и Кличкинского (Нойон-Тологой) рудных районов, приуроченных к алюмосиликатным породам. На данных месторождениях преобладает оруденение колчеданно-свинцово-цинкового состава, а форма рудных тел – жильная, линзовидная. Вмещающими оруденения породами являются поздне-среднеюрские эффузивы и их туфы, песчаники, конгломераты, алевролиты, редко – карбонатные породы. Интрузивные породы представлены гранодиорит-порфирами, диоритами, лампрофирами. При этом эффузивы средне-основного состава, а также осадочные породы окварцованы, серицитизированы, хлоритизированы, карбонатизированы, пиритизированы. Значительно развита на этих месторождениях турмалинизация. Интрузивные породы средне-основного состава окварцованы, хлоритизированы, серицитизированы, карбонатизированы, пиритизированы.

В результате метасоматического преобразования алюмосиликатных пород образуются парагенетические ассоциации: кварц-хлорит-серицит-карбонат-пирит-кварц → кварц-серицит-

карбонат-пирит, которые соответствуют фации березитов, а процесс околорудного изменения классифицируется как березитизация. К такому же выводу пришли исследователи месторождения Нойон-Тологой [6].

Таким образом, изучение, процесса околорудного преобразования рудовмещающих пород на месторождениях, приуроченных к карбонатным и алюмосиликатным породам, позволяет сделать выводы, что он соответствует березитизации, а в породах различного состава формируются кварц-анкеритовые (с пиритом) метасоматиты (по карбонатным породам), кварц-серицит-карбонатные (с пиритом) по осадочным породам и интрузивам кислого состава – березиты и кварц-серицит-хлорит-карбонатные (с пиритом) – лиственитоподобные метасоматиты.

Исследования околорудно-измененных пород на свинцово-цинковых месторождениях приаргунского типа наряду с четко проявленным литологическим контролем оруденения играют важную роль при прогнозе и поисках объектов подобного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бородаевский Н. Н., Бородаевская М. Б. Уральские лиственитты, березиты, и родственные им породы // Уральское петрографическое совещание. (Тезисы докладов). – Свердловск, 1961. – С. 91–93.
2. Вопросы геологии и генезиса некоторых свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // Труды ИГЕМ АН СССР. – Вып. 83. – М. : Изд-во Академии Наук СССР, 1936, 212 с.
3. Голева Р. В., Редькин С. Ф. О гидротермальном изменении алюмосиликатных пород на Акатуевском рудном поле (Восточное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. – 1968. – № 1. – С. 41–57.
4. Кудрявцева Н. Г. Некоторые особенности гидротермально-измененных пород Кадаинского рудного поля (Восточное Забайлкалье) // Известия высших учебных заведений «Геология и разведка». – 1967. – № 12. – С. 45–54.
5. Кузнецов В. В., Брель А. И., Богославец Н. Н., Елшина С. Л., Кузнецова Т. П., Серавина Т. В. Металлогения Приаргунской структурно-формационной зоны // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 32–43.
6. Кузнецов В. В., Брель А. И., Кузнецова Т. П., Серавина Т. В., Мигачев И. Ф., Донец А. И., Кудрявцева Н. Г., Богославец Н. Н., Елшина С. Л. Особенности строения и минералогическая характеристика руд полиметаллического месторождения в вулканогенных ассоциациях (VMS) Нойон-Тологой // Отечественная геология. – 2021. – № 6. – С. 65–84.
7. Смирнов С. С. Полиметаллические месторождения и металлогения Восточного Забайкалья. – М. : Изд-во Академии Наук СССР, 1961. – 507 с.
8. Филатов Е. И., Кудрявцева Н. Г. О магнезиальных скарнах Кадаинского рудного поля // Известия высших учебных заведений «Геология и разведка». – 1967. – № 9. – С. 57–62.

Кузнецов А. В. (alexkuznecov2002@yandex.ru), Мангал Ф. (ferozmangal.kpu@gmail.com), Таловина И. В. (talovina_iv@pers.spmi.ru), Илалова Р. К. (Ilalova_RK@pers.spmi.ru)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПЛАТИНОНОСНОСТИ ПОРОД ЛОГАРСКОГО ОФИОЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА (КАБУЛЬСКИЙ БЛОК, АФГАНИСТАН)

В ходе выполнения работы были изучены и проанализированы особенности состава, распространения и рудоносности пород, слагающих Логарский офиолитовый комплекс, расположенный на территории Кабульского блока юго-восточного Афганистана.

Ключевые слова: офиолиты, Кабульский блок, Логар, Афганистан, дуниты, гарцбургиты, хромититы, хромшпинелиды, минералы платиновой группы.

Логарский офиолитовый комплекс является метаморфизованной частью древней океанической коры, сформированной во времена существования океана Тетис [1]. Он был описан в 1964 г. немецким геологом Д. Вирцем, а впоследствии нанесен на геологические карты Афганистана, составленные советскими экспедициями.

Позднеюрское-раннемеловое время характеризуется закрытием бассейна палеоокеана в результате континентальной коллизии между Лавразией и Гондваной, что привело к формированию обширной зоны дробления коры в зоне контакта и образованию многочисленных мелких блоков, соединенных сутурными швами (рис. 1, А–В) [5]. Участок океанической коры, впоследствии ставший Логарским комплексом, претерпел активный динамометаморфизм, сопровождавшийся формированием толщ характерных пород – сланцев, амфиболитов, гнейсов [3].

В строении комплекса преобладают ультраосновные породы дунит-гарцбургитового состава, меньшее распространение имеют лерцолит и верлит. Значительно развитие вторичных изме-

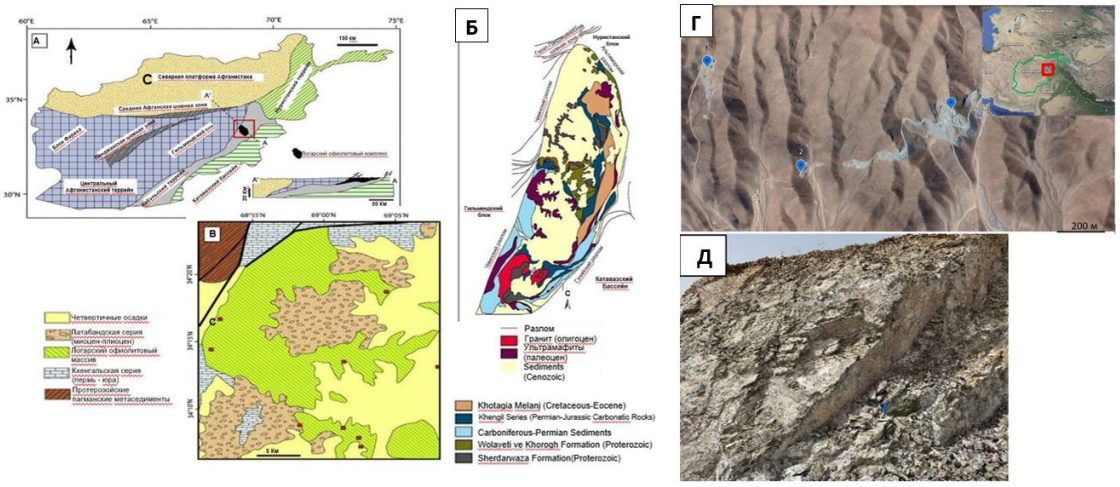


Рис. 1. Упрощенная геологическая карта Афганистана [4] (А); геологическая карта Кабульского блока (Б); геологическая карта Логарского офиолитового комплекса [4] (В); места проявления хромитита отмечены красными сплошными квадратами; точки отбора проб в районе Логарских карьеров (Г); коренной выход дунитов (Д)

Табл. 1. Химический состав пород Логарского офиолитового комплекса, мас. %

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
SiO_2	36,367	44,965	30,841	11,495	12,64	11,453	9,746	11,708	8,422	15,416	9,771
Al_2O_3	2,901	1,51	5,736	13,743	6,512	15,199	11,988	11,141	18,759	13,909	23,259
FeO	8,93	8,575	11,778	12,564	12,695	12,16	16,902	12,707	12,554	11,148	11,637
MgO	47,655	41,93	34,253	24,33	25,642	25,19	15,732	24,864	22,186	27,255	28,271
CaO	0,018	2,874	0,33	0,252	2,887	0,557	0,669	0,401	1,534	0,138	н.о.
K2O	н.о.	0,084	0,051	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	н.о.
Cr_2O_3	3,901	0,198	17,008	37,631	39,871	35,198	45,378	39,04	36,447	32,094	27,133
Total	100,257	100,136	99,997	100,015	100,247	99,757	100,415	99,861	99,902	99,99	100,071
V	-	0,004	0,050	0,099	0,109	0,145	0,133	0,124	0,094	0,050	0,090
Ni	-	0,066	0,162	0,168	0,124	0,194	0,139	0,138	0,138	0,208	0,112
Co	-	0,024	0,027	н.о.	0,094	н.о.	0,081	0,072	0,067	0,074	0,132
Mn	-	0,084	0,276	н.о.	0,345	н.о.	0,339	н.о.	н.о.	0,292	0,795
Zn	-	0,002	0,041	0,099	0,066	0,064	0,068	0,082	0,065	0,076	0,065
Ti	-	н.о.	0,030	н.о.	0,049	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,065	н.о.
Ba	-	0,037	0,049	0,010	0,056	0,014	н.о.	0,019	0,023	0,064	0,020
La	-	0,014	0,029	0,021	0,031	0,032	0,023	0,033	0,033	0,026	0,036
Ce	-	0,018	0,031	0,027	0,034	0,034	0,033	0,044	0,038	0,029	0,039
Pr	-	0,032	0,057	0,054	0,077	0,067	0,051	0,067	0,068	0,053	0,071
Nd	-	0,057	0,100	0,096	0,129	0,116	0,102	0,130	0,124	0,113	0,132
S	-	0,552	0,133	0,020	0,001	0,038	0,049	0,029	0,025	0,040	0,127

Примечание. 1 – дунит, 2 – серпентинит, 3 – гарцбургит, 4-11 – хромититы; н.о. – не определено, «-» – не исследовалось.

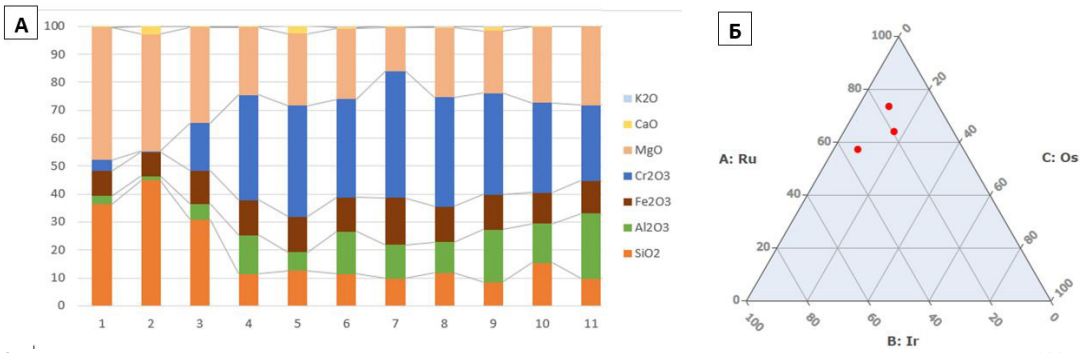


Рис. 2. Гистограмма содержаний главных компонентов пород Логарского комплекса (А); треугольная диаграмма Ферре, показывающая процентную составляющую ЭПГ в исследуемых породах (Б)

нений – подавляющее большинство пород серпентинизировано. Мощность офиолитового комплекса достигает 2800 м. Выше залегает толща вулканических основных и средних андезит-базальтовых пород мощностью до 1800 м [4]. Завершает разрез Логарского комплекса перекрывающая вулканогенно-осадочная толща формации Петау.

Отдельно следует отметить развитие хромшпинелидовой минерализации в ультра основных породах, главным образом в дунитах и гарцбургитах [1]. Наибольшее распространение имеет массивный хромшпинелид, слагающий жилы и линзы длиной до нескольких десятков и мощностью до 1 метра и вкрапленный, образующий мелкие прожилки, тела неправильной формы и участки рассеянной минерализации. Важным компонентом хромовых руд являются элементы платиновой группы [2].

Ранее на исследуемой территории производилась отработка хромовой руды карьерным способом. В качестве фактического материала при подготовке статьи были использованы образцы различных пород ультраосновного состава, отобранные на территории двух отработанных карьеров размерами 20 × 10 × 20 и 70 × 35 × 25 м, а также отдельных обнажений. С помощью программы Google Earth координаты мест отбора (N 34.12955, E 069.03477) были нанесены на карту фактов и получена спутниковая фотография их расположения (см. рис. 1, Г). Фотографии изученных обнажений хромитовых проявлений приведены на рисунке 1, Д. Полученные образцы были проанализированы рентгенофлуоресцентным методом в лаборатории Кабульского политехнического университета, результаты показаны в таблице 1.

Исходя из полученных данных видно, что концентрации оксида хрома варьируют от 27 до 45 % в прожилково-вкрапленных и массивных хромититах соответственно. Для большей наглядности в оценке распределения основных компонентов была построена гистограмма их распределения (рис. 2, А). Помимо главных компонентов, наблюдается присутствие групп транзитных, сидерофильных, редкоземельных и летучих элементов, суммарные содержания которых не превышают 1 %.

Для исследования платиноносности отобранных образцов хромититов был проведен электронно-микроскопический анализ зерен хромшпинелида, результаты которого представлены в таблице 2.

По результатам анализа был сделан вывод, что в составе пород Логарского комплекса присутствуют преимущественно тугоплавкие элементы платиновой группы (Ru, Os, Ir), причем встречаются они как в сульфидной, так и в самородной форме. Для наглядного представления полученные значения были нанесены на треугольную диаграмму Ферре (см. рис. 2, Б).

Таким образом, результаты исследований показывают перспективность дальнейшего изучения Логарского офиолитового комплекса, а полученные сведения об их платиноносности, дополнительно подтвержденной работами пред-

Табл. 2. Химический состав минералов платиновой группы, по результатам электронно-микроскопического анализа, вес. %

№ спектра	Спектр 65	Спектр 85	Спектр 87
O	-	-	8,73
Mg	-	-	1,88
S	34,42	33,92	0,73
Cr	1,79	2,08	2,88
Fe	0,51	0,57	7,27
Ni	-	-	7,88
Ru	40,56	36,37	51,77
Os	12,31	22,04	11,53
Ir	10,41	5,03	7,04

шественников [2], делают их крайне перспективными объектами для возможной добычи и переработки. Сохранившиеся элементы горнодобывающей и транспортной инфраструктуры позволят сократить расходы и снизить итоговую цену получаемых полезных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абдулла Ш., Азими Н., Арсаланг А., Гируволь М., Дронов В.И., Кафарский А.Х., Салах А., Стажило-Алексеев К. Ф., Субот М., Телешев Г. И., Хамид М., Хашмат А., Чмырёв В. М. Геология и полезные ископаемые Афганистана. – М. : Недра, 1980. – 535 с.
2. Benham A. J., Kovč P., Petterson M., Rojkovic I. Chromite and PGE in the Logar Ophiolite Complex, Afghanistan // Applied Earth Science IMM Transactions section B 118(2). – 2009. – С. 45–58.
3. Faryad, S.W. [et al.] The Kabul Block (Afghanistan), a segment of the Columbia Supercontinent, with a Neoproterozoic metamorphic overprint // Gondwana Research. – 2015. – 20 p.
4. Ramadan Abdelaziz, Yasser Abd El-Rahman, Sophie Wilhelm. Landsat-8data for chromite in Logar Massif, Afghanistan // Heliyon. – 2018. – № 4. – e00542.
5. Yousufi A., Ahmadi H., Bekbotayeva A., Arshamov Y., Baisalova A., Omarova G. Pekkan E. Integration of Remote Sensing and Field Data in Ophiolite Investigations : A Case Study of Logar Ophiolite Complex, SE Afghanistan // Minerals. – 2023. – T. 13. – P. 234.

Кузнецов В. В. (okt@tsnigri.ru), Серавина Т. В., Богославец Н. Н., Кузнецова Т. П., Донец А. И., Петухов А. А., Иваненкова Е. В.

ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЕРАВНИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Еравнинский рудный район расположен в пределах Удино-Витимской минерагенической зоны. В ее пределах широко развиты раннепалеозойские и протерозойские гранитоиды, среди которых сохранились останцы кровли, провесы и ксенолиты протерозойских и кембрийских стратифицированных пород. Пластообразные рудные тела, сложенные бедными и богатыми рудами, образуют три рудоносных горизонта. Рудные тела залегают среди слоистых известково-туфогенно-осадочных пород, переслаивающихся с туфами кислого состава. Во всех трех горизонтах они приурочены к кровле тонкообломочных пород, обогащенных углистым веществом. Рудовмещающие породы и руды подстилаются и перекрываются более грубозернистыми отложениями или пластами известняков и туфов различного состава.

Ключевые слова: Еравнинский рудный район, пастообразные рудные тела, колчеданно-полиметаллическая руда.

Еравнинский рудный район расположен в пределах Удино-Витимской минерагенической зоны, где широко развиты раннепалеозойские и протерозойские гранитоиды, среди которых сохранились останцы кровли, провесы и ксенолиты протерозойских и кембрийских стратифицированных пород. Еравнинский рудный район пространственно приурочен к останцу кровли нижнекембрийских образований в раннепалеозойских гранитоидах Витимканского комплекса. Размеры останца: длина 22–24 км, ширина 5–12 км. Он ограничен на юго-востоке впадиной Еравнинских озер, а на северо-западе – Зазинской депрессией.

На основе изучения взаимоотношений руды с магматическими образованиями, положения их в структурах района в разрезе и фациях вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород установлены следующие закономерности локализации колчеданно-полиметаллических руд.

Для Еравнинского рудного района характерно широкое проявление сульфидной минерализации. Рассеянная вкрапленность пирита отмечается повсеместно и на всех интервалах разреза олдындинской свиты нижнего кембрия. Скопления сульфидов с содержанием пирита от 5 до

20 % встречаются реже, но все же достаточно широко. Они имеют линзовидную форму и залегают согласно с вмещающими породами. Мощность линз колеблется от нескольких миллиметров до 20, реже 50 см. Часто линзы разделены маломощными безрудными прослоями и слагают пластообразные минерализованные зоны мощностью от 0,5 м (участок Гурвунур) до 5–10 м (участки Гундуй, Ульдзуйтуй-II и др.). Иногда в минерализованных пластообразных зонах, приуроченных к грубообломочным образованиям, вместо линз отмечаются прожилки сульфидов (участок Таежный).

Наиболее часто минерализованные пластообразные зоны, с содержанием сульфидов 5–20 % в отдельных линзах и прожилках встречаются в разрезах нижней (участки Ульдзуйтуй-I, Звездный, Перевальный, Таежный, Озерный и др.) и особенно средней (участки Озерный, Ульдзуйтуй-I и II, Назаровский и др.) пачек верхней подсвиты олдындинской свиты, где они залегают в породах, разделяющих промышленные залежи колчеданно-полиметаллических руд. В меньших количествах они присутствуют в средней (участки Озерный и Туркул) и верхней (участки Туркул, Таежный, Гундуй, Аришинский н др.) пачках нижней подсвиты олдындинской свиты.

Как минерализованные зоны, так и отдельные линзовидные скопления чаще всего приурочены к пластам известковистых тонкообломочных туффитов, углистых туфоалевролитов и слоистых известняков. Размещение описанных минерализованных зон по площади района приурочено главным образом к вулканогенно-осадочным фациям удаленных зон, развитых в центральных частях Еравнинского прогиба.

В составе рудных минералов линз и прожилков резко преобладает пирит различных модификаций, а сфалерит и галенит обычно встречаются в единичных зернах. Исключением являются минерализованные зоны участков Таежный, Озерный, Ульдзуйтуй-I и II, где они залегают и в средней пачке верхней подсвиты олдындинской свиты, и содержания цинка возрастают до первых процентов (обычно менее 2 %). Кроме описанной сульфидной минерализации, в районе выявлены пластообразные рудные тела, сложенные бедными и богатыми рудами, образующие три рудоносных горизонта. Содержание суммы свинца и цинка в бедных рудах от 1 до 4 %, а в богатых – от 4 до 20–30 %.

Нижний рудоносный горизонт известен только на месторождении Озерное, где он представлен двумя рудными телами, разделенными десятиметровым безрудным интервалом. Нижнее рудное тело мощностью 2,2 м представлено прожилково-вкрапленными, а верхнее мощностью 6,6 м – тонкослоистыми бедными рудами. Оба тела залегают среди переслаивающихся известковистых туффитов и углистых туфоалевролитов средней пачки нижней подсвиты олдындинской свиты. Средний рудоносный горизонт вскрыт скважинами на месторождении Озерное и на рудопроявлениях Перевальное, Васильевское и Звездное. В составе горизонта обнаружены три рудных тела. Нижнее мощностью 16 м сложено бедными колчеданно-полиметаллическими рудами, а среднее и верхнее рудные тела практически являются минерализованными зонами, аналогичными по составу вышеописанным. Колчеданно-полиметаллические руды нижнего тела приурочены к пласту алевритовых известковистых туффитов, ниже и выше которых развиты гравийные туфы среднего состава верхней подсвиты оддындинской свиты. По простиранию это тело прослежено на 1,5–2 км, а вкрест простирания – на 3,5 км от участка Перевального до Звездного. На всех указанных участках рудные тела среднего горизонта залегают среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований удаленной фации и локализуются в участках смены тонкозернистых туфогенно-осадочных пород, обогащенных углистым материалом и грубообломочными образованиями. Верхний рудоносный горизонт, наиболее хорошо изученный в районе, вскрыт горными выработками и скважинами на участках Озерное, Назаровское, Ульдзуйтуй-I и II, т. е. практически на всех участках, где развиты отложения средней пачки верхней подсвиты олдындинской свиты. Исключением являются участки Солнечный и Октябрьский, где в указанной пачке пород проявилась лишь слабая колчеданная минерализация и где рудовмещающие породы перекрыты мощной пачкой органогенных известняков.

На большинстве указанных участков рудные тела горизонта сложены бедными колчеданно-полиметаллическими рудами. Богатые руды развиты преимущественно на месторождении Озерное, в них содержится около 90 % запасов свинца и цинка района.

На участке Ульдзуйтуй-I в составе верхнего рудного горизонта выявлены пять тонкослоистых рудных тел. Для этого участка характерна очень четкая приуроченность рудных тел к верхам пластов тонкослоистых углистых туфоалевролитов и кремнистых туффитов, залегающих между грубообломочными пирокластическими образованиями среднего состава. Отдельные рудные слойки мощностью до 10 см часто прослеживаются вкрест простирания структуры месторождения на 400 м и более. Самые мощные рудные тела с повышенным (до 40 %) содержанием свинца и цинка залегают в нижней части разреза рудовмещающей пачки, где на колчеданно-полиметаллические руды накладывается полиметаллическое скарновое оруденение.

На участке Ульдзуйтуй-II верхний рудный горизонт представлен практически пластообразной зоной с колчеданно-полиметаллической минерализацией. Мощность зоны около 30 м. В ее составе выделяются три пластовые залежи с повышенными (но менее 3 %) содержаниями суммы свинца и цинка. Фактически это три пласта сильно известковистых туффитов или туфоалевролитов, несколько сильнее минерализованных, чем разделяющие их известковистые туфогравелиты и известняковые брекчии. Для оруденелых пород этого рудопроявления так же, как и для описанного выше, характерно тонкослоистое строение. На участке Назаровский слоистые колчеданно-полиметаллические руды залегают в скарнах и скарнированных породах средней пачки верхней подсвиты олдындинской свиты. На месторождении Озерное по данным Р. С. Тарасовой [1] в составе верхнего рудного горизонта выделяются 12 рудных тел. Они сложены богатыми массивными, слоистыми и брекчиевидно-вкрапленными рудами и залегают в верхах пластов ритмично-слоистых пород, представленных чередующимися между собой тонкообломочными углисто-известковистыми туфоалевролитами, туффитами и туфами кислого состава. Большинство рудных тел залегает в средней и верхней частях разреза.

Таким образом, изложенный выше материал позволяет сделать вывод о том, что промышленные залежи колчеданно-полиметаллических руд локализуются преимущественно в средней пачке туфогенно-осадочных пород верхней подсвиты олдындинской свиты, т. е. в участках разреза нижнекембрийских отложений, где породы алюмосиликатного состава сменяются органогенными известняками.

Рудные тела, вне зависимости от содержаний сульфидов, во всех трех горизонтах залегают в кровле тонкообломочных пород, обогащенных углистым веществом. Рудовмещающие породы и руды подстилаются и перекрываются более грубозернистыми отложениями или пластами известняков и туфов различного состава. Строгой приуроченности рудных тел к каким-либо частям разреза вмещающей их пачки не отмечается: на отдельных участках они встречены в нижней, на других – в средней и верхней частях разреза.

При изучении закономерностей размещения колчеданно-полиметаллических руд по площади рудного района установлено, что наиболее мощные и богатые по содержанию свинца и цинка рудные тела залегают среди слоистых известково-туфогенно-осадочных пород, переслаивающихся с туфами кислого состава (Озернинский рудный узел). Менее крупные и менее богатые рудные тела, но с промышленными содержаниями суммарного свинца и цинка находятся среди кремнисто-туфогенных и сильно известковистых туфогенно-осадочных пород, переслаивающихся с туфами (Ульдзуйтуский рудный узел) и лавами (Назаровский рудный узел) среднего состава.

Все участки развития туфогенно-осадочных пород, вмещающих рудные тела верхнего рудного горизонта, пространственно приурочены к центральным частям Еравнинского прогиба, т. е. сохраняется отмеченная для нижних рудных горизонтов тенденция в размещении руд среди удаленных фаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тарасова Р. С., Близнюк М. В., Бабкин И. Н. О формационном типе и генезисе Озерного свинцово-цинкового месторождения // Геология и генезис эндогенных рудных формаций Сибири. – М. : Наука, 1972. – С. 79–97.

Кузнецов Ю. А. [1] (tundra49@mail.ru), Варфоломеев С. Д. [2, 3] (sdvarf@bk.ru), Цыбенова С. Б. [3] (s.tsybenova@gmail.com), Калиниченко В. Н. [3] (kalinval47@mail.ru), Мальцев А. А. [3] (aam.0205@yandex.ru,) Жабин А. В. [4] (zhabin01@gmail.com), Дубков А. А. [5] (dubston@mail.ru), Грызлов Д. Ю. [6] (w6u2008@yandex.ru)

[1] ООО «РГ Иркутскгеофизика 3», г. Иркутск,

[2] МГУ, г. Москва,

[3] ФГБУН ИБХФ РАН, г. Москва,

[4] ФГБОУ ВО ВГУ, г. Воронеж,

[5] ФГБУ ВНИГНИ, г. Москва,

[6] ФГБУН ИФХЭ РАН, г. Москва,

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ ЗОЛОТА ИЗ ОБЛАСТЕЙ ИХ ПЕРЕНОСА ОТ КОРЕННОЙ ПОРОДЫ ДО АККУМУЛЯЦИИ В РОССЫПИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРИЙСКОЕ (ЧИТИНСКАЯ ОБЛАСТЬ) И ХЛЕБОПЁК (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, БОДАЙБИНСКИЙ РАЙОН)

Нами в серии работ [1–5] прослежены преобразования минеральных форм золота, выражающиеся в его переходе из окисленных форм (в основном – Au^{3+}и Au^{1+}) в коллоидную систему Au^0, с возникающими возможностями последующей самосборки и образованием крупных самородков, которые не могли быть реализованы в коренной породе. В этих преобразованиях, кроме общеизвестных процессов механического дезинтегрирования коренных пород, содержащих золото, изменения разрушенного материала в зоне гипергенеза, поступления измененного материала в склоновые и россыпные фации важнейшую роль играют в процессе восстановления золота до его, привычного нам, «ноль валентного состояния». Между зоной поверхностного гипергенеза, из которой выщелачиваются минеральные формы золота, и россыпями существует некоторая область, в которой количество коллоидного золота может увеличиваться в разы и даже на порядки. На различных месторождениях она имеет разную протяженность, ширину и мощность, но при этом встречается всегда и везде (формируясь в так называемую «струю»). В пределах «струи» при стечении ряда благоприятных геологических факторов в локальных ловушках в основном и возникают условия для перехода минеральных форм Au^{3+}и Au^{1+} в Au^0. В локальных ловушках в «струе» в результате физико-химических процессов затрудняется «вымывание» мельчайших, рыхлых и легко транспортируемых в водных потоках коллоидных форм золота Au^0 при их движении к базису эрозии. И в них же они могут образовывать уже макроскопические его формы, вплоть до самородков. На примере двух россыпных объектов, расположенных в очень известных рудно-россыпных районах РФ (Хлебопёк, Бодайбинский район Иркутской области и Карийское, Сретенский район Читинской области), мы и попытаемся это продемонстрировать.

Ключевые слова: золото, зона гипергенеза, минеральные формы золота, россыпь, Карийское, Хлебопёк.

Рассматриваемые объекты Карийское и Хлебопёк расположены в сходных физико-географических условиях – горной местности Восточной Сибири с наличием вечной мер-злоты. Детально их геологическое строение и минералого-геохимические особенности подробно описаны в наших работах [1, 3].

В отличие от Карийского рудно-россыпного района, Бодайбинский рудно-россыпной район, в том числе и месторождение Хлебопёк, находящееся в непосредственной близости от Сухого Лога, характеризуется отсутствием интрузивных пород в их рудных полях золоторудных месторождений и еще более незначительным проявлением (чем на Карийском рудном объекте) кварцево-жильной минерализации. Колебания содержаний золота и на Карийском рудном месторождении, и в кристаллических сланцах Хлебопёка от долей грамма до 105–140 грамм на тонну. Еще раз подчеркнем – находки выделений Au в рудных месторождениях Карийского и Сухоложского рудных объектов размером в 0,3–0,5 см считаются редчайшими минералогическими находками [1, 3, 4]. В отличие от месторождений рудного золота, для россыпей как Карийского, так и Бодайбинского рудно-россыпных узлов характерно наличие «крупного» золота,

не зафиксированного ни на одном из рудных объектов этих районов. Кроме того, при промывке золота из склоновых фаций ни на Карийском, ни на Хлебопёке в концентратах, получаемых нами после промывки на промприборах, никогда не наблюдалось золотин размером более 0,3 мм. В то время как в аллювии этих водотоков, находящихся в первых сотнях метров от склонов, наличие самородков, в том числе и крупных, – рядовое явление. Кроме того, в этих работах отмечен несомненный факт, что и в рудных зонах Карийского месторождения, и в кристаллических сланцах Хлебопёка, даже с аномально высокими содержаниями (в десятки грамм), золото находится не сколько в форме интерметаллических сплавов с Ag, Cu и другими элементами, сколько в виде его теллуридных, стибнитных, селенидных и других форм.

Известно, что хотя золото и является самым «благородным» из «благородных металлов», оно образует множество разнообразных соединений. Степень окисления золота в его соединениях колеблется от -1 до + 5, но Au (+1) и Au (+3) доминируют в химии его соединений. Примерами Au (I) является общеизвестный цианид золота $Au(CN)^{-2}$, а Au (III) – калаверит $AuTe_2$, в котором степень окисления золота +3 и +2 [7], или минеральные формы золота и серебра, типа ютенбогаардита – Ag_3AuS_2 или петровскаита – AuAgS, находки которых все более часто отмечаются в зонах гипергенеза золоторудных месторождений [6], в которых степень окисления золота +1. Эти формы часто фиксируются нами [3], том числе и на Хлебопёке и Карийском (рисунок).

Мы давно придерживаемся мнения, что тонко- и ультратонкодисперсные минеральные формы благородных элементов встречаются в рудных месторождениях значительно чаще в окисленных формах, чем «самородные», заключенные в породах как рудных [2, 3], так и россыпных золоторудных месторождений. А «самородные нуль-валентные формы» россыпных месторождений возникают именно из них при стечении многих благоприятных геологических условий [2–4]. И могут в условиях образования россыпей, конкретно на Хлебопёке и Карийском [2–4], достигать действительно крупных размеров.

Таблица. Состав минеральных фаз хвостов обогащения тяжелой фракции для месторождений Хлебопёк (слева) и Карийское (справа), по данным рентгенофазовой дифрактометрии. Минеральные формы в таблицах расположены в порядке убывания (сверху вниз) частоты встречаемости от больших значений к меньшим

Phase	Phase
Quartz	Quartz
Muscovite	Goethite
Albite (low)	Ag Au
Goethite	Albite, low
Pyrrhotite	Hornblende
Au Zn_3	Tourmaline
Au Cu	Tourmaline (schorl)
Magnetite	Pyrrhotite
Au Sb_3	Pyrite
Acanthite	Sphalerite
Petrovskaite	Acanthite
Pyrite	Au Cu
Jutenbogardite	Au Zn_3
Magnetite, titanian	Beryl
Au Cu Se_4	Au Cu Se_4
Gold silver telluride	Galena
Fishcheserite	Gold silver telluride
Silver sesquioxide	Petrovskaite
	Zircon
	Magnetite
	Jutenbogardite

Основными из этих благоприятных условий формирования для рассматриваемых россыпных месторождений являются: 1) повышенные содержания минеральных форм золота во вмещающих породах на относительно локальных участках районов, дренируемых водотоками; 2) наличие зон сульфидизации во вмещающих породах, возможность их окисления в водной кислородсодержащей среде и возможность транспортировки продуктов окисления-восстановления, в ряду Fe – Au в виде коллоидных частиц в водном потоке; 3) наличие природных ловушек, способных задерживать хотя бы часть коллоидов Au, Fe, Al, Si и минеральных форм сульфидов на относительно длительный период, в которых и происходят их преобразования, включающие «самосборку» и процессы растворения и осаждения. В противном случае, легчайшие коллоидные частицы будут покидать ловушки на всем пути транспортировки, вплоть до Мирового океана.

Бесспорным является одно: очевидно, что формирование рудных и россыпных месторождений золота представляет собой не только механический процесс образования разломов в земной коре с циркуляцией по ним гидротермальных растворов, несущих

его растворимые формы, или транспортировку глыбового материала до базиса эрозии, но и ряд химических процессов перехода минеральных форм золота в другие его, часто более крупные, макроформы. Принципиально важным для понимания механизмов таких процессов являются химические реакции и кинетическое поведение основных форм золота: $Au^{3+,}$ Au^{1+}, Au^0 в коллоидной форме нанозолота и Au^0 в виде микрочастиц. И наличие сульфидов металлов (пирита, халькопирита, арсенопирита) и продуктов их преобразований в водной среде с участием кислорода в ряду преобразований:

$$\mathbf{FeS_2 \rightarrow Fe_{1-x}S \rightarrow Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O \rightarrow Fe_2O_3 \rightarrow FeO(OH) \rightarrow Fe_3O_4.}$$

пирит пирротин мелантерит кокимбит гематит гетит магнетит

Другим принципиальным фактом является установление нами на обоих месторождениях методами порошковой рентгенофазовой дифрактометрии постоянного наличия сульфидных форм Au: **ютенбогаардтита – Ag_3AuS_2** и **петровскаита – AuAgS**, и селенидной формы – **фишессерита – Ag_3AuSe_2** (таблица).

Химические основы закономерностей перехода друг в друга минеральных форм Au^{3+} в Au^{1+} и Au^0 прекрасно изложены в работах Н. Е. Савва и др. [5], многократно проверены нами в лабораториях и дополнений не требуют. Кинетические закономерности синтеза нанозолота, особенности механизма этого процесса и соответствующие модели **формирования и аккумуляции россыпного золота изложены в наших работах [1–4]**.

Третьим принципиальным фактом является установление нами того, что растворенные при помощи тиосульфатов формы Au^{3+}, Au^{1+} и Au^0 в виде истинных растворов тиосульфата золота $\mathbf{Au(S_2O_3)_2^{3-}}$ существуют очень непродолжительное время и переходят в коллоидные формы (при наличии любого восстановителя), формы, легко транспортируемые в водных потоках на гигантские расстояния, если не найдут природную «ловушку». В ловушках, если там постоянно осуществляется подпитка золотом и его тиосульфатами и сульфитами из окисляющихся пиритов, они могут превращаться в гели, флогулироваться, превращаться в ксерогели (рисунок) и даже в массы двумерных структур Au, а за тем трехмерных, как это показано нами [3, 4].

$Au^{3+} + 2Au^0 \xrightarrow{k_2} 3Au^{1+}$. Где k – константа скорости процесса

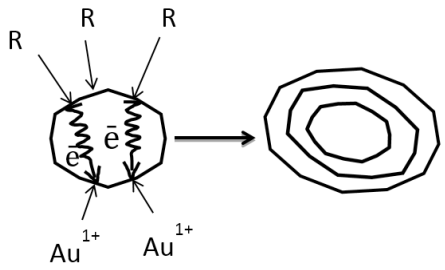


Рисунок. Механизм «электрохимической реакции» восстановления Au^{1+} и нарастания золота на «затравке» из Au^0 в зоне коагуляции нанозолота при наличии подвода к системе Au^{1+} и восстановителя R

Тезисы сформулированы по результатам выполнения исследований в рамках Государственного Задания Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова № 121041500039-8 и Института биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН № 122041300210-2. Авторы признательны ООО «Иликан», структурному подразделению ООО РГ «Иркутскгеофизика 3» за многолетнюю финансовую поддержку проводимых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дубков А. А., Жабин А. В., Калиниченко В. Н., Кузнецов Ю. А. Исследование благороднометалльной минерализации пород кор выветривания Карийского рудного поля методами рентгенофазовой дифракции и электронной микроскопии (Восточное Забайкалье) // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2023. – Вып. 110. – С. 12–24.
2. Кузнецов Ю. А., Дубков А. А., Калиниченко В. Н., Жабин А. В., Варфоломеев С. Д. Исследования микроформ кристаллических соединений благородных металлов в золоторудных месторождениях Евразии // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2023. – Вып. 111. – С. 27–37.
3. Кузнецов Ю. А., Грибанов В. П., Варфоломеев С. Д., Калиниченко В. Н., Дубков А. А., Гулин А. А., Жабин А. В. Исследования изменений минерального состава пород в ряду «коренной источник – кора выветривания – россыпь» на примере притоков золоторудного ме-

сторождения Хлебопёк (Бодайбинский район, Иркутская область) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2024. – № 1. – С. 32–48.
4. Кузнецов Ю. А., Грибанов В. П., Варфоломеев С. Д., Калиниченко В. Н., Мальцев А. А., Дубков А. А., Гулин А. А., Жабин А. В. Минералого-геохимические особенности состава «плывущего золота» на примере золоторудного месторождения Хлебопёк (Бодайбинский район, Иркутская область) // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2024. – Вып. 113. – С. 16–29.
5. Савва Н. Е., Пальянова Г. А., Бянкин М. А. К проблеме генезиса сульфидов и селенидов золота и серебра на месторождении Купол (Чукотка, Россия) // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 5. – С. 597–609.
6. Streltsov S. V., Roizen V., Ushakov A. V., Oganov A. R., Khomskii D. I. Old and new puzzles of gold tellurides: incommensurate crystal structure of calaverite AuTe2 and predicted stability of AuTe // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2018. – 115 (40). – 201802836.

Кузнецова С. В. [1] (svkuzv@yandex.ru), Жегалло Е. А. [2]
[1] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва
[2] ПИН РАН, г. Москва

БИОМОРФНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В РУДАХ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ

Для месторождений в вулканогенных ассоциациях, образованных в результате поступления высокотемпературных гидротермальных растворов на дно палеобассейна, характерно присутствие в рудах биоморфных образований. В результате исследований, проведённых на колчеданно-полиметаллических месторождениях Северо-Западного Алтая, в сульфидных рудах были выявлены и микротекстуры биогенного происхождения. Большое количество оруденелых бактерий и фоссилизированной фауны хорошей сохранности было обнаружено нами на Западно-Захаровском месторождении Рубцовского района. Руды колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского района в большинстве случаев подверглись действию контактового метаморфизма. Биоморфные образования присутствуют в рудах этих месторождений в виде реликтов.

Ключевые слова: Рубцовский и Змеиногорский рудные районы, биоморфные скопления, колчеданно-полиметаллическая руда.

Рудноалтайские колчеданно-полиметаллические месторождения являются типичными представителями месторождений в вулканогенных ассоциациях (VMS), образованных в результате поступления высокотемпературных гидротермальных растворов на дно палеобассейна вблизи вулканических центров [2].

В настоящее время аналоги таких месторождений образуются в участках современного колчеданообразования. Для этих участков характерно существование «курильщиков» – трубообразных построек, обнаруженных на дне современных океанов.

В результате проведённых нами исследований на ряде колчеданно-полиметаллических месторождений Рубцовского и Змеиногорского районов обнаружены фрагменты сульфидных труб, по своему строению и зональности соответствующие современным трубкам «курильщиков» [3].

Подобные трубы образуются в местах выхода горячих гидротермальных растворов на морское дно. На контакте с трубами, а также на прилегающих участках морского дна, характерны развитие специфических пригидротермальных сообществ и увеличение общего количества фауны в целом. Многочисленные организмы селятся на стенках труб и близ них. Наиболее яркими представителями фауны являются трубчатые черви. Большая роль также принадлежит бактериальным сообществам. Диффундирующими из труб растворами данные организмы фоссилизируются, наиболее часто сульфидизируются. Таким образом, можно предполагать наличие фоссилизированной пригидротермальной фауны в участках сульфидных залежей, где были обнаружены фрагменты труб.

Большое количество биоморфных образований хорошей сохранности было обнаружено нами на Западно-Захаровском месторождении Рубцовского района. В кровле одного из рудных тел месторождения наблюдался массивный выступ, в пределах которого сульфидные руды имели ярко выраженные субвертикальные трубчатые и концентрически-зональные текстуры. Ранее на этом же месторождении был обнаружен фрагмент небольшой трубы курильщика [3]. На сканирующем электронном микроскопе были исследованы периферийные части данных образований. Перед наблюдением было проведено травление сульфидов концентрированной азотной кислотой в присутствии CaF_2 колломорфных и тонкоглобулярных разностей пирита, которые характерны для данных периферийных зон. В результате изучения сульфидных агрегатов были обнаружены многочисленные биоморфные структуры сульфидов.

Биоморфные образования, которые можно наблюдать на периферии зонального выступа, представлены чаще всего фоссилизированными сферическими бактериями или колониями бактерий. Размер единичных разностей 1–3 мкм, размер колоний 15–80 мкм, но в большинстве случаев около 20 мкм (рис. 1, а–е). Выделяются колонии изометричной и неправильной форм. В единичном случае была описана нитчатая разность. Также достаточно широко представлены фрамбоиды (см. рис 1, г, е). Для бактериальных сообществ характерно присутствие слизистых оболочек (гликокаликса), которые в нашем случае пиритизированы. В результате на разных спилах мы можем наблюдать эффект как бы вложенных друг в друга слоев. Кроме того, в пределах сообщества наблюдаются участки, в которых присутствуют фоссилизированные оболочки трубчатой фауны (см. рис 1, ж, з). Представители данной фауны имеют достаточно небольшой размер, самые крупные разности достигают лишь 0,3 мм, а самые мелкие образования – 50 мкм. Оболочки трубок зональные, некоторые трубочки заполнены фрамбоидальным пиритом. На горизонтальном срезе трубочки имеют слоистое строение. Мощность сульфидных агрегатов с биоморфными структурами составляет 3–5 см.

Колонии бактерий и организмы обрастают колломорфным пиритом, превращаясь в единый агрегат, эпизодически кроме пирита развиваются сфалерит и халькопирит. Из нерудных минералов присутствует опаловидный кварц. Слабые метаморфические преобразования (возможно, также поздние стадии диагенеза) выражаются в приобретении кристаллографических очертаний колломорфным пиритом и в ряде случаев оболочками бактериальных сообществ,

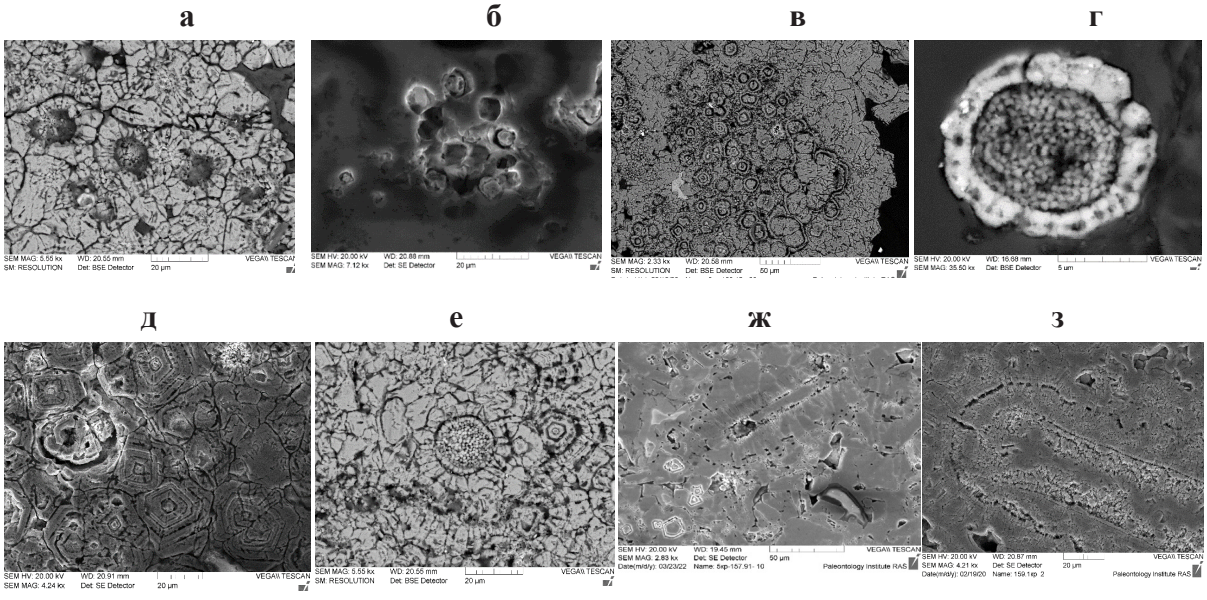


Рис. 1. Биоморфные микротекстуры в рудах Западно-Захаровского месторождения, SEM:
а–в – колонии пиритизированных сферических бактерий; г – фрамбоидальный пирит, который развивался внутри трубчатой фауны неясного систематического положения; д – участок бактериальной колонии, где колломорфный пирит, окружающий колонии бактерий, перекристаллизован; е – фрамбоидальный пирит; ж–з – сульфидизированная фауна трубчатого облика, неясного систематического положения, локализованная среди бактериальных колоний и колломорфного пирита

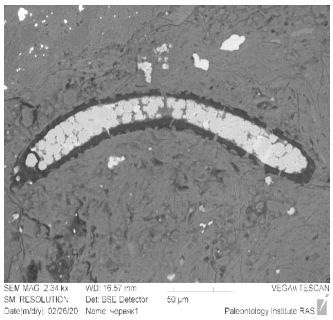


Рис. 2. Остаток фоссилизированной фауны, внутренняя полость которой заполнена фрамбоидальным пиритом, SEM

сложенных пиритизированным гликокаликсом. Стоит отметить, что преобразование наблюдается в пределах единого агрегата с непреобразованными скоплениями, в виде отдельных участков.

На контакте с оболочкой трубки обнаружен фоссилизированный остаток фауны (рис. 2) неясного систематического положения, по своей морфологии подобный полихетам, живущим в высокотемпературных условиях современных «курильщиков», и разностям, которые приводятся для их древних аналогов [4, 6], но более мелкого размера. Данное биоморфное образование имеет хорошую сохранность и замещено кварцем, а его внутренняя полость заполнена фрамбоидальным пиритом. Фрамбоидальный пирит в большинстве случаев считается продуктом жизнедеятельности термофильных бактерий, иногда симбиотических с фауной «курильщиков» [1]. Данные бактерии могли существовать как при жизни организма, так и развиться при его отмирании [5].

В пределах самой оболочки установлены очень тонкоглобулярный пирит, предположительно бактериальной природы, а также колонии фрамбоидального пирита, который обрастает другими сульфидами.

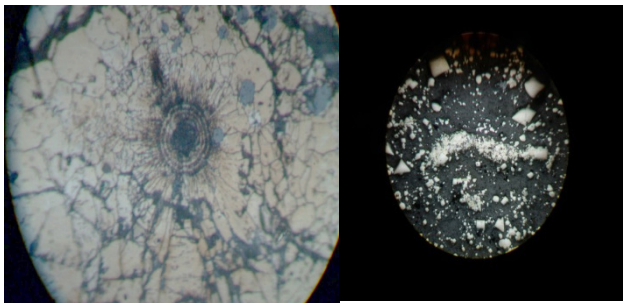


Рисунок 3. Сульфидизированные образования биоморфной природы в рудах колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского района:

а – месторождение Зареченское, протравлено, увеличение 50х; б – месторождение Корбалихинское, увеличение 10х

Руды колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского района в большинстве случаев подверглись действию контактового метаморфизма, и биоморфные образования присутствуют в рудах этих месторождений в виде реликтов. Их первичная природа значительно затушевана. Здесь наиболее представлен фрамбоидальный пирит вследствие своей устойчивости к воздействию метаморфизма. Находки фоссилизированной фауны встречаются эпизодически. Например, на месторождении Зареченское в ядре гигантской пиритовой почки в качестве затравки для ее роста служило биоморфное образование неясного систематического положения (рис. 3, а). По своей морфологии данная фауна сопоставима с горизонтальным срезом через оболочки пригидротермальной палеофауны (полихет), приводимой другими авторами. Также микротекстуры, имеющие, по-видимому, биогенное происхождение, обнаружены на Корбалихинском месторождении на периферической части зонального образования (см. рис. 3, б), отвечающего по своему строению значительно метаморфизованной трубе курильщика.

Таким образом, обнаруженные биоморфные скопления отвечают пригидротермальным сообществам, которые формируются вблизи выхода гидротермальных источников на морское дно. Это еще раз свидетельствует о том, что обстановки рудообразования были близки обстановкам курильщиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Астафьева М. М., Розанов А. Ю., Хувер Р. Фрамбоиды: их структура и происхождение // Палеонтологический журнал. – 2005 – № 5. – С. 1–7.
2. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В., Мурзин О. В., Корчагина Д. А., Кузнецова С. В. Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 205 с.
3. Кузнецова С. В. Минералогическая характеристика находок гидротермальных труб палеозойских «курильщиков» в российской части Рудного Алтая // Руды и металлы. – 2019. – № 1. – С. 45–51.

4. Масленников В. В., Мелекесцева И. Ю., Масленникова С. П., Масленникова А. В. [и др.] Дифференциация токсичных элементов в условиях литогенеза и техногенеза колчеданных месторождений. – Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2016. – 367 с.
5. Скрипченко Н. С. Гидротермально-осадочное рудообразование. – М. : Недра, 1966. – 107 с.
6. Georgieva M. N., Little C., Maslennikov V., Glover A., Ayupova N., Herrington R. The history of life at hydrothermal vents // Geography, Environmental Science, Geology. – 2021. – V. 217. – P. 103602.

Куликов Д. А. (kulikov@tsnigri.ru), Тарасов А. С. (tarasov@tsnigri.ru),
Карпухина М. В. (dar.karpukhina@yandex.ru), Толкушкина Е.А. (tolkushkina@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ УКРУПНЕННОЙ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ (УГЭО) ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ПРОГНОЗНЫМИ РЕСУРСАМИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ БЮДЖЕТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Показана последовательность выполнения укрупненных геолого-экономических расчетов (УГЭО) по определению эффективности освоения прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов, осуществляемая на основе расчетной экономической модели в программе Excel. Приведено количество объектов с прогнозными ресурсами, по которым выполнена УГЭО с использованием указанной модели за последние четыре года, в том числе по распределенному и нераспределенному фонду недр.

Ключевые слова: прогнозные ресурсы, категория P_1 и P_2, благородные и цветные металлы, укрупненная геолого-экономическая оценка, стоимость товарной продукции, инвестиционные вложения, эксплуатационные затраты, результирующие технико-экономические показатели, бюджетная эффективность.

ФГБУ «ЦНИГРИ» выполняет апробацию прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов, составной частью которой является проведение укрупненной геолого-экономической оценки (УГЭО) эффективности их освоения. Апробация выполняется как по объектам, изучаемым на бюджетные ассигнования, так и по объектам, изучаемым недропользователями.

Укрупненная геолого-экономическая оценка (УГЭО) эффективности освоения объектов с прогнозными ресурсами и определения их бюджетной эффективности выполняется в соответствии с расчетной экономической моделью в программе Excel и состоит из ряда таблиц.

1. ***В таблице ТЭП*** отражены основные технико-экономические показатели эффективности освоения прогнозных ресурсов рассматриваемого объекта. Первоначально вносятся прогнозные ресурсы руды, металла и средние содержания полезных компонентов, уточненные рабочей группой ЦНИГРИ. Далее рассчитываются условно промышленные запасы, которые составляют 75 % от прогнозных ресурсов категории P_1 и 50 % – категории P_2. Определяется способ добычи, потери и разубоживания руды. Потери и разубоживание принимаются по объектам-аналогам. Определяется, с привлечением объектов-аналогов, средний эксплуатационный коэффициент вскрыши, который зависит от мощности рудных тел, их падения и глубины залегания. По общепринятым формулам рассчитываются эксплуатационные запасы. Извлечение полезных компонентов принимается либо по результатам технологических исследований руды, либо по объекту-аналогу с корректировкой на среднее содержание полезных компонентов в прогнозных ресурсах. В соответствии с методическими рекомендациями ГКЗ цены на полезные компоненты определяются как средние за последние два года для цветных металлов, исходя из мировых цен и курса рубля по отношению к доллару США, за один год – для благородных металлов, исходя из учетной ставки ЦБ РФ. Остальные показатели рассчитываются в отдельных таблицах экономической модели, а затем отражаются в таблице ТЭП.

2. В таблице стоимость товарной продукции (***таблица «Стоимость ТП»***) составляется график ведения горных работ в соответствии либо с нормами существования проектируемого

предприятия: для небольших запасов – 7–8 лет, средних – 15–17 лет, больших запасов – 20 лет, либо с использованием формулы Тейлора. Проектная производительность начинается со 2-го или 3-го года эксплуатации в зависимости от ее размера и способа отработки, соответственно в 1-й и 2-й годы эксплуатации, а также в последний год она ниже проектной производительности (это периоды развития и затухания добычи). В соответствии с методическими рекомендациями ГКЗ дисконтирование экономических показателей осуществляется не более, чем на 20 лет. Здесь же рассчитывается количество полезных компонентов в товарной руде; с учетом извлечения – количество получаемых продуктов за год и за весь период эксплуатации; с учетом цен на товарные продукты – стоимость товарной продукции за год и период эксплуатации; извлекаемая ценность в расчете на 1 т руды.

3. В ***таблице «Смета затрат»*** в соответствии с календарным планом ведения горных работ и принятым коэффициентом вскрыши определяется годовой объем вскрышных пород. С привлечением объектов-аналогов выбираются себестоимости: добычи 1 т руды (с учетом транспортировки до обогатительной фабрики); выемки 1 м^3 вскрыши (с учетом транспортировки в отвал); обогащения 1 т руды, затраты по вспомогательным и общекомбинатским службам; аффинаж и спецсвязь благородных металлов составляют 0,7 % от их стоимости. Налоги, включаемые в себестоимость продукции, определяются в соответствии с налоговым кодексом РФ. По цветным металлам учитываются затраты на транспортировку и металлургический передел получаемых концентратов в размере 30 % от их стоимости, что является минимальным размером, так как на действующих предприятиях по условиям поставок он зачастую составляет 45–48 %. Амортизационные отчисления рассчитываются в размере 15 % от эксплуатационных затрат на добычу руды, выемку вскрыши, обогащение и вспомогательные службы.

4. В ***таблице «Налоги с финансового результата»*** рассчитывается налог на имущество и налог на прибыль. Налог на имущество составляет 2,2 % от среднегодовой остаточной стоимости имущества за вычетом движимого имущества. Налог на прибыль составляет 20 % от налогооблагаемой базы (балансовая прибыль за вычетом налога на имущество).

5. В ***таблице «Чистая прибыль»*** осуществляется расчет чистой прибыли по стандартной методике.

6. Движение денежных средств (***таблица «ДДС»***) определяется в соответствии с «Методическими рекомендациями по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев)», ГКЗ, 2007 г., приложение 1 [2]. Определяются инвестиционные вложения, предусматривающие первоначальные капитальные затраты, оборотный капитал и затраты на замену выбывающего оборудования. Первоначальные капитальные затраты рассчитываются через удельные капитальные вложения в расчете на 1 т руды, принимаются по объектам-аналогам. Они зависят от освоенностей района, годовой производительности по руде и вскрыше, способа обогащения. Оборотный капитал составляет 17–50 % (в зависимости от географо-экономического положения объекта) от суммы эксплуатационных затрат по переделам работ. Затраты на замену выбывающего оборудования принимаются в размере 20 % от первоначальных капитальных вложений на 7-й и 13-й год эксплуатации. Рассчитываются итоговые технико-экономические показатели эффективности освоения объекта, в том числе дисконтированные.

7. В ***таблице «ИД»*** выполняется расчет индекса доходности простого и дисконтированного по стандартной методике.

8. ***Таблица «Бюджетная эффективность»*** проекта включает следующие позиции:

- страховые взносы;
- налог на доходы физических лиц;
- налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ);
- налог на имущество;
- налог на прибыль;
- прочие налоги, включаемые в себестоимость (транспортный, водный, экологические платежи).

Страховые взносы составляют 30 % от фонда заработной платы промперсонала плюс страхование от несчастных случаев на производстве (от 3,7 до 8,4 % в зависимости от вида полезного

ископаемого). Фонд заработной платы определяется в размере 15 % от эксплуатационных затрат без учета амортизационных отчислений.

Налог на доходы физических лиц составляет 13 % от фонда заработной платы.

Налог на добычу полезных ископаемых, налог на имущество и прибыль, прочие налоги рассчитываются в соответствии с налоговым кодексом РФ.

Здесь же рассчитывается и дисконтированная бюджетная эффективность.

Если по какой-то причине увеличивается налог на добычу полезного ископаемого, то снижается налог на прибыль.

Эффективность освоения какого-либо объекта для недропользователя может быть низкой или отрицательной, однако при этом бюджетная эффективность может быть достаточно высокой, так как недропользователь обязан выполнять платежи в госбюджет по всем вышеперечисленным позициям, кроме налога на прибыль.

По приведенной расчетной экономической модели в период с 2020 г. по 2023 г. была выполнена укрупненная геолого-экономическая оценка эффективности освоения прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов категорий P_1 и P_2 по 71 объекту, в том числе 59 объектам, изучаемым за счет бюджетных ассигнований, и 12 объектам, изучаемым недропользователями. По отдельным объектам при необходимости выполняются несколько вариантов технико-экономических расчетов: рассматриваются различные геологические, горно-технические, технологические и экономические параметры. По указанному выше 71 объекту проведено 119 вариантов оценки, из них по объектам распределенного фонда недр – 103 варианта, по объектам нераспределенного фонда недр – 16.

Данная расчетная экономическая модель позволяет оперативно провести проверку ресурсов объекта на соответствие требованиям промышленности в текущий момент времени, а также определить уровень социального эффекта (бюджетную эффективность).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Утверждены Минэкономики РФ, Минфин РФ, Госстрой РФ 21.06.1999 г. № ВК 477.
2. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р. ФГУ ГКЗ, 2007. – 49 с.
3. Требования к материалам, представляемым в ФГБУ «ЦНИГРИ» для апробации оценок прогнозных ресурсов. – ФГБУ «ЦНИГРИ», 2018 г. – URL: https://www.tsnigri.ru/ntpr/aprobachiya/tr_PR.pdf (дата обращения 15.02.2024).

Куричев В. Г. [1, 2] (Vladislav_Kurichev@vsegei.ru),
Мазуркевич К. Н. [1](Kirill_Mazurkevich@vsegei.ru), Шатова Н. В. [1](narlin.ros@mail.ru),
Павлюк В. М. [1] (vyacheslav_pavlyuk@vsegei.ru), Борисова Е. А. [1] (Ekaterina_Borisova@vsegei.ru),
Игнатова М. В. [1] (Margarita_Ignatova@vsegei.ru), Гинзбург М. А. [1] (maria_ginzburg@vsegei.ru)

[1] Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург,
[2] Горный университет, г. Санкт-Петербург

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ Ag-PbZn ОРУДЕНЕНИЯ АТТЫКВЕЕМСКОГО МАССИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГДП-200 (ЧУКОТКА)

Рассмотрены результаты работ по прогнозной оценке участка Аттыквеем в рамках ГДП-200 по листам R-58-XXVII, XXVIII на основе комплексного подхода к изучению петрографических и геохимических особенностей исходных и гидротермально измененных пород. Установлены металлогеническая формация, особенности рудной минерализации.

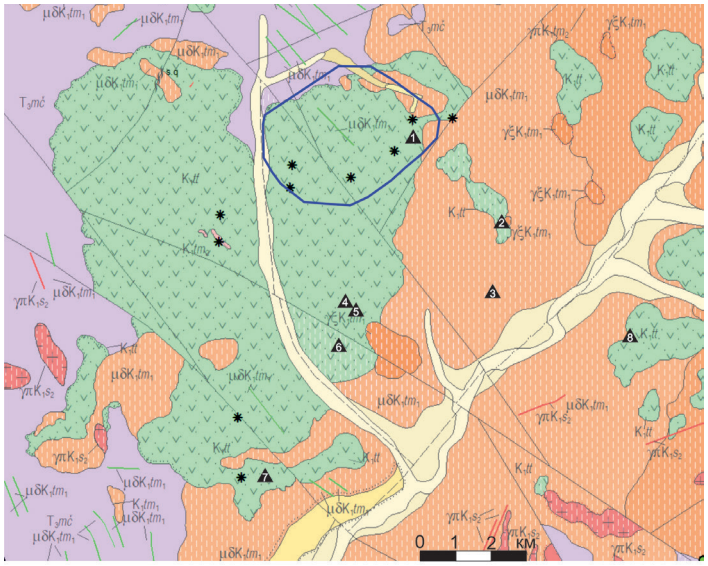
Ключевые слова: оценка, прогноз, серебро-полиметаллическая минерализация, Чукотка, Билибино, вкрапленное оруденение, вулкано-плутонические ассоциации.

Площадь работ находится на территории Билибинского района Чукотского автономного округа. Территория является частью Анюйского нагорья. На данной территории проводились исследования в несколько этапов, самый обширный из которых пришёлся на середину прошлого столетия. Исследования носили преимущественно поисковый характер на золото [1]. Рудоносность была обнаружена локально в зонах Аттыкveемского разлома, в районе руч. Проходной. По результатам предшественников основная минерализация была связана с дайками, расположенными вдоль зон разломов. Содержания золота достигают 13,5 г/т [1, 4].

В рамках работ по оценке изученности и по материалам предшественников [2] в пределах Аттыкveемского прогнозируемого золоторудного узла был выделен перспективный участок Аттыкveем. Площадь участка характеризуется наличием пунктов золото-серебряной и серебро-полиметаллической минерализации, контрастными аномалиями в потоках рассеяния серебра, меди, молибдена, свинца, в меньшей степени – золота. В пределах площади выявлены зоны сульфидизации с прожилково-вкрапленным оруденением с кварцевыми жилами в раннемеловых монцодиоритах тымкивеемского плутонического комплекса – Аттыкveемский массив, прорывающих вулканиты тытыльveемской свиты нижнего мела.

Метасоматиты. Гидротермально измененные породы на участке представлены пропилитами, березитами, скарнами и фельдшпатолитами. Наибольшее распространение получили пропилиты эпидот-цоизитовой фации биотитсодержащие, подчиненное значений имеют пропилиты эпидот-хлоритовой и эпидот-актинолитовой фаций.

От общего числа метасоматитов на площади березиты занимают 15 %, тогда как пропилитами занято 75 %, а фельдшпатолитами – 50 % изучаемой территории. Используемая методика предполагает совмещение в пространстве двух типов метасоматических фаций одновременно. На данном участке происходило наложение пропилитизации на фельдшпатолизацию. Такое



Условные обозначения



Точка	Содержания, г/т
1	Cu 101; Sr 873
2	Cu 808; Zn 138; Pb 9880; Ag 81,4
3	Cu 1100; Pb 1580; Ag 15
4	Cu 655; Pb 35,5
5	Cu 79
6	Sr 896; V 226
7	Cu 87; Zn 87; Pb 12
8	Cu 290; Ag 1,4

Рисунок. Фрагмент геологической карты участка Аттыкveем с точками опробования

соотношение площадей, занятых березитами (15 %) и сопряженными с ними пропилитами (75 %), свидетельствует о слабой степени эродированности вертикальной колонны плутоногенных гидротермально-метасоматических изменений [3].

На рисунке показан фрагмент геологической карты участка Аттыквеем (Аттыквеем-4). На нем представлены результаты опробования, полученные за 2021–2023 гг. Поверх карты вынесены точки с содержаниями штуфного опробования. Отдельно отмечены пробы, отобранные из пропилитизированных туфов среднего и основного составов, которые по полевым наблюдениям 2023 г. фиксируют интенсивную рудную минерализацию.

Наибольшие содержания в точках отвечают зонам наложения пропилитизации на березитизацию. Например, точка с наиболее высоким содержанием серебра 84 г/т соответствует брекчированному монциониту на контакте с вулканитами, превращенным в калишпат-кварц-пиритовый агрегат. Полученные данные позволяют наметить вероятную зональность метасоматических ореолов.

Рудная минерализация. Компетентными породами выступают окварцованные туфы андезитового состава тытыльвеемской свиты раннемелового возраста, развитые в провисах кровли Аттыквеемской интрузии монцодиоритового состава раннемелового возраста.

Первичные рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом со структурами распада сфалерита, сфалеритом со структурами распада халькопирита, арсенопиритом, галенитом. Содержание первичных рудных минералов в штуфных пробах достигает 15–20 %. Они представлены рассеянной мелкой вкрапленностью.

Гипергенная минерализация представлена в основном сульфатами и гидроксидами меди и железа, гематитом, гетитом, гидрогетитом, а также микроскопическими выделениями халькозина, слагающего оторочки вокруг зерен халькопирита.

Повышенные содержания ртути, мышьяка, стронция указывают на верхнерудный уровень среза плутоногенной системы. О верхнерудном уровне среза также свидетельствуют полевые наблюдения. Вероятными экранами выступают пепловые туфы андезитового состава и вулканогенно-осадочные породы озёрно-кратерного генезиса.

По результатам обработки проб, отобранных по вторичным ореолам рассеяния (сеть 500 × 100) в полевой сезон 2022 г., геохимическая ассоциация элементов позволяет предполагать в пределах Аттыквеемской площади три формационных типа оруденения: серебро-полиметаллический, золото-кварцевый (или золото-редкометалльный) и молибден-медно-порфировый, тогда как на данный момент уверенно прогнозировать можно только серебро-полиметаллический тип. Авторские прогнозные ресурсы Аттыквеемского прогнозируемого золото-молибден-медного узла составляют: меди – 1427 тыс. т, молибдена – 40 тыс. т, золота – 78 т, серебра – 1501 т.

На северном фланге площади выявлена комплексная аномалия (5 км^2) с серебро-полиметаллической ассоциацией элементов (Ag + Pb + Cu + Zn) с перспективой на выявление объекта с промышленными серебро-полиметаллическими рудами – участок Аттыквеем-4. Ресурсы меди составляют 448 тыс. т, молибдена – 13 тыс. т, золота – 24 т, серебра – 471 т (по результатам геохимического опробования по сети 500 × 100).

В ходе полевого сезона 2023 г. на участке Аттыквеем-4 проведены отбор проб по вторичным ореолам рассеяния (сеть 250 × 50), поисковые маршруты и специализированные исследования. Результаты этих работ позволят определить и площади развития серебро-полиметаллического оруденения. Для уточнения масштабов и качества оруденения рекомендуется провести доизучение данной территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Легенда Анюйско-Чаунской серии листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1 : 200 000 (второе поколение). Объяснительная записка / Гл. ред. Гельман М. А; сост. Садовский А. И. – М., 1970. – 274 с.
2. Николаев Ю. Н. Отчет о выполнении работ по темам: изучение источников формирования аномальных потоков рассеяния бассейна р. Аттыквеем и исследование количественных взаимосвязей вторичных геохимических ореолов коренного оруденения на примере бассейна руч. Проходной». – М., 2007. – Т. 1. – 123 с.

3. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований. – Санкт-Петербург : ВСЕГЕИ, 2012. – 560 с.
4. Редюк Р. С. Объяснительная записка к карте золотоностности масштаба 1 : 100 000 R-58-89, 90; 91, 92; 101, 102; 103 (к проекту на поиски и разведку россыпных месторождений золота (детальные поиски) в бассейне р. Мачваам на 1980–1984 гг., пос. Билибино. – 1 кн. – 1984. – 113 с.

Лаломов А. В. (lalomov@mail.ru), Волков А. В. (tma2105@mail.ru)
ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва

РОССЫПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК СТРАТЕГИЧЕСКИХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Россыпные месторождения являются экономически эффективным и оперативно осваиваемым видом полезных ископаемых, разработка которых может в значительной мере в короткие сроки и с минимальными затратами решить вопрос с обеспечением России стратегическими видами дефицитного минерального сырья.

Ключевые слова: россыпи, золото, олово, титан, редкие металлы, стратегическое минеральное сырье.

Россыпи обладают рядом преимуществ, которые делают их востребованными горнодобывающей промышленностью: относительно неглубокое (часто доступное для открытой добычи) залегание, дезинтегрированное состояние продуктивных отложений, простота процессов обогащения (преимущественно гравитационная и магнитная сепарация), а также возможность быстрого вовлечения в эксплуатацию, что значительно сокращает сроки окупаемости вложенных средств. Все это еще более актуально для современной России, когда в кратчайшие сроки в условиях дефицита кредитных ресурсов требуется осуществить программу импортозамещения и обеспечения страны дефицитными видами стратегического минерального сырья, такого как золото, олово, редкие металлы, титан.

Золото. На протяжении XX века основная часть золота СССР добывалась из россыпных месторождений, и только в начале нашего века коренные месторождения стали преобладать, преимущественно за счет открытия и освоения новых крупных коренных источников. Россыпная добыча заметно падала с 120 т в 1990 г. до 55 т в 2009 г. (46 % от 1990 г.), но потом стала возрастать и к концу 2021 г. достигла 87,1 т (73 % от 1990 г.), что составляет 19,9 % от общей добычи [2]. Добытое в 2021 г. россыпное золото было на 88,7 % компенсировано результатами в первую очередь разведки, а также переоценки и постановки на учет новых запасов. Таким образом, продолжающаяся эксплуатация россыпных месторождений при минимальном вложении средств может на протяжении длительного времени обеспечивать от 15 до 20 % золотодобычи России.

Олово. К числу перспективных подготавливаемых к эксплуатации объектов по добыче олова относятся группа Пыркакайских штокверков на Чукотке, запасы которых по категориям $A+B+C_1+C_2$ составляют 238,4 тыс. т олова при содержании 0,25 %. Не позднее августа 2031 г. должна начаться эксплуатация [1]. Вложения, необходимые для строительства ГОКа, на сегодняшний день оцениваются в 300 млн US $. Учитывая низкие содержания олова, удаленность и сложные природные условия отработки руд Пыркакайского месторождения, его конкурентоспособность на мировом рынке олова вызы-вает ряд вопросов.

Что касается россыпных месторождений, компания АО «Янолово» летом 2021 г. возобновила разработку Тирехтяхской россыпи, по которой на государственном балансе находится 68,2 тыс. т олова с содержанием 960 г/м^3 [1].

Уже в первый год после возобновления эксплуатации на месторождении было добыто 452 т олова. На возобновление работ было затрачено 658 млн руб. (примерно 6,6 млн US $), что почти в 40 раз меньше ассигнований, необходимых для строительства Пыркакайского ГОКа. К 2025 г. предприятие выйдет на проектную производительность 2,8 тыс. т олова в год, что полностью покроет текущие потребности России. Ожидаемый срок отработки запасов – 2051 г.

К россыпным месторождениям олова, отработка которых может начаться в кратчайшие сроки, относятся прибрежно-морские россыпи Валькумейская на Чукотке (15,7 тыс. т при содержании 1260 г/м^3), Чокурдах в Якутии (18,2 тыс. т при содержании 493 г/м^3) и Одинокая в Якутии (51,9 тыс. т при содержании 829 г/м^3).

Таким образом, в обеспечении страны оловом преимущества россыпей, которые требуют гораздо меньших вложений, а отдачу дают в течение уже первого года эксплуатации, по сравнению с коренными объектами, являются неоспоримыми. Только стоящие на балансе россыпные запасы олова (233,5 тыс. т) могут обеспечить текущие потребности страны приблизительно на 100 лет.

Титан. Россия располагает одной из крупнейших в мире сырьевых баз титана – на ее долю приходится 15 % запасов мира. При этом вклад страны в мировое производство концентратов титана составляет всего 0,03 %. Из-за дефицита сырья завод «Крымский титан» работает только на 25 % от возможного объема переработки 230 тыс. т /год иль-менитового концентрата.

Российская сырьевая база титана на 97 % состоит из месторождений магматоген-ного генезиса в габброидных и щелочных породах и литифицированных погребенных россыпей, относимых по условиям эксплуатации к коренным рудам, которые испытывают большие проблемы с технологией обогащения и переработки руд [1]. Ряд месторождений расположены в удаленных слабо освоенных районах.

Ввод в эксплуатацию в декабре 2021 г. первой очереди АО «Туганский ГОК «Ильменит» на россыпном циркон-рутил-ильменитовом Туганском месторождении в Томской области при выходе на полную мощность в 2029 г. позволит выпускать 136,6 тыс. т /год ильменитового и 9,4 тыс. т рутил-лейкоксенового концентратов. Учитывая видимое потребление концентратов титана в России на 2021 г. 226,8 тыс. т [1], при выходе на полную мощность комбинат сможет покрыть текущие потребности на 64 %. Срок отработки всех запасов месторождения оценивается в 43–45 лет.

Среди месторождений нераспределенного фонда недр наиболее перспективными для освоения являются погребенные прибрежно-морские россыпи Бешпагирского россыпного узла Ставропольского края, разработка которых покроет еще 17 % потребностей России. В целом россыпные месторождения титана, запасы которых оцениваются в 17,8 млн т, могут обеспечить текущие потребности страны на срок до 80 лет.

Перспективным объектом является Пижемское месторождение на Тимане, но его реальное промышленное освоение возможно не ранее 2030–2035 гг.

Редкие металлы (РМ). Цирконий. Россия располагает крупной сырьевой базой циркония, достаточной для обеспечения внутренних потребностей страны: на 01.01.2022 г. на государственном балансе по категориям находились 12,4 млн т ZrO_2.

На долю циркон-рутил-ильменитовых россыпных месторождений, с которыми в мире связано 80 % запасов и 95 % добычи, в России приходится 33 % запасов (3,9 млн т ZrO_2) заключенных в 10 месторождениях, но промышленностью они практически не освоены [1].

Туганское месторождение в Томской области, запасы которого составляют около 1 млн т ZrO_2, освоение которого началось в 2021 г., после вывода ГОКа на полную мощность к 2029 г. сможет ежегодно давать 44,2 тыс. т цирконового концентрата. Учитывая, что видимое потребление цирконового концентрата в России составляет 9,9–11,6 тыс. т/год [1], это позволит полностью обеспечить потребности страны и возможность экспорта как концентратов, так и изделий из циркония на протяжении более чем 20 лет. Дополнительными источниками могут служить Лукояновское россыпное месторождение в Нижегородской области и Бешпагирское в Ставропольском крае.

Ниобий, тантал, редкоземельные металлы. Балансовые запасы редких металлов учтены только в коренных месторождениях. Значительная часть месторождений находится в удаленных труднодоступных районах и требует крупных капиталовложений, что делает маловероятным их освоение и эксплуатацию в ближайшие 10–15 лет, поэтому требуются преференции, предоставляемые государством.

В настоящее время единственным действующим источником РМ в России является Ловозерский горно-обогатительный комбинат, разрабатывающий месторождение лопарита Ловозерского массива – источника ниобия, тантала, редких земель и титана. В настоящее время добыча ведется в сложных горно-геологических условиях при низкой рентабельности существующих разрезов. Горнотехническая авария и закрытие Умбозерского рудника существенно сократили потенциал развития месторождения.

Дополнительным источником редкоземельного сырья комбината могут служить разведанные россыпи лопарита, расположенные на северном обрамлении Ловозерского массива, а также техногенные отвалы – хвосты обогатительной фабрики Карнасурт.

Проведенные минералого-технологические исследования показали, что россыпные руды могут обогащаться по гравитационно-магнитной схеме, что позволит получить промышленный лопаритовый концентрат для редкометалльной промышленности [3] и обеспечить поставки лопаритового концентрата на уровне текущей производитель-ности на протяжении 68 лет. При этом в отличие от строительства нового коренного рудника отработка россыпи не потребует значительных и долговременных финансовых вложений, концентрат может быть получен уже к концу первого года после начала отработки, а технологическая схема не потребует дорогостоящей и энергозатратной опе-рации дробления.

Отработка россыпных месторождения не просто возможна или экономически выгодна, в ряде случаев она позволяет в кратчайшие сроки и с минимальными затратами решить для нашей страны проблему импортозамещения и обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных видов стратегического минерального сырья. Это особенно актуально в наше непростое время, когда России трудно рассчитывать на международное кредитование горнодобывающей промышленности, а поставки сырья по импорту имеют высокие логистические риски.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Государственного задания ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году». – М. : ВИМС – ЦНИГРИ, 2022. – 622 с.
2. Ламомов А. В., Владимирцева О. В., Бочнева А. А. Роль россыпных месторождений в золотодобывающей промышленности России // Золото и технологии. – 2022а. – № 4 (58). – С. 36–44.
3. Левченко Е. Н., Ламомов А. В., Григорьева А. В., Зайцев В. А. Минералого-технологическое исследование Лопаритовых россыпей Ловозерского массива // Обогащение руд. – 2023. – № 1. – С. 29–37. – DOI: 10.17580/or.2023.01.05.

Левочский Б. Б. [1, 2] (LevochskiiBB@polymetal.ru),
Якич Т. Ю. [3] (cherkasovatu@tpu.ru), Кириллов В. Е. [2] (kirillov@itig.as.khb.ru),
Левочская Д. В. (LevochskayaDV@polymetal.ru)
[1] Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», г. Хабаровск,
[2] ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск,
[3] ТПУ, г. Томск

ПРИРОДА РЕДКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ДУНИТАХ БОГБАСИНСКОГО БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Редкая медно-никелевая с платиноидами минерализация установлена в серпентинизированных дунитах Богбасинского массива (Хабаровский край). Из рудных минералов преобладает пентландит, хороманит $(Fe,Ni,Cu)_9S_8$ и саманиит $(Cu_2(Fe,Ni)_7S_8)$. Платиноиды представлены звягинцевитом (Pd_3Pb). В ходе исследований впервые установлена редкая медно-никелевая с платиноидами минерализация Богбасинского массива, повышающая перспективы его потенциальной рудоносности на выявление ЭПГ оруденения и возможного обнаружения месторождений порфирового типа, обогащенных (Cu, Au), зачастую являющихся продолжением единых рудно-магмато-гидротермальных рудообразующих систем.

Ключевые слова: Богбасинский массив, Хабаровский край, серпентинизированные дуниты, хороманит $(Fe,Ni,Cu)_9S_8$, саманиит $(Cu_2(Fe,Ni)_7S_8)$, звягинцевит (Pd_3Pb).

Хромитовые или сульфидные месторождения Ni, Co, Cu, локализованные в расслоенных массивах основного-ультраосновного состава, являются основным источником добываемых элементов платиновой группы (ЭПГ) [17, 18]. Сплавы и металлы (ЭПГ), согласно традиционными представлениям, имеют первично магматическую природу и устойчивы к постмагматическим гидротермальным процессам, однако эффекты, связанные с наложенной постмагматической серпентинизацией, преобразующей ультраосновные породы, могут оказывать значительное влияние на накопление и перераспределение ЭПГ [4–6, 14, 19].

Породы Богбасинского базит-ультрабазитового массива, расположенного в Нанайском районе Хабаровского края, изучены на предмет потенциальной рудоносности массива в отношении медно-никелевой и ЭПГ минерализации, а также установления природы этой минерализации и характера ее формирования. Богбасинский базит-ультрабазитовый массив (площадью около 20 км^2) имеет раннемеловой возраст. Он сложен пироксен-амфиболовыми габбро, клинопироксенитами, дунитами. Вмещающие породы – сложнодислоцированные триас-юрские песчаники, алевролиты, кремнисто-глинистые, глинистые породы. Двуслюдяные и биотитовые раннемеловые граниты Чалингинского массива и палеоценовые лейкограниты прорывают породы массива (рис. 1). Богбасинский массив связан с оперяющими северо-восточными разломами Центрального Сихотэ-Алинского шва, что определяет его линзовидное строение. Предшествующими работами (Росгеолфонд. Геологический отчет № 222833, 1960, Хабаровск) в пределах

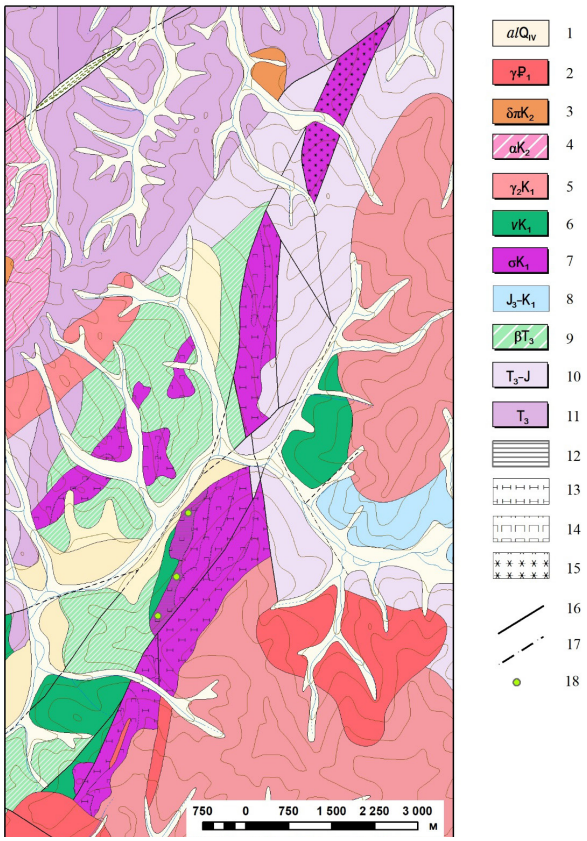


Рис. 1. Схематическая геологическая карта окрестностей Богбасинского массива:
1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – палеогеновая система (лейкократовые граниты); меловая система: 3 – диоритовые порфириты, 4 – субвулканические андезиты и их туфы, 5 – граниты биотитовые и двуслюдяные, 6 – габбро, 7 – ультрабазиты; юрская система, верхний отдел – меловая система, нижний отдел: алевролиты, кремнисто-глинистые, кремнистые породы; триасовая система: 9 – субвулканические долериты, долеритовые порфириты, габбродолериты; 10 – кремнистые, кремнисто-глинистые породы, песчаники, алевролиты; 11 – алевролиты, песчаники; ультрабазиты 12 – дуниты; 13 – перидотиты; 14 – пироксениты; 15 – серпентиниты; дизъюнктивные нарушения: 16 – достоверные, 17 – перекрытые четвертичными отложениями; 18 – точки отбора образцов для минералого-петрографических исследований (Росгеолфонд, Геологический отчет № 487722, 2006, Хабаровск, Граф. прил. 20 (с дополнениями авторов))

массива установлены вторичные ореолы рассеяниями никеля (0,2–1 %) и кобальта (0,02–0,2 %) площадью до 2 км^2, однако минералогическим анализом никель- и кобальтсодержащие минералы установлены не были; сделано предположение о том, что эти элементы находятся в виде изоморфной примеси в породообразующих минералах. В 1996 г. в шлиховых пробах ручьев, дренирующих площадь Богбасинского массива, установлены знаки платины (единичные знаки в трех пробах) и золото (1–3 зерна в 15 пробах), в двух шлихохимических пробах, отобранных из косовых отложений, установлены платина 0,01 г/т и палладий 0,03 г/т (Росгеолфонд. Геологический отчет №487772, 2006, Хабаровск, Граф. прил. 20).

В рамках проведения площадных поисковых работ на медь, никель, кобальт и попутные компоненты, выполняемых Хабаровским филиалом АО «Полиметалл УК», были отобраны об-

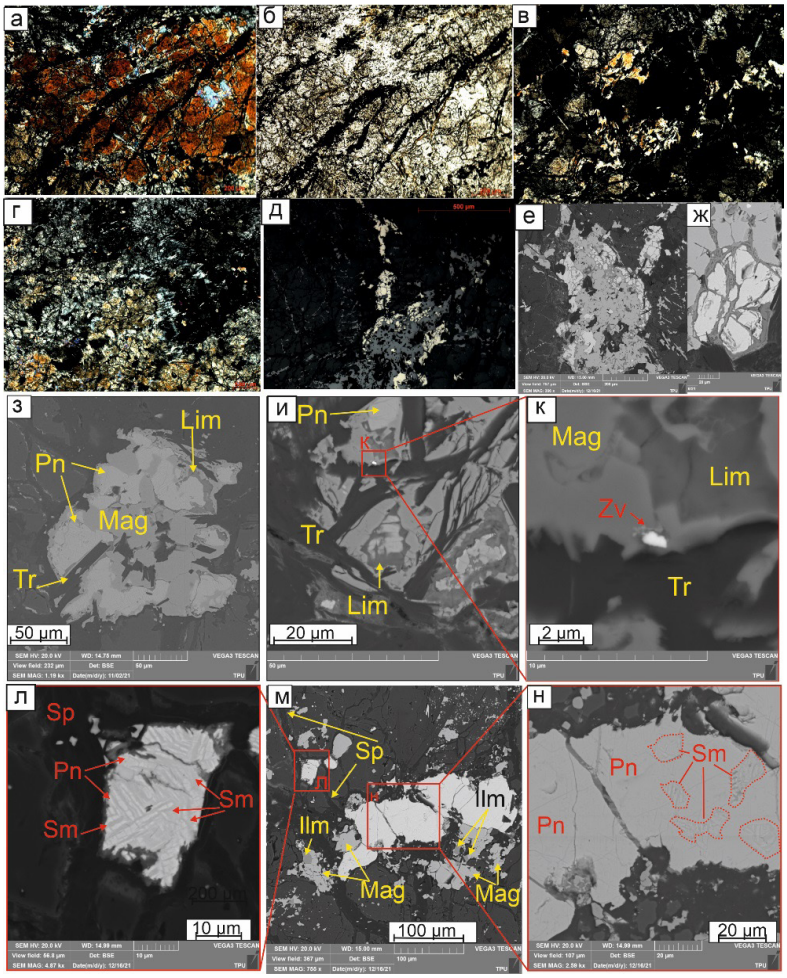


Рис. 2. Микрофотографии прозрачных шлифов (а–г) и полированных аншлифов (г–н) в оптическом микроскопе (а–д) и в обратно-отраженных электронах сканирующего электронного микроскопа (е–н):
линейное распределение пылеватовго магнетита (Mag) поздней генерации, разбивающего зерна оливина (Ol) в ассоциации с тремолит (Tr)-кальцитовыми изменениями, и угловатые зерна хромита (Chr) неправильной формы (а–б); скопления тремолита (Tr) (в) и серпентина (Srp) (г), развивающиеся по раннему оливину (Ol); срастания саманиита (Sm) с поздним магнетитом (Mag) (д–ж) и тремолитом (Tr), замещенные лимонитом (Lim) (ж); увеличенный фрагмент характера срастаний пентландита (Pn) и саманиита (Sm) по направлениям спайности пентландита (Pn) в виде структур распада твердого раствора (з); (и) зерна магнетита (Mag), находящиеся в ассоциации с ильменитом (Ilm), оконтуривают кристаллы пентландита (Pn), содержащие включения саманиита в виде структур распада твердого раствора (к); пентландит (Pn) в ассоциации с магнетитом (Mag) и тремолитом (Tr), замещенные частично лимонитом (Lim) (л); увеличенный фрагмент магнетит (Mag)-тремолитовой (Tr) ассоциации с самостоятельной минеральной формой палладиевого сплава – звягинцевитом (Zv) Pd_3Pb (м–н)

разцы для минералого-петрографических исследований. Изготовлены 109 прозрачных полированных шлифов и 65 аншлифов, выполнено их описание с помощью поляризационного микроскопа ZEISS Axio Imager.A2m. В Томском Национальном исследовательском Политехническом университете проведен анализ на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 SBU с энергодисперсионным анализатором (ЭДС) OXFORD X-Max 50 с Si/Li кристаллическим детектором при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе зонда 4–11,5 нА с предварительной калибровкой интенсивности зонда по кобальтовому стандарту, фокусное расстояние 15 мм.

В результате полевых наблюдений и минералого-петрографических исследований установлено, что медно-никелевая минерализация с платиноидами приурочена к серпентинизированным дунитам, развитым в юго-западной краевой зоне Богбасинского массива. Примерное количественное соотношение минеральных фаз в дунитах: оливин 75–90 %, серпентинит (хризотил, антигорит-хризотил) 5–25 %, рудные минералы 1–6 % ± клинопироксен 5–10 %, ± ортопироксен 5–10 %. Текстура пород массивная, структура – средне-мелкокристаллическая, микростуктура – панидиоморфнозернистая, петельчатая (рис. 2, а–б). Оливин и пироксены образуют идиоморфные зерна, серпентин развит в виде листоватых, волокнистых агрегатов, просечек мощностью до 0,5–0,8 мм. Породы участками подвержены карбонатизации и тремолит-актинолитовым изменениям (рис. 2, в–г).

Примечательно, что хороманит, саманиит и пентландит приурочены к серпентинизированным и тремолитовым участкам с магнетитом, с этими же зонами связана ЭПГ минерализация.

Магнетит образует две генерации: раннюю, представленную резорбированными по краям зернами 0,5–2 мм, и позднюю, связанную с процессами серпентинизации, представленную в виде пылеватых частиц 1–10 мкм (рис. 2). Поздний магнетит формирует скопления и прожилки мощностью 0,05–0,15 мм (рис. 2, а–б). *Хромит* имеет зональное строение: краевые части обогащены примесями Mn, Zn, Ti, что указывает на процессы вторичного преобразования массива. Помимо магнетита спорадически отмечается ильменит.

Хороманит $(Fe,Ni,Cu)_9S_8$ и *саманиит* $Cu_2Fe_5Ni_2S_8$ встречаются в виде агрегатов, ассоциирующих с *пентландитом* и поздним пылеватым магнетитом. *Саманиит* $Cu_2Fe_5Ni_2S_8$ обнаруживается в виде зерен, разбитых лимонитом в ассоциации с вторичным магнетитом (рис. 2, д–е), и в виде пламеневидных включений (структура распада твердого раствора) в пентландите (рис. 2, з–к). *Саманиит* и *хороманит* представляют собой редкие тетрагональные сульфидные фазы, описанные в лерцолитах перидотитового массива Гороман на о. Хоккайдо и гипербазитовом массиве г. Солдатской (Камчатка) [1, 9, 10]. Помимо этих минералов в перидотитах массива Гороман на о. Хоккайдо обнаружены неизвестные минералы переменного состава Cu-Ni-Fe-Co-S системы, аналогично нестихиометричным фазам этой системы авторами установлены подобные минералы в массиве Богбасу, а также в ультрабазитах массива Дюкали [1, 2].

Платиноиды обнаружены в виде включений микронного размера в периферийной зоне преобразованного хроммагнетита вплоть до магнетита, по составу наиболее всего отвечающие звягинцевиту (Pd_3Pb с примесью меди 0,71 %).

Стабилизация самородных фаз и сплавов за счет исходных силикатов, преимущественно оливина, описана в [9, 13]. Учитывая сидерофильную природу ЭПГ, нахождение платиновых фаз в краевых частях поздней генерации магнетита, можно рассматривать данную редкую минерализацию и природу отмеченных ЭПГ как флюидно-метасоматическую, так как исходные магматические сульфиды прежде всего представлены сульфидами железа – преимущественно пирротином [16].

В ходе исследований впервые установлена редкая медно-никелевая с платиноидами минерализация Богбасинского массива, повышающая перспективы его потенциальной рудоносности на выявление ЭПГ оруденения и возможного обнаружения иных месторождений порфирового типа, обогащенных Cu, Au, зачастую являющихся продолжением единых рудно-магматогидротермальных рудообразующих систем [16].

Исследования частично выполнены в рамках Государственного задания Наука № FSSWW-2023-0010, тема «Комплексные исследования на базе природных геологических лабораторий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Левочский Б. Б., Якич Т. Ю., Левочская Д. В. Роль флюида в перераспределении и накоп-лении метаталлов платиновой группы и их сплавов на примере Дюкалинскского мафит-ультрамафитового массива (Хабаровский край) // Металлогения древних и современных океанов : Труды XX юбилейной молодежной научной школы, г. Миасс. – 2024. – (В печати).
2. Минаков М. С., Левочский Б. Б., Левочская Д. В., Якич Т. Ю. Состав и природа рудной минерализации плагиоклазовых верлитов базит-ультрабазитового массива Дюкали (Хабаровский край) // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XXVIII Международного симпозиума им. М. А. Усова, Томск. – (В печати).
3. Новаков Р. М., Иванов В. В., Трухин Ю. П., Панова Е. Г. Медно-никелевая и благороднометалльная минерализация в оливиновых вебстеритах п-ва Камчатский мыс (Камчатка) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. – 2015. – Вып. 4. – С. 83–97.
4. Пушкарев Е. В., Телегин Ю. М., Телегина Т. В. Состав включений в платиноидах как индикатор низкотемпературного, постмагматического генезиса МПГ в дунитах Светлого Бора, Платиноносный пояс Урала // Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы: Всероссийская конференция с международным участием : сборник докладов. – Екатеринбург : РАН, УрО, Ин-т геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого. – 2012. – С. 218–220.
5. Степанов С. Ю., Паламарчук Р. С., Антонов А. В., Козлов А. В., Варламов Д. А., Ханин Д. А., Золотарев А. А. Морфология, состав и онтогения минералов платиновых металлов в хромитах зональных клинопироксен-дунитовых массивов Среднего Урала // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61, № 1. – С. 60–83.
6. Толстых Н. Д. Платиновая минерализация массивов Кондер и Ингали // Геосферные исследования. – 2018. – № 1. – С. 17–32.
7. Evans K.A. [et al.] Effects of Geodynamic setting on the redox state of fluids released by Subducted Mantle Lithosphere // Lithos. – 2017. – V. 278–281. – P. 26–42.
8. Evans B. W., Hattori K., Baronnet A. Serpentinite: What, why, where // Elements. – 2013. – V. 9, № 2. – P. 99–106.
9. Foustoukos D. I. [et al.] Redox controls on Ni-Fe-PGE mineralization and Re/Os fractionation during Serpentinization of Abyssal Peridotite // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2015. – V. 150. – P. 11–25.
10. Gretchen L. Früh-Green, James A. D. Connolly, Alessio Plas, Deborah S. Kelley B. G. Serpentinization of Oceanic Peridotites: Implications for Geochemical Cycles and Biological Activity // Geophysica. Geophysical Monograph Series. – 2004.
11. Kitakaze A., Itoh H., Komatsu R. Horomanite, (Fe, Ni, Co, Cu)$_9$S$_8$, and samaniite Cu$_2$(Fe,Ni)$_7$S$_8$ new mineral species from the Horoman peridotite massif, Hokkaido, Japan // Journal of Mineralogical and Petrogical Sciens. – 2011. – V. 106. – P. 204–210
12. Kitakaze A. Sugakiite Cu(Fe, Ni)$_8$S$_8$, a new mineral // IMA General Meeting. Kobe, July 2006. – Poster № 31-3, abstract № 90551.
13. Klein F., Bach W. Fe-Ni-Co-O-S phase relations in peridotite-seawater interactions // Journal of Petrology. – 2009. – V. 50, № 1. – P. 37–59.
14. Kutyrev A., Kamenetsky V. S., Alkiviadis Kontonikas-Charos, Savelyev D. P., Yakich T. Yu., Belousov I. A., Sandimirova E. I., Moskaleva S. V. Behavior of Platinum-Group Elements during Hydrous Metamorphism : Constraints from Awaruite (Ni$_3$Fe) Mineralization // GeoScienceWorld. – 2023. – V. 126.
15. Kutyrev A. V. [et al.] Platinum mineralization and geochemistry of the Matysken zoned Ural-Alaskan type complex and related placer (Far East Russia) // Ore Geology Reviews. – 2021. – V. 130, № 130 (334). – P. 103947.
16. Larocque A. C. L. [et al.] Evidence for open-system behavior in immiscible Fe-S-O liquids in silicate magmas: Implications for contributions of metals and sulfur to ore-forming fluids // Can. Mineral. – 2000. – V. 38, № 5. – P. 1233–1249.
17. Mungall J. E., Naldrett A. J. Ore Deposits of the Platinum-Group Elements // Elements. – 2008. – V. 4. – P. 253–258

18. Naldrett A. J. Fundamentals of magmatic sulfide deposits // Magmatic Ni-Cu and PGE Deposits: Geology, Geochemistry and Genesis / eds. Li C., Ripley E. – Denver, Colorado: Society of Economic Geologists, 2011. – P. 1–50.
19. Pushkarev E. V., Anikina E.V., Kamenetsky V. Non-magmatic origin of PGM-rich chromitites in the Ural-Alaskan-type intrusions: mineralogical and structural // 12th International Platinum Symposium : 11–14 August 2014, Yekaterinburg: abstracts. – Yekaterinburg, 2014. – P. 275–276.

Леденгский Р. А. (ledengskiyra@yandex.ru)
Норильский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Норильск

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ «ТИПА НЕСОГЛАСИЯ» НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ АНАБАРСКОГО ЩИТА ПО МАТЕРИАЛАМ КОМПЛЕКСНОЙ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Норильским филиалом Института им. А. П. Карпинского выполнена комплексная аэрогеофизическая съемка масштаба 1 : 50 000 и проведена геологическая интерпретация геофизических данных. На перспективном участке выполнена наземная геофизическая съемка масштаба 1 : 25 000 по заверке аэрогеофизических аномалий. В результате локализован прогнозный участок на обнаружение уранового оруденения «типа несогласия», который рекомендуется к дальнейшему изучению поисковыми работами.

Ключевые слова: Анабарский щит, уран «типа несогласия», магнитное поле, гамма-спектрометрические поля, электропроводность, аномалия, прогнозный участок.

Россия в силу ряда обстоятельств имеет острую проблему дефицита урана, одной из причин которого является отсутствие необходимого количества подготовленных запасов. Стратегической задачей геологической отрасли является восполнение минерально-сырьевой базы урана путем прогнозирования и поисков крупномасштабных урановых и комплексных (U, Au, Ni, Co) месторождений с уникально богатыми высокорентабельными рудами, по запасам и качеству сопоставимых с месторождениями «типа несогласия» урановорудной провинции Атабаска Канадского щита, среди которых отмечается тяготение к основанию депрессионных структур и систем протяженных долгоживущих разломов глубокого заложения, узлам их пересечения, претерпевших масштабное воздействие разновозрастных ультраметаморфогенно-магматогенных и гидротермально метасоматических процессов [3].

При выборе районов для поисков уранового оруденения «типа несогласия» на террито-рии России, в частности в Восточной Сибири, заслуживают внимания и тщательного изучения краевые части Анабарского щита [1]. Анабарский щит в металлогеническом отношении входит в состав Анабаро-Оленекской комплексной потенциально урановорудной провинции. Проведенные за последнее время геолого-геофизические исследования позволяют надеяться на выявление в этой древнейшей структуре земной коры урановых и комплексных рудопроявлений вблизи зон региональных структурно-стратиграфических несогласий [2].

Так, в 2022 г. Норильский филиал Института имени А. П. Карпинского, выполнив комплексную аэрогеофизическую (аэромагнитную, аэроэлектроразведочную и аэрогаммаспектрометрическую) съемку масштаба 1 : 50 000 на Попигайской площади, получил современную геофизическую основу северо-восточной части Анабарского щита (рис. 1).

С привлечением материалов предшествующих геолого-геофизических и геохимических работ проведена геологическая интерпретация аэрогеофизических данных. В результате были закартированы толщи Попигайского коптогенного комплекса, структуры астроблемы, а также рифей-палеозойские толщи платформенного чехла. В пределах Анабарского щита уточнены строение метаморфического комплекса фундамента и границы серий. Выделены интрузивные, вулканические и субвулканические образования различного состава, проводящие графитизированные горизонты (в том числе с магнетитом), зоны интенсивных метасоматических из-

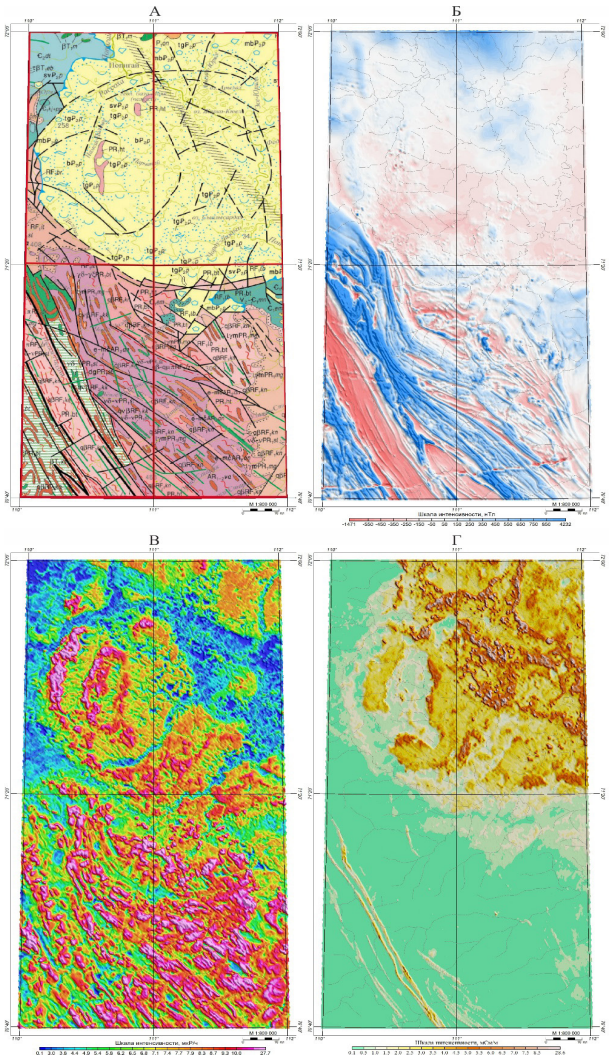


Рис. 1. Отражение Попигайской площади в аэрогеофизических полях А – ГГК-1000/3, Б – аномальное магнитное поле, В – мощность дозы суммарного гамма-излучения, Г – эффективная удельная электропроводность (частота 520 Гц)

менений. По геофизическим данным выделены и ранжированы по их значимости тектонические нарушения.

В процессе интерпретации материалов аэрогеофизической съемки в юго-восточной части Попигайской площади в пределах предполагаемой зоны структурно-стратиграфического несогласия (ССН), отделяющей глубокометаморфизованные, в том числе графитсодержащие, породы архей-раннепротерозойского возраста, слагающие блок Анабарского щита, от неметаморфизованных красноцветных терригенных отложений рифейского плитного комплекса Сибирской платформы, установлено несколько перспективных областей, отвечающих геологическим и геофизическим поисковым критериям локализации рудных объектов «типа несогласия». Ведущее поисковое значение из результатов аэроэлектроразведочных работ играют линейные зоны повышенной электропроводности, отражающие положение углеродистых слоев в фундаменте. Благодаря аэромагнитной съемке по линейным магнитным аномалиям прямого и обратного намагничения выделены рудоконтролирующие зоны, включающие разрывные нарушения и дайки основного состава. Материалы аэрогаммаспектрометрии позволили установить зоны обширных гидротермально-метасоматических изменений в породах чехла, имеющие K и U-K радиогеохимическую специализацию (рис. 2).

На перспективном участке выполнен комплекс наземных геофизических методов (магниторазведка, гамма-спектрометрия, электротомография) масштаба 1 : 25 000 с целью поисков уранового оруденения «типа несогласия». Получен комплект карт геофизических полей,

Таблица. Уточненные геолого-геофизические поисковые критерии предполагаемого уранового оруденения

Поисковые критерии	Геологическая характеристика	Геофизическая характеристика
Тектонические	Зона глубинного рудоконтролирующего нарушения	Узкая протяженная локальная отрицательная интенсивная магнитная аномалия
Структурные	Зона ССН	Граница зон с повышенным и пониженным сопротивлением
Метаморфические	Зоны графитизации	Высокопроводящие зоны с повышенной поляризуемостью
Магматические	Магматизм основного состава	Локальные интенсивные магнитные аномалии прямого и обратного намагничения
Стратиграфические	Толща грубозернистых терригенных пород	–
Метасоматические	Специализированные на уран породы фундамента	Уран-ториевая радиогеохимическая специализация
	Калишпатизация, глауконизация, окварцевание, гематитизация	Калиевая радиогеохимическая специализация

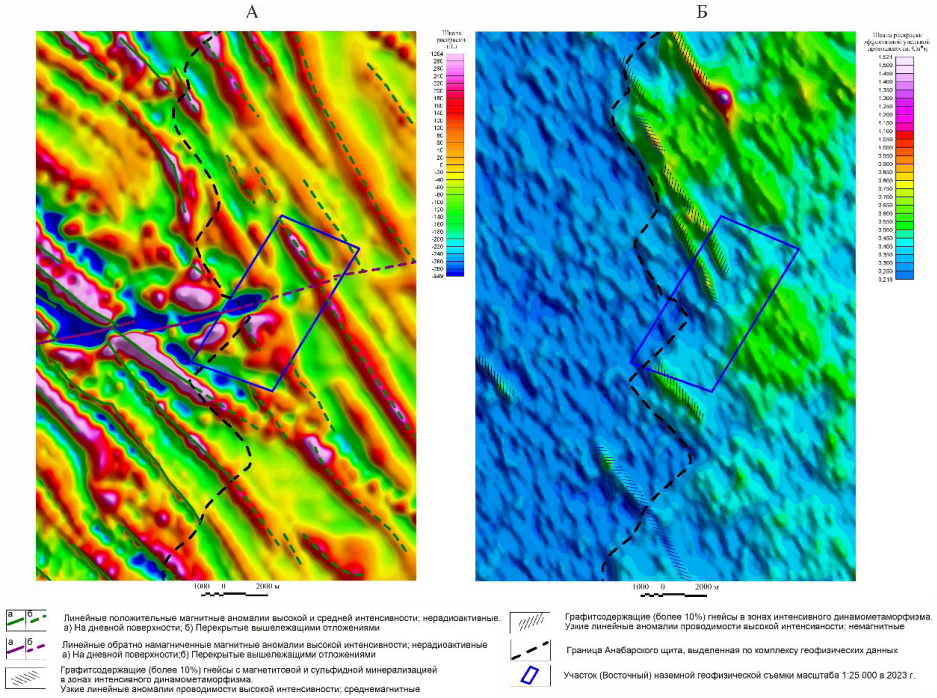


Рис. 2. Геофизические предпосылки выделения перспективного участка
А – локальная составляющая магнитного поля, Б – эффективная удельная электропроводность (частота 520 Гц)

отобраны пробы и сколки на шлифы, выделены интрузивные породы основного состава, участки повышенной проводимости и зона интенсивных метасоматических изменений в рифейских толщах в областях калиевой специализации. Электротомографические работы позволили подтвердить две зоны проводимости, выделенные по аэрогеофизическим данным, и локализовать две новые проводящие зоны, ассоциирующиеся с графитоносными слоями, благоприятными для локализации урановорудной минерализации. Области интенсивных метасоматических изменений помимо калишпатизации представлены зонами полного осветления с прожилками гидрослюдисто-серицитового состава, а также зонами глауконита и гематитизации.

По совокупности геолого-геофизических критериев предполагаемого уранового оруденения «типа несогласия», выделенных при геологических наблюдениях и интерпретации геофизических данных, уточнен прогнозный участок для продолжения работ, который рекомендуется к дальнейшему изучению путем поискового бурения (таблица).

Таким образом, комплексная интерпретация материалов аэрогеофизической съемки позволила более глубоко и качественно изучить геологическое строение территории и объективно прогнозировать урановое оруденение «типа несогласия» с выделением перспективного участка. В результате наземных геолого-геофизических работ на выделенном участке сделано заключение об обоснованности прогнозных построений по материалам аэрогеофизической съемки и локализован прогнозный участок на обнаружение уранового оруденения «типа несогласия», рекомендуемый к дальнейшему изучению поисковыми работами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Молчанов А. В. Перспективы выявления на Анабарском щите уранового оруденения вблизи зоны структурно-стратиграфического несогласия предрифейского возраста // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Якутск, 2015. – С. 290–292.
2. Онищенко А. Н., Молчанов А. В. Отчет по геологическому заданию «Оценка перспектив выявления промышленных урановых месторождений с богатыми комплексными рудами в западной части Анабарского щита на основе прогнозно-поисковых работ масштаба 1 : 200 000–1 : 25 000» . – СПб. : ВСЕГЕИ, 2007. – 157 с.
3. Пакульнис Г. В. Шумилин М. В. Месторождения урана «типа несогласия» района Атабаска (Канада) : аналитический обзор зарубежных публикаций // Минеральное сырье. – 2005. – № 17. – 102 с.

Лихоман О. А. (lihomanO@yandex.ru)
ФГБОУ ВО «СГУ», г. Саратов

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА В МЕЗОЗОЙСКИХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

Россыпным месторождениям в добыче минерального сырья по отдельным полезным ископаемым принадлежит господствующее положение. Велико значение россыпных месторождений как источника добычи золота.

Ключевые слова: золото, россыпи, коренные источники, продуктивные горизонты.

Южный Урал является с дореволюционных времен районом добычи россыпного и коренного золота. В связи с этим необходимо развитие поисковых работ на россыпное золото на новых перспективных площадях и проведение работ в известных, но незаслуженно забытых районах россыпной золотоносности. Многолетние поисковые работы на Южном Урале [1–4] позволили выявить особенности распределения россыпного золота горизонтов в разрезе рыхлых мезозойских и кайнозойских отложений, установить закономерности в распределении и локализации продуктивных горизонтов.

В раннетриасовых конгломератах, ранне- и среднетриасовых песчаниках и конгломератах золото обнаружено в отдельных пробах в единичных знаках Восточного магнитогорского прогиба. В позднетриасовых гравелитах и грубозернистых песчаниках его встречаемость увеличивается до 10 %, и пробы приурочены к сероцветным разностям в пределах дизъюнктивных мульд. Присутствует золото в пробах совместно с пиритом, баритом, марказитом, халькопиритом, борнитом, галенитом, сфалеритом, малахитом, что свидетельствует о нетерригенном его генезисе. Широкое распространение золота в позднетриасовых ожелезненных гравелитах и конгломератах Таналык-Баймакского грабена в пробах с повышенным содержанием хромита и магнетита указывает на то, что первоисточником являются местные серпентиниты и габброиды. Более широкое распространение золота в юрских отложениях связано с более благоприятными условиями его высвобождения из коренных источников.

В Приуралье на юго-востоке прогиба в раннеюрских образованиях встречаемость золота на отдельных участках повышается до 60 %, в среднеюрских осадках уменьшается до 15,2 %, что указывает на его локализацию при транспортировке. Терригенная ассоциация минералов характерна для Восточно-Уральского поднятия и Северных Мугоджар. В раннемеловых грубообломочных отложениях в Таналык-Баймакском грабене и на Саринском плато встречаемость золота от 35 до 90 %, в галечниках и песчано-гравийниках альбского возраста – 75–90 %. Неравномерность распределения и резкие колебания в содержании золота совпадают с вариациями изменений минералогического состава отложений, формировавшихся за счет разных источников сноса. В шлихах с наибольшей концентрацией золота резко повышается выход ильменита, циркона, монацита, появляются в знаках и первых процентах силлиманит и андалузит. Ассоциацию минералов золото – ильменит – циркон – монацит – силлиманит – андалузит следует считать поисковой для альбских россыпей золота и, возможно, для более молодых отложений.

В Предуралье золото размером 0,05–0,2 мм, чаще пластинчатое, в знаковом количестве присутствует в 17 % проб из раннемеловых и в 16 % – из позднемеловых отложений и наблюдается на фоне минералов Северо-Мугоджарского комплекса.

В отложениях мелового возраста для площади Орского Зауралья объем металла, необходимый для формирования россыпей, был обеспечен благоприятными геоморфологическими факторами и источниками сноса. В Предуралье выявленная минерализация золота в ранне- и позднемеловых осадках связана с перемывом юрских отложений, привнос материала имел подчиненное значение.

С континентальными эоцен-олигоценовыми образованиями в Колчинско-Кваркенской депрессии связаны россыпи золота «косых пластов». На площади Михайловской россыпи встречаемость золота по разрезам россыпи 80–90 % с содержанием его в пробах до 2,2 г/м^3. Повсеместно прослеживается увеличение концентрации золота в приплотиковой части. Зерна удлиненной, овальной, лепешкообразной формы со слабой окатанностью и шершавой, ноздреватой

поверхностью. Наблюдается оно совместно с касситеритом и топазом на фоне хорошо окатанных мелких зерен магнетита, ильменита, циркона, рутила, лейкоксена, монацита, анатаза, что позволило выделить терригенную золото-касситерит-топазовую поисковую ассоциацию для отложений типа «косых пластов». Золото совместно с касситеритом и топазом обнаружено в аналогичных отложениях в Крыклинском и Джаман-Акжарских карстах

В аллювиальных миоценовых отложениях на юго-востоке прогиба встречаемость золота составляет 44 %. Представлено оно лепешкообразными и чечевицеобразными окатанными зернами размером 0,1–0,6 мм с гладкой и блестящей поверхностью. Подобная форма золотин характерна для древнего аллювия, вмещающего промышленные россыпи. Распределены они равномерно по толще грубообломочного аллювия и встречаются совместно с минералами местных источников, расположенных в Мугоджарах, которые, вероятно, были поставщиком металла для миоценового аллювия Предуральского прогиба. На юго-восточном склоне Ирендыкского холмогорья выявлено тонкодисперсное золото с кондиционным содержанием в миоценовых озерно-аллювиальных песчанистых глинах в верховье р. Шарипки. Источником сноса служили породы Гайского медноколчеданного месторождения.

Повышенные концентрации золота установлены в апшерон-раннечетвертичных отложениях озерно-аллювиальных ванн. В глинисто-песчано-галечной смеси у пос. Орловского золото с содержанием 30–120 знаков (в кубовой пробе 1778 знака или 10 мг) встречено в 90 % проб из линз галечников, плотно сцементированных песчано-глинистым цементом. Наблюдается золото совместно с ильменитом, монацитом, цирконом, анатазом, силлиманитом. Данная ассоциация минералов свидетельствует о том, что обогащение плиоценовых отложений золотом шло за счет перемыва юрских и миоценовых осадков. В горной части территории золото размером 0,1; 0,5; 0,9 мм постоянно присутствует в акчагыльских и апшеронских отложениях на юге Саринского плато. Источником золота для отложений горной части территории были местные кристаллические породы фундамента и альбский аллювий.

В позднехвалынских делювиальных отложениях из суглинков с прослоями щебня на юго-восточной окраине Ново-Киевского железорудного месторождения золото обнаружено в 75 % процентах проб. Наблюдается золото на фоне минералов, характерных для основных и ультраосновных пород этого района. Доля перемытого материала юрских отложений незначительна.

В современных отложениях золото обнаружено по всей исследованной площади во всех геоморфологических зонах и наблюдается как в виде тонкорассеянного компонента генетически разнообразных осадков, так и в виде образующего россыпные месторождения. Ореолы золота протяженной полосы меридионального направления шириной 10–20 км парагенетической колчеданной ассоциации территориально тяготеют к Ащебутакской, Джусинской антиклиналям и Джусинско-Акжарской синклинальной структурно-формационным зонам, сложенным вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями нижнего и среднего девона, позднедевонскими и раннекаменноугольными терригенными и терригенно-карбонатными отложениями. Золото чаще всего оседает в непосредственной близости или на некотором удалении от коренных источников, над которыми или вокруг которых формируются элювиальные или делювиальные россыпи золота. Практическое значение эти россыпи имеют на участках проявления железных шляп и закрытого рудного карста.

Вторая, более широкая полоса ореолов рассеяния золота захватывает бассейн верхнего и среднего течения р. Суундук. Ореолы рассеяния золото-сульфидно-кварцевой ассоциации наблюдаются в поле развития гранитных интрузий и вулканогенных пород, вмещающих многочисленные кварцевые жилы; золото-редкометалльной – пегматитовых жил и зонах экзоконтактов гранитов и гранодиоритов с вмещающими породами раннего карбона; колчеданный – в пределах распространения живетских вулканитов. Золото терригенных ассоциаций установлено по р. Суундук и в приустьевых частях его левых притоков. Ореолы рассеяния объединены в Верхне-Суундукский и Средне-Суундукский россыпные районы, где развиты элювиальные, ложковые и долинные россыпи.

Ореолы рассеяния третьей полосы верховий рек Урус-Кискен, Берсуат и правых притоков верхнего течения реки Джарлы объединены в Верхне-Джарлинский россыпной район. Ореолы

рассеяния долины рек Джербутак, Джангыз-Агач, Бостыбай, Кайракты, нижнего и верхнего течения р. Кумак, верхнего течения р. Киембай, среднего течения р. Ушкота входят в Верхне-Кумакский россыпной район. Большинство ореолов рассеяния золота восточной половины Восточно-Уральского поднятия тяготеет к зонам региональных разломов, к контактам интрузивных тел с вмещающими толщами и к кварцево-жильным образованиям в различных по составу и генезису породах. В поле развития среднедевонских и раннекаменноугольных вулканогенно-осадочных пород прослеживается золото колчеданной и колчеданной с золото-железной шляпой ассоциацией. В пределах развития кварцевых жил в черносланцевых образованиях совместно с золотом отмечается резко повышенное содержание барита и магнетита. На участках кварцевых и пегматитовых жил в гранитных массивах и протерозойско-кембрийских гнейсах золото сопровождается шеелитом. На востоке Восточно-Уральского поднятия золото от коренных источников разносится на небольшие расстояния, не превышающие первых километров. В современных условиях здесь происходит формирование ложковых и элювиальных россыпей. При поисках в этом регионе необходимо применять густую сеть опробования с выходом по ложкам и распадкам на водоразделах.

В Тургайском россыпном районе прослежены два широких ореола рассеяния золота. Один, принадлежащий золото-сульфидно-кварцевой формации, наблюдается к западу от Блакского золоторудного месторождения; другой – золото-полиметаллической низкотемпературной ассоциации – к западу от оз. Батбакты. В плиоцен-четвертичное время здесь господствовали процессы активизации и не было условий, благоприятных для формирования россыпей. Существовавшие в палеогене и миоцене россыпи погребены под плиоценовыми и четвертичными суглинками и глинами.

В образованиях современных кос и пойменных террас рек Урала, Сакмары, Губерли, Касмарки, Алимбета часто встречается «косовое» золото. Ореолы рассеяния золота колчеданной ассоциации – в пределах Сакмарской и Тубино-Гайской антиклинальных, Вознесенско-Присакмарской и Центрально-Магнитогорской синклинальных структурно-формационных зон. Золото в ассоциации с киноварью, баритом, горным хрусталем, марказитом, малахитом, пиритом, галенитом прослеживается по небольшим речкам, ручьям и оврагам на площади Западно-Уральской внешней зоны складчатости, на юге Сакмарского антиклинория и на западе Хабарнинской седловиной синклинали. Источником его сноса для современного аллювия являются терригенно-карбонатные отложения силур-раннепермского возраста.

Источником сноса для золота крупных комплексных ореолов рассеяния золота в бассейне рек Ижбулган (40 км^2) и Чебакла (130 км^2) парагенетических золото-сульфидно-кварцевой, колчеданной, золото-полиметаллической низкотемпературной и золото-малосульфидной ассоциаций и терригенных золото-платиновой, золото-силлиманит-андалузит-корунд-монацит-циркон-ильменитовой являются местные рудопроявления и мелкие месторождения. Терригенное золото поступает в современный делювий и аллювий за счет размыва альбских и в меньшей мере кампанских и миоценовых осадков. Ореолам с максимальным содержанием металла отвечают участки формирования ложковых россыпей. В средней части рек, в долинах 3-х и 4-х порядков, отмечается выдержанный характер распределения, наиболее высокие концентрации золота и идет образование современных аллювиальных россыпей. В низовьях рек распределение золота равномерное, но его содержание резко падает.

В Предуралье распространено золото «косовое», парагенетической ассоциации «медистых песчаников» и терригенной золото-силлиманит-андалузит-корунд-монацит-анатаз-ильменитовой ассоциации [1]. Первое в единичных знаках равномерно распределено по всей площади прогиба. На юге прогиба источником «косового» золота являются мезозойские и кайнозойские отложения, в меньшей мере раннетриасовые и позднепермские красноцветы, включающие рудопроявления «медистых песчаников». По долинам рек Урал, Сакмара и Большой Ик привнос «косового» золота идет со складчатого Урала.

На юго-востоке Предуралья золото наблюдается в долинах рек Урта-Буртя, Тузлук-Коль, Муелды, Тарангул и по оврагам в виде отдельных проб и протяженных ореолов рассеяния, объединенных в Южно-Предуральский россыпной район. Источником сноса золота для совре-

менного аллювия служат разрушающиеся отложения раннепермского-плиоцен-раннечетвертичного возраста, для которых питающей провинцией были районы Северных Мугоджар.

Анализ распределения золота в современных отложениях Предуралья позволяет сделать вывод, что на большей части его площади процесс образования россыпей идет в замедленном темпе. Это связано со слабыми неотектоническими подвижками, незначительной динамикой водного потока и с малыми потенциальными возможностями источников сноса. На площади Урало-Илекского междуречья, где прослежены площадные и линейные ореолы рассеяния, формирование россыпей золота происходит более интенсивно. Современные аллювиальные россыпи образуются за счет легко размывающихся рыхлых юрских, миоценовых и плиоценовых отложений, повышенная золотоносность которых отмечается на юго-востоке Предуралья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лихоман О. А. Актуальные проблемы геологии Внешней зоны Южного Урала // Материалы 13-го Уральского литологического совещания. От анализа вещества к бассейновому анализу. – Екатеринбург, 2020. – С. 128–130.
2. Лихоман О. А. Актуальные проблемы металлогении ртути Южного Урала // Доклады академии наук. – 2013. – Т. 453, № 2. – С. 176–179.
3. Лихоман О. А. Золотоносность Саринского россыпного района (Южный Урал). Россыпи и месторождения кор выветривания XXI века: задачи, проблемы, решения // Материалы XVI Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (13–18 сентября 2021 г., Воронеж). – Воронеж, 2021. – С. 54–56.
4. Лихоман О. А. Шлиховое опробование как эффективный метод поисков и прогнозирования россыпных и коренных месторождений // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : тезисы докладов X Международной научно-практической конференции (2021 г.). – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 131–133.

Лось В. Л. (v_los@mail.ru)

ОО «Международная академия информатизации», г. Алматы

МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТРИБУТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРУДЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА)

Выделены устойчивые рудные геохимические ассоциации и проведено классифицирование месторождений по содержанию основных и сопутствующих компонентов. Введено представление о «генах» месторождений. Рассмотрена методика построения виртуальных моделей «плотность оруденения» и построены соответствующие модели Au, Cu, Pb, Zn, Mo, W, Sn, Fe. Проанализировано взаиморасположение рудных объектов иерархического уровня «месторождение» и «рудный район». Делается вывод о применимости принципа «ищи руду вдали от руды».

Ключевые слова: рудные объекты, рудные геохимические ассоциации, классифицирование месторождений, модели плотности оруденения, взаиморасположение рудных объектов.

Элементарными объектами металлогении являются месторождения, представляющие собой повышенные концентрации металлов в макрообъёмах геологического пространства. Их атрибутивными характеристиками являются содержания элементов в типичных ассоциациях (интенсивные характеристики) и запасы элементов (экстенсивные характеристики).

1. Информационной основой для выделения рудных геохимических ассоциаций элементов (РГА) и классифицирования месторождений меди, свинца, цинка, золота, молибдена и вольфрама послужила сформированная база данных средних содержаний элементов в рудах 157 месторождений, расположенных на территории Казахстана, России, Узбекистана, Австралии, США и других стран. В базе содержатся данные о 20 элементах: Pb, Zn, Cu (в %), Au, Ag,

Mo, W, Te, Se, Bi, As, Sb, Ga, Ge, Cd, Re, Ni, Co, In, Be (в ppm). Корреляционный анализ и классифицирование (программы FSON и RegSOM ПК Elan) позволили выделить шесть устойчивых РГА и «естественные» классы месторождений. Внутри выделенных РГА сила связи между содержаниями элементов больше 0,4:

A1 – полиметаллическая РГА. Ядро ассоциации – Zn, Pb, Ag, Cd и Cu. Антагонисты – D.

A2 – свинцово-цинковая РГА. Ядро ассоциации – Pb, Zn (эта РГА «скрыта» внутри A1 и выделяется по очень высокой корреляции Pb и Zn).

B – золото-мышьяково-сурьмяная РГА. Ядро ассоциации – Au, As, Sb. Антагонисты – D.

C – селен-теллуровая РГА. Ядро ассоциации – Se, Te, Bi. Чётких антагонистов нет.

D – редкометалльная РГА. Ядро ассоциации – Mo, W, Re, Be. Антагонисты – A, B.

E – медная РГА. Ядро ассоциации – Cu, Mo (выделяется по данным классифицирования).

Выделенные классы месторождений:

Класс 1.1. Месторождения с наиболее высокими и повышенными (в скобках) содержаниями Zn, (Pb), Cu, Ag, (Te), Se, (As), (Sb), Cd, In. В этом классе месторождений экономически интересные концентрации Au. Типичными являются месторождения относимые к колчеданно-полиметаллическим: Тишинское, Холоднинское (Россия), Броккен-Хилл (Австралия).

Класс 1.2. Месторождения с наиболее высокими и повышенными концентрациями Pb, (Zn), (Ag), (Sb), (Cd). Типичными для класса месторождениями являются Миргалимсай, (Казахстан), Озерное (Россия).

Класс 2. Месторождения с наиболее высокими и повышенными концентрациями Cu, (Mo), (Re), (Co). Типичными для класса являются, в основном, так называемые «порфировые» медные и медно-молибденовые месторождения: Актогай (Казахстан), Кальмакыр (Узбекистан).

Класс 3.1. Месторождения с наиболее высокими и повышенными концентрациями Au, Te, (Se), Bi, (As). Типичными объектами являются: Бестюбе, (Казахстан), Мурунтау (Узбекистан).

Класс 3.2. Месторождения с наиболее высокими и повышенными концентрациями (Au), As, Sb. Типичными месторождениями являются: Бакырчик (Казахстан), Майское (Россия), Карлин (США).

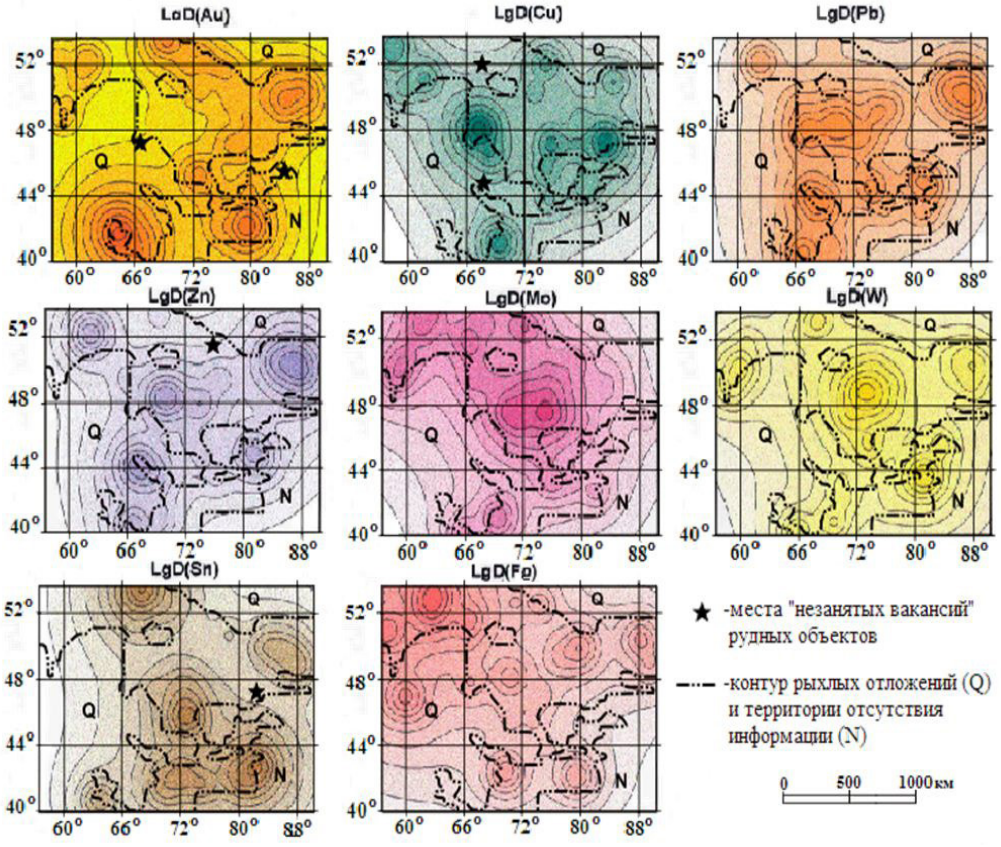


Рисунок. Модели распределения плотности оруденения Au, Cu, Pb, Zn, Mo, W, Sn, Fe на территории Казахстана и Средней Азии (Re = 70–80 км)

Класс 4. Месторождения с наиболее высокими и повышенными концентрациями Mo, W, Be, (Bi), Re. Наиболее типичными месторождениями данного класса являются: Верхнее Кайракты, (Казахстан), Южно-Шумейское (Россия).

Сопоставление РГА с классами месторождений показано в табл. 1. В каждом классе преобладает определённая РГА элементов с обычно слабым проявлением других. Исключение составляет класс 1.1, в котором объединяются несколько ассоциаций. Это объединение не механическое наложение РГА друг на друга, а некое соединение «генов» простых ассоциаций в более сложные на основе механизмов поликонденсации, кластерообразования и гидрофобных взаимодействий.

Табл. 1. Проявления рудных геохимических ассоциаций в классах месторождений

Интенсивность проявления РГА	Классы месторождений					
	1.1	1.2	2	3.1	3.2	4
Преобладает	A1, C	A2	E	B, C	B	D
Проявлена	A2, B	B				
Проявлена слабо	E	A1	A1, D		C	

Выделение РГА и классифицирование месторождений позволяет более целенаправленно формировать эталоны рудных объектов, особенно в ситуациях использования геохимической информации как основы прогнозирования. В металлогении выделение РГА и классифицирование рудных объектов позволяет подкрепить представление о формировании месторождений в процессе концентрирования и структурирования переносимого рудного вещества от простых ионов, возникающих в области мобилизации, до концентрированных растворов, в которых переносимые металлы-частицы агрегируются в сложные комплексы определённого состава. Эти комплексы являются своего рода «генами» формирования небольшого числа типов месторождений по элементному и минералогическому составу.

2. Информационной основой для построения моделей плотности оруденения (экстенсивные характеристики) и анализа размещения рудных объектов на территории Казахстана послужили данные о расположении и запасах месторождений Cu, Zn, Pb, Mo, W, Au, Sn, Fe. Виртуальные модели «плотность оруденения» вычислялись с помощью следующего функционала (програма ПВО ПК Elan) [1]: $D_j(x,y) = \sum_{i=1}^{k} \left\{ M_{ji} / \left[1 + \beta(r/\gamma)\right]^{\alpha} \right\}$,

где $D_j(x, y)$ – плотность оруденения металла j в точках с текущими координатами x, y ($x, y \in$ V, где V – область моделирования); M_{ji} – размеры (запасы) i-того месторождения j-того металла; k – число месторождений j-того металла; r – эвклидово расстояние между i-тым месторождением (его координаты x_i, y_i) и точками с текущими координатами x, y; α, β, γ – параметры, регулирующие вид модели D (в частности, радиус эффективной «генерализации» Re = γ, при β = 1). В качестве примера на рис. 1 показаны модели плотности оруденения при Re = 70–80 км. На моделях эпицентры плотности оруденения примерно соответствуют объектам ранга «рудный район» или «рудный узел».

3. Закономерности расположения в пространстве рудных объектов различного иерархического уровня позволяют указать, где находятся или могут находиться рудные объекты, т. е. дать прогноз. В большинстве случаев то или иное положение рудных объектов объясняется и связывается с какими-либо геологическими телами или структурами. Рассмотрим расположение рудных объектов, опираясь на закономерности их взаиморасположения в пространстве. Ме-

Табл. 2. Средние кратчайшие расстояния между месторождениями

Месторождения	Класс крупности	Число объектов	**R**	**R**сл	**R**/**R**сл
Au	К	63	40	86	0,44
Cu	К	31	62,8	135,9	0,46
Pb + Zn	К	49	49	99	0,50
Fe	К+С	48	45,5	79	0,51
Mo	К	26	98	144	0,66
W	К + С	20	94,7	163,2	0,58

Примечание. К – крупные объекты; С – средние объекты; R и Rсл – в км.

Табл. 3. Средние кратчайшие расстояния между эпицентрами плотности оруденения

Эпицентры металлов	Число эпицентров	**R**	**R**сл	**R** / **R**сл
Au (все)	9	400	250	1,6
Au (крупные)	4	900	400	2,4
Cu (все)	11	330	220	1,5
Cu (крупные)	5	540	350	1,55
Zn (крупные)	6	570	320	1,8
Fe (все)	10	440	230	1,4
Mo (крупные)	8	330	270	1,2
W (все)	7	500	290	1,9

Примечание. R и Rсл – в км.

тоды математического описания взаиморасположения рудных объектов в пространстве 2D, их тенденции к сближению («группированию», «скучиванью») или удалению («разбеганию») изложены в [2, 3]. Анализ пространственного взаиморасположения рудных объектов заключался в вычислении среднего кратчайшего расстояния между объектами (R) и сравнении его со средним кратчайшим расстоянием между соответствующим числом случайно расположенных в пространстве точек (Rсл). Если отношение R/Rсл > 1, то объекты имеют тенденцию к «разбеганию» в пространстве; если R/Rсл < 1, то имеется тенденция группирования (скучивания) объектов R/Rсл ≈ 1, то взаиморасположение объектов не отличается от взаиморасположения случайных точек. Вычисления проводились с помощью программы Next Point (ПК Elan). Результаты вычисления средних кратчайших расстояний между месторождениями приведены в табл. 2. Как видим, для месторождений всех рассмотренных металлов R/Rсл < 1.

Пространственное группирование месторождений естественным образом приводят к образованию рудных (металлогенических) объектов более высокого иерархического уровня: рудных узлов, районов (однозначного наименования и четкого способа оконтуривания эти объекты пока не имеют). И здесь справедливо применение старинного правила «ищи руду около руду».

Средние кратчайшие расстояния между выделенными на моделях эпицентрами плотности металлов (рисунок) приведены в табл. 3. Для всех металлов R/Rсл > 1, что свидетельствует о «разбегании» эпицентров плотности оруденения (предельным случаем «разбегания» является расположение объектов в узлах какой-то равномерной регулярной сетки). Как видим, для этого иерархического уровня закономерности пространственной организации в размещении рудных объектов противоположны закономерностям в пространственном размещении месторождений. Следует держаться правила «ищи руду вдали от руды». Закономерность «разбегания» согласуется с базовой металлогенической моделью рудообразования в результате перераспределения элементов «на месте».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лось В. Л. [и др.] Прогноз, поиски и моделирование рудных объектов // Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Т. 1а. – Алматы, 2008. – 466 с.
2. Усманов Ф. А. Основы математического анализа геологических структур. – Ташкент : ФАН, 1975. – 206 с.
3. Горяева В. С., Легонькин В. С., Лось В. Л., Сомова О. В. Взаиморасположение рудных объектов на территории Казахстана // Геология и охрана недр. – 2005. – № 4 (17). – С. 37–42.

Макарова М. А. [1, 2] **(frolikovam@gmail.com), Боева Н. М.** [2] **(boeva@igem.ru), Шипилова Е. С.** [2] **(lena.geomsu@gmail.com), Внучков Д. А.** [2] **(dim89060471812@mail.ru), Мельников Ф. П.** [2]

[1] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва,
[2] ИГЕМ РАН, г. Москва

АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ ПРОЦЕССА БОКСИТООБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ УНИКАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ САНГАРЕДИ (ЗАПАДНАЯ АФРИКА)

В соответствии с эволюцией геодинамических и геоморфологических условий установлено, что месторождения Сангареди является полихронным и полигенным. Его формирование происходило длительно и многоэтапно. В среднем миоцене началось разрушение и переотложение материала бокситоносных латеритных кор выветривания и их эпигенетических изменений в глеевой геохимической обстановке в обводненных, но проточных условиях. Далее, начиная с позднего миоцена и до настоящего времени, после начала опускания базиса эрозии и вывода отложений серии Сангареди в гидрогеологическую зону аэрации и инфильтрации, в процессе длительного латеритного выветривания, происходило формирование уникального месторождения Сангареди осадочно-латеритного генезиса.

Ключевые слова: бокситы, Сангареди, осадочно-латеритный генезис.

Среди различных видов рудных полезных ископаемых существуют объекты, которые по многим параметрам являются уникальными. Для бокситов, связанных с латеритными покровами тропической зоны Земли, таким уникальным объектом является месторождение Сангареди, находящееся на северо-западе бокситоносной провинции Фута Джаллон-Мандинго в Западной Африке. Для уникальных месторождений бокситов интерес представляют подробные публикации, объясняющие особенности их геологического строения, вещественного состава и генезиса.

Месторождение Сангареди известно с середины XX века, когда компания «Bauxites du Midi» проводила поисково-разведочное бурение в бассейне рек Когон и Томине. После открытия месторождения в процессе разведки и эксплуатации его посещали и изучали многие геологи, в том числе научные работники. Но это изучение, как правило, касалось каких-то отдельных аспектов. Не располагая комплексом, включающим геологические, геодинамические, геоморфологические, гидрогеологические, минералого-петрографические, гидрохимические, биогеохимические и геохимические знания, было сложно научно обоснованно расшифровать эволюцию и генезис этого сложного месторождения. Все свелось к простому подходу: раз рудную массу месторождения составляют бокситы с обломочными структурами от песчано-глинистых до гравелит-конгломератовых, то генезис этих бокситов осадочный [3]. Такой подход к анализу генезиса месторождения не является методологически обоснованным. Выявленные на месторождении в глубоких горизонтах исходные обеленные и ресилифицированные отложения не содержат залежей механогенно-осадочных бокситов, поэтому Сангареди не может рассматриваться как осадочное по своему генезису.

В процессе многолетних работ в Западной Африке, региональных обобщений, среднемасштабной и крупномасштабной геологической съемки, включая детальное картирование на сотнях месторождений, изучения морфологии и внутреннего строения залежей бокситов и их вещественного состава в сопоставлении с гидрогеологическим и газовым режимами, позволили авторам методологически обоснованно подойти к определению эволюции бокситообразования и к генезису месторождения.

Главные параметры уникальности месторождения Сангареди. Во-первых, отличительной чертой месторождения Сангареди является многообразие литолого-генетических типов бокситов, которые унаследованы от разнообразия литологических типов материнского субстрата. Наряду с алевро-аргиллитами свиты Фаро девона, по которым развиты классические латеритные бокситы, материнский субстрат месторождения представлен среднемиоценовыми континентальными отложениями серии Сангареди. Хотя эти отложения в постсреднемиоценовое время были почти полностью латеритизированы, по сохранившимся текстурно-структурным

признакам хорошо прослеживаются галечные и гравийно-галечные отложения (конгломерат и гравелитовые бокситы), пески разнозернистые с гравием и без (песчаниковидные бокситы) и глины в различной степени песчанистые (глиноподобные бокситы, гелеморфные пелитоморфные и оолитовые – за счет инфильтрационно-метасоматических процессов). С осадочно-латеритными бокситами пространственно и генетически связаны бокситы особого генетического класса, отличающийся от *in situ* экстракачеством (Al_2O_3 55–65 мас. %, SiO_2 менее 1,5 мас. %) и повышенным содержанием бемита (до 20 мас. %). Ранее их никто не выделял в особый генетический тип, относя либо к классическим латеритным, либо к гелеморфным и гелефицированным. Причин образования таких бокситов никто не объяснял.

Вторым отличием Сангареди является преобладание руд осадочно-латеритного генетического типа. На эти бокситы приходится более 70 % от общих ресурсов. Осадочно-латеритные бокситы отличаются очень высоким содержанием глинозема (более 60 мас. %), а также повышенным содержанием моногидрата алюминия в форме бемита (10–18 мас. %).

Третьим отличительным параметром месторождения Сангареди являются мощности бокситов, которые достигают в отдельных пересечениях до 45–50 м, тогда как для подавляющего большинства бокситорудных районов средние мощности бокситов находятся в пределах 4,5–9 м.

В-четвертых, бокситы месторождения Сангареди характеризуются высоким качеством. На начальном этапе эксплуатации месторождения при подсчете ресурсов бокситов при бортовом содержании Al_2O_3 40 мас. % среднее содержание валового глинозема в них составило 59,27 мас. %. В отдельных интервальных пробах содержание Al_2O_3 достигало 70 мас. %.

К отличительным чертам месторождения следует отнести также особенности минерального состава бокситов и закономерности их изменчивости. Пересчет на изоволюметрической основе показывает, что в нижние горизонты латеритных бокситов из вышележащих осадочно-латеритных происходил мощный привнос пересыщенными поровыми растворами Al_2O_3, с осаждением в виде алюмогелей с криптокристаллической структурой зародышей бемита. Именно с нижними горизонтами бокситов (более 12–15 м) связаны повышенные содержания $Al_2O_{3моно}$ (в основном бемита) [4].

Таким образом, необходимо отметить, что изложенные выше уникальные параметры обязаны главным образом отложениям серии Сангареди и их изменениям как на стадии осадконакопления, так и в последствии на стадии латеритизации.

Эволюция условий образования. В соответствии с эволюцией геодинамических и геоморфологических условий в изучаемом регионе формирование месторождения Сангареди и его аналогов происходило длительно и многоэтапно [1, 2]. Неотектонический этап, начавшийся в середине эоцена, к концу раннего миоцена привел к расчленению Африканской (раннепалеогеновой) поверхности и формированию досреднемиоценового ступенчатого рельефа, в пределах которого активно развивались латеритные бокситоносные коры выветривания. Со среднего миоцена начинается их разрушение и переотложение материала бокситоносных латеритных кор выветривания с промежуточного рельефа N_2^1 – накопление мощной толщи континентальных водноосадочных отложений серии Сангареди (I этап). На фоне жаркого влажного климата происходят эпигенетические изменения (восстановление и вынос железа, ресилификация) в глеевой геохимической обстановке в обводненных, но проточных условиях (II этап). В совокупности эти процессы привели к появлению на поверхности нового и чрезвычайного благоприятного материнского субстрата. Затем, с позднего миоцена до настоящего времени, после начала опускания базиса эрозии и вывода отложений серии Сангареди в гидрогеологическую зону аэрации и инфильтрации, происходило длительное латеритное выветривание, то есть начали формироваться осадочно-латеритные бокситы очень высокого качества (III этап). Соответственно, месторождение Сангареди является полихронным и полигенным в соответствии с терминологией, предложенной В. И. Смирновым для многих уникальных месторождений ряда полезных ископаемых.

Как видно из изложенной выше системы обоснования эволюции бокситообразования и геоморфологического развития региона, накопления и эпигенетического изменения среднемиоценовых континентальных отложений и роли факторов, обеспечивающих формирование место-

рождения Сангареди, привлечены доказательства, которые не могли бы быть получены только при изучении самого месторождения. Поэтому для научно обоснованных выводов об эволюции и генезисе месторождения Сангареди, как и любых других месторождений в зоне гипергенеза, недостаточно информации только о минералого-петрографическом и химическом составе руд, их мощности и распределении. Необходимы более широкие знания, включающие понимание многоплановых факторов различных геосфер Земли, что позволило, как показано выше, понять и обосновать многоэтапную историю развития месторождения Сангареди.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания ИГЕМ РАН № 124022400142-2, аналитические исследования проведены в ЦКП «ИГЕМ АНАЛИТИК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мамедов В. И., Макарова М. А., Боева Н. М., Слукин А. Д., Шипилова Е. С., Бортников Н. С. Главные процессы и стадии формирования уникального месторождения бокситов Сангареди (Западная Африка) // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2020. – Т. 492, № 1. – С. 1–7.
2. Мамедов В. И., Макарова М. А., Зайцев В. А. Крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка). Часть III: влияние геоморфологического фактора и возраста рельефа на распределение, масштабы и качество залежей бокситов // Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 64, № 5. – С. 1–30.
3. Сапожников Д. Г., Богатырев Б. А., Барков В. В. Бокситы и коры выветривания Гвинеи // Коры выветривания. Вып. 15. – М. : Наука, 1976. – С. 3–50.
4. Mamedov V. I., Boeva N. M., Makarova M. A., Shipilova E. S., Melnikov F. P. The problem of the formation of boehmite and gibbsite in bauxite-bearing lateritic profiles // Minerals. – 2022. – Vol. 12 (3). – P. 389.

Макшаков А. С. (artem_m@mail.ru), Кравцова Р. Г. (krg@igc.irk.ru)
ИГХ СО РАН, г. Иркутск

ОСОБЕННОСТИ ОПРОБОВАНИЯ АЛЛЮВИЯ КРУПНЫХ РЕЧНЫХ ДОЛИН ПРИ ПОИСКАХ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

С целью повышения эффективности съемок по литохимическим потокам рассеяния при поисках рудной минерализации в условиях зон криолитогенеза предложен способ опробования аллювиальных отложений крупных речных долин.

Ключевые слова: литохимические потоки рассеяния, рудная минерализация, крупные речные долины, аллювиальные отложения, способ опробования.

При проведении площадных геохимических съемок по литохимическим потокам рассеяния (ЛПР) с целью выявления аномальных геохимических полей (АГХП) чаще всего опробуются аллювиальные отложения небольших водотоков – ручьев протяженностью до 10 км, которые, согласно [3], протекают по долинам I–III порядков. Отбор проб в связи с небольшой шириной их долин не представляет особых трудностей. Более крупные водотоки – малые реки протяженностью 10–50 км, протекающие по долинам III–IV порядков, опробуются значительно реже, что связано с неопределенностью при выборе места взятия пробы, так как ширина современных долин этих рек может достигать первых километров. По методике [2], в таких ситуациях пробы рекомендуется отбирать двумя параллельными линиями маршрутов вдоль обоих бортов долины. В условиях зон криолитогенеза такая методика практически не дает результатов. Очевидно, что необходимы исследования по разработке более надежных способов выявления рудных аномалий. Такие исследования были проведены на площади Омсукчанского района (Северо-Восток России), богатейшего по разнообразию типов рудной минерализации – Au-Ag, Ag-Pb, Sn-Ag, Sn-W и Mo-W.

Для изучения ЛПР крупных речных долин были выбраны участки на реках Малый Кэн, Кэн и Тап. Долины этих рек относятся к IV порядку. Опробование велось по профилям, которые размещались вкрест простирания долин этих рек ниже устьев впадающих в них ручьев,

которые дренируют разную по типу рудную минерализацию. В пробу отбирался преимущественно песчаный, песчано-илистый, реже песчано-гравийный материал. Предпочтение отдавалось песчано-илистой фракции, которая в долинах водотоков IV порядка, как правило, преобладает. В дальнейшем пробы рассеивались на две фракции: < 1 мм (общая) и < 0,25 мм (мелкая). После все пробы прошли спектральный приближенно-количественный анализ на широкий круг элементов. Контроль результатов осуществлялся количественным атомно-эмиссионным методом [1]. Содержания Au в пробах определялись атомно-абсорбционным анализом.

В долине реки **Малый Кэн** был пройден профиль I, который размещался ниже устья ручья Красин, дренирующего одноименное Au-Ag рудопроявление. Изучены АГХП Au и Ag – главных элементов-индикаторов Au-Ag минерализации. Максимальные содержания Au выявлены в мелкой фракции – 0,01–0,03 г/т. Коэффициенты контрастности (КК = $C_i/C_ф$, где C_i – содержание элемента, $C_ф$ – фон) равны 5–15. Содержания Ag в этой фракции достигают 0,3–0,5 г/т (КК = 3–5). Поля Au и Ag с такими содержаниями выявлены по правому борту долины, ближе к месту впадения ручья Красин. В центральной части долины и ближе к ее левому борту содержания Au и Ag в ЛПР близфоновые (Au < 0,006 г/т, КК < 3; Ag < 0,3 г/т, КК < 3). В общей фракции аллювия содержания Au не превышают 0,01 г/т (КК < 5), а Ag, как и в мелкой фракции, достигают 0,3–0,5 г/т (КК = 3–5). Наблюдаются те же закономерности в распределении АГХП Au и Ag, то есть к правому борту долины реки. При проведении площадной геохимической съемки 1 : 50 000 масштаба по ЛПР с отбором традиционной фракции < 1 мм АГХП Au и Ag на этом участке долины не выявлены. Содержания элементов оказались близфоновыми (Au < 0,004 г/т, КК < 2; Ag < 0,02 г/т, КК < 0,2).

В долине реки **Кэн** был пройден профиль II. Он размещался ниже устья ручья Горелого, дренирующего Ag-Pb месторождение Тидид. Изучены АГХП Ag, Pb и Zn – основных элементов-индикаторов Ag-Pb оруденения. Максимальные концентрации Ag (до 1–1,5 г/т при КК = 10–15) и Pb (до 100–120 г/т при КК = 5–6) установлены во фракции < 0,25 мм. Аномалии с такими содержаниями тяготеют к правому борту долины, к месту впадения ручья Горелого. По направлению к левому борту долины содержания снижаются: Ag – до 0,3–1 г/т (КК = 3–10), Pb – до 60–100 г/т и менее (КК = 3–5 и менее). В общей фракции содержания Ag и Pb оказались ниже: 0,3–1 г/т и менее (КК = 3–10 и менее) и 60–100 г/т и менее (КК = 3–5 и менее) соответственно. Такие содержания отмечены и по левому, и по правому бортам. Содержания Zn в обеих фракциях достигают 300–350 г/т (КК = 6–7). Сохраняется тенденция приуроченности максимально-аномальных АГХП Zn к правому борту. По направлению к левому борту долины содержания элемента снижаются до 150–250 г/т (КК = 3–5). При геохимической съемке 1 : 50 000 масштаба на участке, где был пройден профиль II, АГХП Ag, Pb и Zn не были выявлены, а их концентрации здесь не превышали 0,06 г/т (КК < 0,6), 15 г/т (КК < 0,75) и 100 г/т (КК < 2) соответственно.

В долине реки **Тап** были пройдены четыре профиля (I–IV). По левому борту известны Ag-Pb и Sn-Ag рудные зоны месторождения Гольцового, по правому борту – Sn-W и Mo-W минерализация рудопроявлений Кальян и Пестринское соответственно. Изучены АГХП Ag, Pb, Zn, Sn, Bi, Mo и W – основных элементов-индикаторов перечисленных типов оруденения.

Максимальные концентрации Ag (4–6 г/т, КК = 40–60), Pb (200–300 г/т, КК = 10–15) и Zn (250–500 г/т, КК = 5–10) установлены в мелкой фракции. В общей фракции они не превышали 2–4 г/т (КК = 20–40) для Ag, 100–200 г/т (КК = 5–10) для Pb и 150–250 г/т (КК = 3–5) для Zn. Наиболее контрастные АГХП Ag, Pb и Zn с содержаниями 1–6 г/т (КК = 10–60), 100–300 г/т (КК = 5–15) и 250–500 г/т (КК = 5–10) соответственно выявлены по профилям III и IV по левому борту, в области влияния Ag-Pb рудных зон. Вверх по течению по левому борту долины, на участках влияния Sn-Ag минерализации, концентрации элементов постепенно снижаются: Ag – до 0,3–2 г/т (КК = 3–20), Pb – до 60–100 г/т (КК = 3–5), Zn – до 150–250 г/т (КК = 3–5). По правому борту долины содержания Ag и Pb являются минимальными (< 1 г/т при КК < 10 для Ag и < 100 г/т при КК < 5 для Pb), а для Zn по профилю IV отмечены содержания 250–500 г/т (КК = 5–10), что связано с влиянием Sn-W минерализации.

Наиболее высокие концентрации Sn (40–160 г/т, КК = 10–40) и Bi (4–5 г/т, КК = 40–50) также установлены в мелкой фракции. В общей фракции аллювия они не превышают 20–40 г/т

(КК = 5–10) для Sn и 3–4 г/т (КК = 30–40) для Bi. Наиболее контрастные АГХП Sn с содержаниями 100–160 г/т (КК = 25–40) выявлены только по профилю II по левому борту долины, в области влияния Sn-Ag рудных зон. Поля с меньшими концентрациями (40–100 г/т, КК = 10–25) также установлены по профилю II и далее по левому борту до профиля IV. Кроме того, они выявлены по правому борту долины по профилю IV в области сноса материала из зон Sn-W минерализации. Наименее контрастные поля Sn (< 20 г/т, КК < 5) тяготеют преимущественно к профилю I к левому борту, где рудная минерализация проявлена крайне слабо, и к профилю III в месте, где идет вынос материала Ag-Pb зон месторождения Гольцового. Максимальные концентрации Bi 4–5 г/т (КК = 40–50) выявлены по профилю III по правому борту долины, в области сноса материала Sn-W минерализации. АГХП с меньшими концентрациями 2–4 г/т (КК = 20–40) выявлены по профилям III и IV. Они тяготеют к правому (Кальян) и левому (Sn-Ag рудные зоны Гольцового и фланги его Ag-Pb зон) бортам. АГХП Bi самой низкой контрастности (< 0,5 г/т, КК < 5) приурочены только к левому борту долины – к профилю I, где рудная минерализация вообще не проявлена, и к профилю III, где влияют наиболее богатые Ag-Pb руды месторождения Гольцового.

Максимальные концентрации Mo (10–20 г/т, КК = 5–10) установлены во фракции < 0,25 мм. В общей фракции его содержания не превышают 6–10 г/т (КК = 3–5). Аномальные концентрации W (3–10 г/т, КК = 3–10) выявлены только в мелкой фракции. В общей фракции содержания W являются близфоновыми (< 3 г/т, КК < 3). Аномалии Mo и W тяготеют только к правому борту долины. При этом АГХП Mo наиболее широкое развитие имеют в верхней части потока (профили I–II), где находится Mo-W рудопроявление Пестринское, а АГХП W – в нижней части (профили III–IV), в месте выхода Sn-W минерализации (Кальян). По левому борту долины отмечены близфоновые содержания Mo (< 6 г/т, КК < 3) и W (< 3 г/т, КК < 3).

Для сравнения, при съемке 1 : 50 000 масштаба с использованием традиционных методов опробования концентрации Ag на изученном участке долины не превышали 3 г/т (КК < 30), Zn – 300 г/т (КК < 6), Sn – 30 г/т (КК < 7,5), Bi – 2 г/т (КК < 20). Содержания Pb, Mo и W оказались низкими, близкими к фоновым: 50 г/т (КК = 2,5), < 6 г/т (КК < 3) и < 2 г/т (КК < 2) соответственно. Закономерностей в распределении этих элементов не выявлено.

Разработанный способ опробования аллювия крупных речных долин по профилям, ориентированным вкрест их простирания, для выявления АГХП при проведении геохимических съемок по ЛПР является наиболее эффективным. Более полную информацию об особенностях распределения и уровнях концентрирования рудных элементов, отражающих состав и строение эродируемых и дренируемых объектов, дает фракция < 0,25 мм, которая в долинах крупных рек проявлена в значительных количествах.

Предложенный способ может успешно применяться на всех стадиях геохимического изучения площадей, начиная с прогнозной оценки на слабоизученных территориях до детальных исследований на участках, где уже был проведен значительный объем поисково-оценочных работ. Этот способ может быть использован не только на территории Северо-Востока России, но и в других районах, где формирование ЛПР происходит в условиях зон криолитогенеза.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания (проект № 0284-2021-0002) с использованием научного оборудования ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН (г. Иркутск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Васильева И. Е., Шабанова Е. В. Дуговой атомно-эмиссионный анализ для исследования геохимических объектов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78, № 1, ч. II. – С. 14–24.

2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / М-во геол. СССР. – М. : Недра, 1983. – 191 с.

3. Strahler A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography // GSA Bulletin. – 1952. – V. 63, № 11. – P. 1117–1142.

Мансуров М. И. (mamoy_mansurov@mail.ru), Каландаров Б. Г.,
Абдуллаева Ш. Ф., Керимли У. И., Мамедова А. Г.
БГУ, г. Баку, Азербайджанская Республика

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЛОК-КАРАБАХСКОЙ ЗОНЫ (АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ ЧАСТЬ МАЛОГО КАВКАЗА)

Рассматривается прогнозная оценка полиметаллического оруденения Лок-Карабахской зоны. Перспективы выявления полиметаллических месторождений имеются в Лок-Карабахской металлогенической зоне, где широко развиты образования юрского вулканизма, с кислой фацией которого генетически и пространственно связано медно-колчеданное и полиметаллическое оруденение. Промышленное значение могут иметь месторождения барит-полиметаллической формации, а также жильное кварц-полиметаллическое оруденение типа Мехмана. Структурно-формационные условия зоны, типы метасоматоза, широкий ореол кварц-барит-полиметаллических жил и прожилков дают основание для прогнозирования здесь линзовидно-пластообразных полиметаллических руд. Прогнозная оценка выражается в количестве 500 тыс. т свинца и цинка, локализованных в нескольких мелких, но рентабельных для разработки месторождениях.

Ключевые слова: Лок-Карабах, рудный район, прогнозная оценка, полиметаллы, перспективные участки.

Лок-Карабахская зона представляет собой аналог внутренних островных дуг, заложена в период киммерийского тектогенеза на зрелой континентальной коре байкальского и каледонского основания и сложена вулкано-плутоническими формациями, с которыми пространственно и парагенетически связаны руды серноколчеданной, медно-колчеданной, медно-мышьяковой, медно-полиметаллической, медно-порфировой, золото-полиметаллической, барит-полиметаллической и баритовой формаций. В раннем мелу внедрились среднекислые с натровой специализаций интрузии, с которыми увязываются скарново-магнетитовая, сульфоарсенидно-кобальтовая и алунито-пирофиллитовая, жильная кварц-полиметаллическая, кварц-сульфидная, гематитовая формации, локализующиеся в зонах поднятий.

Полиметаллическое оруденение в пределах Лок-Карабахской зоны, как известно, проявлено с северо-запада на юго-восток в пределах Газахского, Гедабекского, Дашкесанского, Мехманинского, Муровдагского рудных районов [7].

Газахский рудный район. Рудный район слагает Газахский прогиб, сложенный позднемеловыми вулкано-тектоническими структурами. По особенностям геологического развития и магматизма он сопоставим с Болнисским прогибом в Грузии. В обоих прогибах выявлено однотипное серно- и медно-полиметаллическое оруденение с наложенной золоторудной минерализацией. Путем сравнительного металлического анализа в пределах Газахского рудного района, особенно в его локально поднятых блоках, в участках развития низкотемпературных пропиллитов и вторичных кварцитов можно ожидать значительные концентрации золотосодержащих полиметаллических, барит-полиметаллических и др. типов руд. В пределах рудного района выделяются Дагкесаманское и Оксюзлинское рудные поля.

Дагкесаманское рудное поле приурочено к зоне разлома северо-восточного простирания. Площадь его составляет 32 км^2. Входящее в рудное поле Дагкесаманское золото-полиметаллическое проявление детально опоисковано, а отдельные рудные тела предварительно разведаны. Рудопроявление по своему значению является перспективным. Подсчитанные лишь по пяти рудным телам суммарные запасы свинца и цинка по категориям $C_1 + C_2$ составляют 24 тыс. т., меди – 2,2 тыс. т. Установлены также запасы золота и серебра.

О потенциально-промышленном значении Дагкесаманского месторождения свидетельствует также обнаружение прямых признаков рудоносности на северо-восточном его обрамлении, а также выявление на площади рудного поля и смежных площадях целого ряда рудопроявлений золото-медно-полиметаллического типа [1, 7].

Ашага-Оксюзлинское рудное поле также расположено в пределах Газахского синклинория. Площадь ее составляет 36 км^2. Здесь пока известно лишь одноименное жильное полиметалли-

ческое проявление, перспективы которого не установлены. Рудопроявление изучалось только на поверхности. В связи с малыми по значению перспективами полиметаллического оруденения жильного типа запасы металлов не прогнозируются, хотя возможность выявления больших концентраций здесь не исключается. Постановка детальных поисковых работ для изучения рудоносных зон на глубину рекомендуется также на Ашага-Оксюзлинском рудном поле, где помимо Pb, Zn и Ca отмечены также содержания Au и Ag.

Гедабекский рудный район. Полиметаллическое оруденение Гедабекского рудного района проявлено в пределах Бадакендского, Ирмашлинского, Сафарлинского, Беюк-Гышлагского, Артапинского, Шекербекского рудных полей.

Бадакендское рудное поле. В рудном поле известно одноименное полиметаллическое проявление жильного типа среди байосских кварцевых плагиопорфиров, андезитовых порфиритов, их туфов и туфопесчаников. Рудопроявление представлено одной жилой небольшой протяженности (до 50 м), выклинивающейся на глубине 20–30 м. Перспективы рудного поля выяснены недостаточно. Положительным фактором оценки поля является наличие гранодиоритовых интрузивов, прорывающих юрский комплекс, тектонических нарушений. Целесообразно изучение рудопроявления на глубину и проведение поисковых работ на рудном поле.

Ирмашлинское рудное поле объединяет три разобщенных, в настоящее время почти выработанных объекта: Бузханинское месторождение, Ирмашлинское и Карабулахское баритовые проявления. Обращает на себя внимание факт заметного развития халькопирита, галенита и сфалерита в баритовых жилах северо-западного направления.

Сафарлинское рудное поле. На этой рудоносной площади известны одноименное медно-серноколчеданное и Каравеллярское полиметаллическое проявления. Перспективным в отношении меди, цинка и золота является последнее. Значительный интерес для выявления новых месторождений представляет главный Сафарлинский разлом, к которому приурочены указанные рудопроявления и незначительные участки медно-полиметаллического оруденения.

Беюк-Гышлагское рудное поле объединяет бесперспективные одноименные медно- и серноколчеданное и Чешмалинское медно-колчеданное проявления. Детальные поиски на участках рудопроявлений свидетельствуют о зараженности медью, цинком и свинцом, но промышленные концентрации не выявлены.

Артапинское рудное поле объединяет одноименное медно-цинковое, Керкесик-Месносское медно-полиметаллическое и ряд незначительных рудопроявлений меди прожилково-вкрапленного типа (Масхитское, Новоспасовское, Соютлу-Паракендсуинское, Барумское и т. д.). Медно-цинковое рудопроявление разведано, остальные рудопроявления рудного поля детально опоискованы.

Шекербекское рудное поле выделено по одноименному полиметаллическому рудопроявлению. Оно расположено западнее Гедабекского поля, от которого отделяется узким (1–3 км) безрудным промежутком. Выявление в пределах рудного поля полиметаллического оруденения жильного типа промышленного значения маловероятно.

Мехманинский рудный район. Полиметаллическое оруденение проявлено в пределах одноименного рудного поля. На этом поле известно одноименное полиметаллическое месторождение. Месторождение детально разведано и передано на промышленное освоение. К рудному полю отнесено также Гызылбулахское (Тромбонское) медно-колчеданное месторождение с галенит-сфалерит-халькопиритовой минерализацией, содержащей золото. Предварительной разведкой установлена перспективность этого месторождения, подсчитаны запасы меди, золота и серебра. Расположенное в данном рудном поле Ванклунское серноколчеданное проявление практического значения не имеет [1, 6]. Вопрос о расширении перспектив Мехманинского рудного поля, а также одноименного рудного района, в целом, актуален, так как здесь уже положено начало развитию свинцово-цинкового горнорудного предприятия.

Муровдагский рудный район. *Эльбекдашское рудное поле.* Эта рудоносная площадь, размером 37 км^2, объединяет одноименное медно-полиметаллическое и Джамиллибулахское медное проявления. Первое приурочено к пластам известняков в вулканогенно-осадочной толще кимериджа, второе – к вторичным кварцитам среди байос-батских вулканогенов. Интерес представляет перспективное Эльбекдашское проявление, масштабы его незначительны [5].

Положительные результаты поисков в Лок-Карабахской зоне обуславливают целесообразность продолжения геологоразведочных работ на медь и полиметаллы в области Шамкирского антиклинория среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ нижнего и верхнего байоса. К числу наиболее перспективных участков относятся Битти-Булахское, Джагирчайское и ряд других, на которых целесообразно проведение детальных поисковых и поисково-оценочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Каландаров Б. Г. Полиметаллические рудные формации Малого Кавказа: автореф. дис. на соискание учен. степ. д-ра. геол.-минерал. наук / Багадур Гасан Каландаров. – Баку, 2010. – 49 с.
2. Мансуров М. И. Факторы локализации медно-полиметаллического оруденения Эльбекдашского месторождения // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2013. – № 1. – С. 99–109.
3. Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Керимли У. И. [и др.]. Основы прогнозирования перспективных участков и новых типов оруденения Мехманинского рудного поля (Карабахское поднятие, Азербайджан) // Сборник тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы». – М. : ЦНИГРИ, 2023. – С. 308–310.
4. Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана (условия формирования, закономерности размещения, научные основы прогнозирования) / Отв. ред. В. М. Баба-заде. – Баку : Озан, 2005. – 808 с.

Махоткин И. Л.

ФГБУН «ИГЕМ РАН», г. Москва

АЛМАЗОНОСНОСТЬ И ПАЛЕОГЕОТЕРМИЯ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ ЕРМАКОВСКАЯ-7 ТЕРСКОГО БЕРЕГА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Изученные составы породообразующих и редких элементов пиропов, шпинелей и хромдиопсидов из кимберлитовой трубки Ермаковская-7 соответствуют основным критериям высокой алмазоносности. Среди мантийных источников пород трубки в заметном количестве до 25 % диагностированы шпинель-гранатовые дунит-гарцбургитовые парагенезисы, сформировавшиеся в области стабильности алмаза в условиях крайне низкого мантийного теплового потока 35–36 мВт/м² в интервале глубин 41–50 кбар. Подошва литосферы в этом регионе была ограничена глубинами 190 км (60 кбар) и включала в себя нижний маломощный слой, сложенный более высокотемпературными и титанистыми ассоциациями катаклазированных перидотитов, которые сформировались в области стабильности алмаза при немного более высоком мантийном тепловом потоке – 42 мВт/м². Полученные данные указывают на вероятное некоторое недоизвлечение алмазов при выполненным ранее опробовании пород трубки и существенно повышают алмазоносный потенциал центральной части Кольского полуострова, в том числе отдельных участков Терского берега.

Ключевые слова: алмазоносность, пироп, шпинель, хромдиопсид, кимберлиты, мантийный тепловой поток, литосфера, геотерма.

Считается, что кимберлиты трубки Ермаковская-7 Терского берега Кольского полуострова, по данным крупнообъемного опробования, выполненного в 2002 г. ОАО «ЦКЭ», являются убого алмазоносными (0,03 карат/т). Из пробы весом 55 т были извлечены 105 кристаллов алмаза в размерном классе -2+0,5 мм. Опробованные кимберлиты по физико-механическим свойствам отличались высокой прочностью и были представлены слюдяными разновидностями гипабиссальной фации и переходными фациями от гипабиссальных к диатремовым. Среди индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) трубки преобладают мелкие зерна пироп-шпинель-хромдиопсидовой ассоциации (таблица).

Таблица. Составы ИМК тр. Ермаковская-7, полученные разными методами обогащения

Методы обогащения и компания	Гравитационное стол, ОАО «ЦКЭ»		Тяжелосредная сепарация, Де Бирс		Кислотное растворение, Де Бирс	
Вес пробы	12,8 кг		5,2 кг		8 кг	
Метод определения ИМК и класс крупности	визуально, -1 +0,1 мм		визуально, -2 +0,3 мм		проверено на зонде, -1 +0,15 мм	
Минералы	количество зерен	% от общего	количество зерен	% от общего	количество зерен	% от общего
Пироп	101	59,1 %	5	26,3 %	245	41,2 %
Пикроильменит	0	0,0 %	0	0,0 %	7	1,2 %
Шпинель	50	29,2 %	9	47,4 %	243	41,0 %
Cr-диопсид	20	11,7 %	5	26,3 %	100	16,8 %
Алмаз	0	0,0 %	0	0,0 %	0	0,0 %
Итого ИМК	171	100,0 %	19	100,0 %	595	100,0 %

Первоначально представлялось, что низкий выход зерен ИМК в тяжелой фракции коррелирует с низкой алмазоносностью трубки. Однако, при повторном минералогическом опробовании кимберлитов с применением методов кислотного растворения компания Де Бирс установила довольно высокое содержание ИМК. В пробах также был диагностирован пикроильменит, который визуально из-за малого размера определялся в качестве шпинели. Такое различие выхода зерен ИМК в концентратах проб в зависимости от класса крупности и метода обогащения связан с высокой степенью келифитизации пиропов и широко проявленного срастания зерен ИМК со слюдой основной массы. Неполное раскрытие зерен ИМК при стандартном методе обогащения на гравитационном столе приводило к их большой потери в хвостах обогащения. Вполне возможно, что низкая степень раскрытия зерен при дроблении механически высокопрочных проб кимберлитов приводила также и к занижению содержаний алмазов.

В связи с возможным неполным извлечением алмазов для оценки потенциала алмазоносности тр. Ермаковская-7 было проведено всестороннее изучение составов всех выделенных зерен ИМК на микрозонде. Дополнительно составы пиропов были исследованы методом ЛА-ИСП-МС, а шпинели изучены на протонном зонде (GEMOC) с целью определения температуры их образования по содержанию Zn и Ni. При изучении представительной коллекции пиропов в объеме 264 зерен было выявлено большое количество (до 25 %) гранатов типа G10 дунит-гарцбургитовой ассоциации (рис. 1). Такая высокая доля G10 характерна для высоко- и умеренно-алмазоносных пород. Среди пиропов практически отсутствуют составы пиропов из лерцолитов аномальной ассоциации (ЛАС), которые обычно встречаются в неалмазоносных кимберлитах. Все составы пиропов лерцолитовой ассоциации (G9 и G5) имеют низкие содержания CaO, и их фигуративные точки состава на графике образуют узкую полосу, прижатую к границе пиропов гарцбургитовой ассоциации, что также характерно для лерцолитовых алмазоносных источников.

Составы высокохромистых шпинелей указывают на алмазоносность кимберлитов тр. Ермаковская-7. Заметное количество высокохромистых шпинелей, как низко-Ti ксенолитовой серии (TiO_2 < 0,7 вес. %), так и высоко-Ti метасоматическо-магматической серии, попадают в область составов включений и сростков с алмазами (рисунки 1 и 2). Высоко-Ti шпинели с пониженным содержанием MgO < 9 вес. % образуют характерный эволюционный тренд, совпадающий с составами магматических шпинелей из слюдяных кимберлитов второй группы и лампроитов. Рассчитанные температуры образования шпинелей на основе Zn-геотермометра образуют одномодальное распределение в температурном интервале 800–1150 °C, а единичные зерна дают температуру до 1250 °C (см. рис. 2). Повышенная верхняя граница температуры образования шпинелей указывает на то, что для условий мантийного теплового потока 36–38 мВт/м^2 глубина их существования в мантии может достигать отметок 55 Кбар (рис. 3).

Рассчитанные параметры глубины и температуры образования пиропов низко-Ti серии (TiO_2 < 0,4 вес. %) и хромдиопсидов с применением необходимых процедур фильтрации составов по соответствующим одноминеральным геотермометрам и геобарометрам дают согласо-

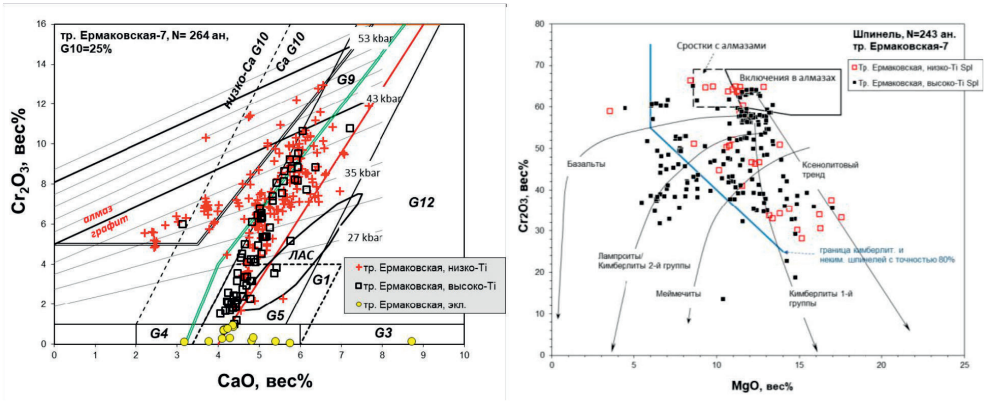


Рис. 1. Графики состава пиропов (слева) в координатах CaO–Cr_2O_3 и шпинелей (справа) MgO–Cr_2O_3 из кимберлитов тр. Ермаковская-7

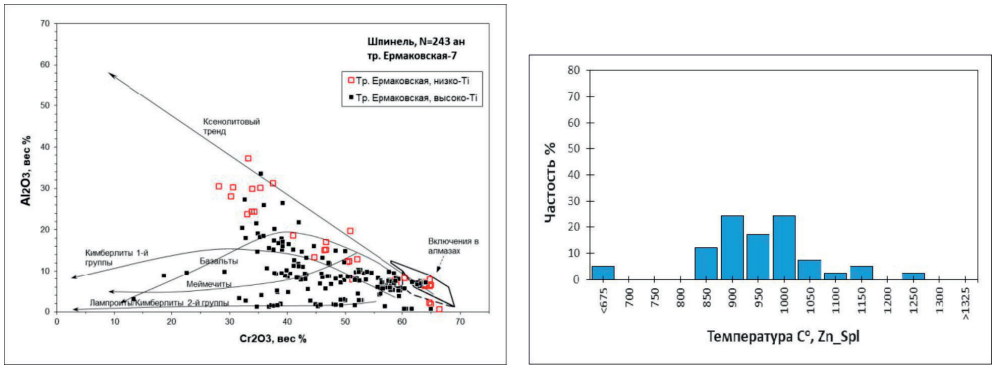


Рис. 2. Графики состава шпинелей (слева) в координатах Al_2O_3–Cr_2O_3 из кимберлитов тр. Ермаковская-7 и рассчитанных температур образования шпинелей (справа)

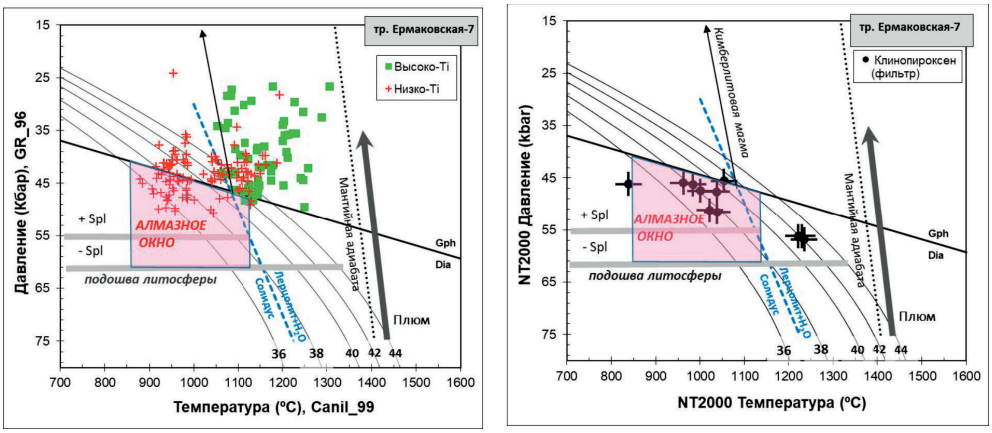


Рис. 3. Рассчитанные температуры и давления образования пиропов (слева) и хромдиопсидов (справа) из кимберлитов тр. Ермаковская-7

ванные значения в интервале давлений 41–53 Кбар и в интервале температур 850–1050 °C (см. рис. 3). С учетом присутствия в этом температурном интервале равновесной шпинели использованные для пиропов расчетные модели обладают высокой степенью надежности. Полученные по пиропам и хромдиопсидам термо-барометрические параметры для малоглубинной области стабильности алмазов аппроксимируются мантийным тепловым потоком со значениями 35–36 мВт/м^2 по модели Полока и Чапмана (1977).

Рассчитанные давления для высоко-Ti пиропов (TiO_2 > 0,4 вес. %) и части низко-Ti пиропов, характеризующиеся повышенными температурами образования более 1100 °C, дают отскок в область низких давлений от теоретических параметров, которые могли быть в равновесных условиях при значениях мантийного теплового потока 36–38 мВт/м^2. Пониженные значения дав-

лений для высототемпературной группы пиропов являются артефактом, поскольку в их минеральной ассоциации по температурным критериям не диагностируется шпинель, и расчетная модель, по которой должна присутствовать равновесная шпинель, к ним неприменима. Такие высокотемпературные (> 1100 °С) мантийные источники для ассоциации высокотитанистых пиропов с наибольшей степенью вероятности были представлены бесшпинелевыми катаклазированными лерцолитами.

Глубины образования мантийных источников в высокотемпературной области определяются по данным мономинерального геотермобарометра клинопироксена, который инвариантен по отношению к шпинели (см. рис. 3). Рассчитанные по клинопироксену давления составляют 57 Кбар и аппроксимируются значением мантийного теплового потока 42 мВт/м^2. Соответственно, катаклазированные лерцолиты с высокотитанистым пиропом остаются в области стабильности алмаза, и это в целом является благоприятным признаком алмазоносности кимберлитов тр. Ермаковская-7. Таким образом, в температурном интервале 1100–1150 °С намечается место перегиба региональной геотермы мантийной литосферы. Этот перегиб геотермы совпадает с изменением глубин минеральных ассоциаций с вышерасположенных шпинель-гранатовых гарцбургитов и низкотитанистых лерцолитов на более глубинные бесшпинелевые катаклазированные лерцолиты с высокотитанистым пиропом. Точка перегиба геотермы мантийной литосферы (1125 °С) и верхняя точка (850 °С) пересечения мантийного теплового потока 36 мВт/м^2 с графит-алмазным равновесием определяет температурный интервал алмазного окна, область которого наиболее благоприятна для роста и сохранности алмазов в литосферной мантии региона. Такой широкий температурный интервал в 275 °С характерен только для высокоалмазоносных источников кимберлитов.

Пересечение выположенной региональной геотермы с линией мантийной адиабаты определяет глубину границы подошвы мантийной литосферы данного региона в 190 км или 60 Кбар. Само выполаживание региональной геотермы на глубинах свыше 55 Кбар, очевидно, связано с определенным температурным воздействием астеносферной мантии и поднимающегося мантийного плюма Кола.

Таким образом, изученные составы породообразующих и редких элементов пиропов, шпинелей и хромдиопсидов из кимберлитовой трубки Ермаковская-7 соответствуют основным критериям высокой алмазоносности. Полученные данные предполагают вероятность недоизвлечения алмазов при выполненном крупнообъемном опробовании пород трубки и существенно повышают алмазоносный потенциал центральной части Кольского полуострова, в том числе отдельных участков Терского берега.

Махоткин И. Л.
ФГБУН «ИГЕМ РАН», г. Москва

ВОЗРАСТ И МОДЕЛЬ СТАНОВЛЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ И ПОЛЕЙ РАССЕЯНИЯ ИМК МЕНДА-БАРЫЛАЙСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Слабо эродированные трубки взрыва кимберлитов Менда-Барылайского алмазоносного района имеют силурийский возраст (425–431 млн лет по U-Pb перовскита и апатита основной массы) и являются самым ранним проявлением кимберлитового магматизма Якутской алмазоносной провинции. Все индикаторные минералы кимберлитов (ИМК) в разрезе кратерных частей трубок взрыва претерпели интенсивные диагенетические изменения, в результате чего из их ассоциаций практически полностью исчезает пикроильменит, являющийся ведущим минералом в нижележащих диатремовых фациях кимберлитов. При этом резко возрастает роль высокохромистых хромшпинелидов. Диагенетические изменения протекали при постоянном увлажнении в условиях гумидного тропического литогенеза (коры выветривания каолинового типа) и сопровождались широким развитием сидерита вплоть до формирования сидерититовых шляп. Диагенетические изменения ИМК, выразившиеся в общем уменьшении их количества в результате их растрескивания, растворения и формирования «кубоидов» пиропа, протека-

ли и по первичным терригенным коллекторам и карстовым отложениям. По этой причине в раннеюрских песчаниках, залегающих на кимберлитовых трубках (пироп и пикроильменит), встречаются в исчезающе малом количестве, и они формируют очень малые по размеру ореолы рассеяния (до 5–10 км). Проведенные исследования существенно расширяют временной этап диагенетических преобразований ИМК Сибирской платформы (до 70 млн лет) по сравнению с хронологическим репером позднедевонской латеритовой коры выветривания центральных частей Сибирской платформы.

Ключевые слова: кимберлит, кратер, диатрема, пикроильменит, пироп, шпинель.

U-Pb изотопные данные (метод LA-MS), по перовскиту и апатиту из основной массы лапиллей слюдяных и обогащенных карбонатом кимберлитов трубок взрыва Атырдах и им. А. Смелова Менда-Барылайского алмазоносного района (МБАР), соответствуют позднесилурийскому возрасту (425–431 млн лет) становления кимберлитовых тел. Вместе с тем полученный конкордатный 206Pb/238U возраст по «кимберлитовым» цирконам трубок Атырдах и им. А. Смелова методом SHRIMP образует узкий временной интервал значений 485,1–486,6 млн лет, что соответствует границе кембрия и ордовика. Судя по тому, что большинство зерен «кимберлитовых» цирконов имеют реакционные каймы бадделита и подобные зерна «кимберлитовых» цирконов встречаются в виде включений в крупных (2–3 см) мегакристах пикроильменита, кембрийские даты кимберлитовых цирконов представляют собой возраст мантийного метасоматоза, который предшествовал формированию мантийных источников кимберлитов МБАР.

Кимберлитовые тела МБАР имеют небольшие размеры (150–300 м) и сложное внутреннее строение. На уровне палеоповерхности площадь трубок варьирует от 1,5 до 7 Га. В верхних частях трубок взрыва Манчары, Атырдах и им. А. Смелова впервые для этой области магматизма были выявлены типично эпикластические кратерные фации кимберлитов мощностью от 5 до 25 м, которые, как правило, подстилаются ксенолитовым слоем (до 5 м) брекчий. Ксенолитовый слой состоит из крупных притертых друг к другу глыб известняков с очень незначительным количеством кимберлитового материала. В зависимости от кимберлитового тела эпикластическая кратерная толща ложится либо только на туффизитовые кимберлиты (ТК) диатремовой фации (тр. Манчары), либо на довольно мощную толщу (до 130 м по вскрытому разрезу) первичных вулканокластических кимберлитов (ВКК) первой фазы внедрения и ТК второй фазы внедрения – тр. Атырдах и тр. им. А. Смелова. В тр. Атырдах стратиграфически ниже толщи ВКК первой фазы внедрения вскрыт шток брекчий магмакластических кимберлитов (МКК) гипабиссальной фации, сложенный смесью крупноглыбовой брекчии известняков с цементом МКК. Шток МКК в свою очередь прорывается многочисленными дайками (мощностью 0,1–2 м) когерентных кимберлитов (КК) гипабиссальной фации, представленных двумя контрастными петрографическими разновидностями: обогащенными карбонатом кимберлитами и слюдяными кимберлитами. Этот шток МКК с системой даек КК представляют собой корневую очаговую часть для разреза первой фазы внедрения трубки взрыва Атырдах. В тр. Атырдах породы первой фазы внедрения прорываются туффизитовыми кимберлитами (ТК) диатремовой фации второй фазы внедрения. Межкластический матрикс в таких ТК имеет базальный тип строения и преимущественно сложен магматическим карбонатом с примесью апатита, а на отдельных участках сложен чистым серпентином с примесью тонких иголочек зеленого клинопироксена и флогопита. Граница между ТК второй фазы внедрения и вышележащими ВКК первой фазы внедрения постепенная с заливами внутрь тела вышележащих ВКК. Это указывает на то, что ТК внедрялись в еще не консолидированную вулканокластическую тефру первой фазы внедрения, активно перерабатывая ее, и инкорпорируют в себя более ранний вулканокластический материал. В свою очередь ТК второй фазы и ВКК первой фазы внедрения прорываются маломощными дайками когерентных обогащенных карбонатом кимберлитов. Дайки слюдяных кимберлитов в этой части разреза практически отсутствуют, что указывает на то, что формирование ТК диатремовой фации было преимущественно связано с последними порциями магмы обогащенных карбонатом кимберлитов.

Среди туффизитовых кимберлитов тр. Манчары выделяются две разновидности пород: ТК с преимущественно с апатит-карбонатным матриксом (первая фаза внедрения) и ТК с преимущественно апатит-флогопит-серпентиновым матриксом (вторая фаза внедрения). ТК второй

фазы внедрения занимают центральную стержневую часть трубки Манчары. Они исключительно насыщены мантийными ксенолитами катаклазированных и крупнозернистых гранатовых перидотитов, которые образуют линзы (мощностью до 10 м) притертых друг другу мантийных ксенолитов, размером от 0,1 до 0,3 м.

Среди индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) трубок взрыва Манчары, Атырдах и им. А. Смелова в диатремовых и первично вулканокластических фаций резко преобладает типично кимберлитовый пикроильменит, количество которого достигает 60 % веса ТФ. Количество пиропа в зависимости от класса крупности варьирует от единичных зерен на 1 кг породы до 700 зерен (или первых вес.%) во всех трубках взрыва, в то время как хромшпинелид встречается существенно реже, едва достигая первую сотню зерен для суммы всех классов крупности. Большинство зерен ИМК (за исключением алмаза) овализированы, и они, как правило, имеют шероховатую поверхность. На зернах пиропа нередко отмечается субкелифитовый микрорельеф растворения, а пикроильмениты часто окаймлены короной срастания зерен перовскита, ферришпинелида и еще более магнезиального пикроильменита. Среди шпинелидов в равном количестве встречаются гладкогранные октаэдрические зерна, мериоэдры и овализированные октаэдры с широко развитым микрорельефом растворения по ребрам и вершинам зерен и с сохранившимися реликтами гладких граней. Такие участки магматогенного растворения шпинелидов могут охватывать до 60–80 % поверхности зерен, проявляясь в многочисленных мельчайших черепитчато уложенных тригональных гранях новообразованной шпинели.

В кратерных отложениях трубок взрыва резко меняются количественные соотношения зерен ИМК по сравнению с подстилающим материалом диатремовых фаций. Здесь почти полностью исчезает пикроильменит, а обнаруженные в кратерных отложениях тр. Манчары редкие зерна пикроильменита практически полностью замещены мощной лейкоксеновой каймой при полном сохранении первичной морфологии зерен пикроильменита (рис. 1, 2).

Преобладающим типом поверхности зерен шпинелидов кратерных фаций являются «наждачный» микрорельеф (рис. 4), который маскирует следы первично магматогенного растворения шпинелидов и развивается по всей поверхности зерен, включая гладкие грани кристаллов. Интенсивное формирование «наждачного» микрорельефа сопровождается увеличением содержаний хрома и снижения магния в общей выборке анализов. Смешанная встречаемость в отложениях кратера измененных зерен хромшпинелида и совершенно свежих гладкогранных октаэдров указывает на то, что такая ассоциация ИМК образовывалась за счет материала туфовых колец, в верхних частях разреза которых активно развивалась кора выветривания. Этот материал периодически сползал и обрушался в седиментационный центр кратерных озер и осевых депрессий трубок взрыва, обнажая при этом и свежие неизмененные нижние горизонты кимберлитов туфовых колец трубок взрыва, откуда и поступали в эпикластические кратерные отложения гладкогранные кристаллы, образуя смешанную популяцию зерен шпинелидов. Накопление эпикластических кратерных толщ сопровождалось обильным отложением сидерита, который совместно с серпентином и примазками глинистых минералов слагает основную массу этих кратерных толщ.

В верхнепалеозойско-раннемезозойских сидеритсодержащих глыбово-глинистых отложениях карста, развитого по всей территории кимберлитового магматизма и в перекрывающих триас-юрских отложениях угленосных терригенных осадочных коллекторах Иреляхской и Укугутской свит, помимо вышеописанных форм диагенеза зерен шпинелидов и пиропов, практически в каждой пробе встречаются зерна прекрасно выраженных «кубоидов» пиропов и пироп-альмандинов (рис. 5). Такие полностью сформированные «кубоиды» гранатов не встречаются в отложениях кратерных фаций трубок взрыва. Все это указывает на длительность и многостадийность процессов диагенеза зерен ИМК в среднем палеозое на территории Менда-Барылайского алмазоносного района. Очевидно, процессы диагенезиса зерен ИМК развивались под воздействием прежде всего химических факторов гумидного тропического климата. Полное завершение растворения зерен ксеногенных гранатов до равновесных форм «кубоидов», вероятнее всего, было ограничено временем формирования исчезнувших, но вполне реконструируемых первичных осадочных коллекторов.

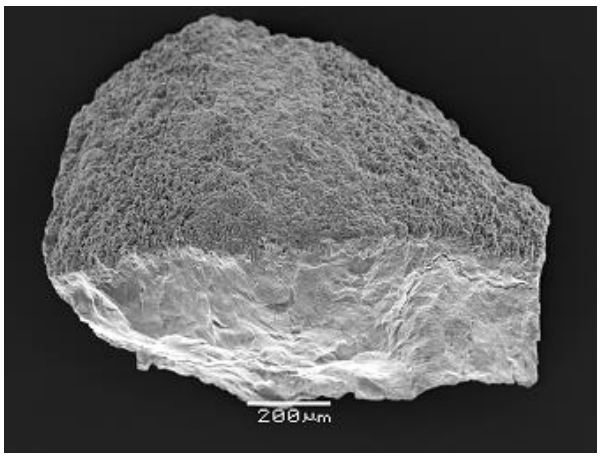


Рис. 1. Общий вид овального зерна пикроильменита с рыхлым микрорельефом лейкоксенизированной каймы, кратерные отложения (зерно № 1; проба М0702-104,5; тр. Манчары)

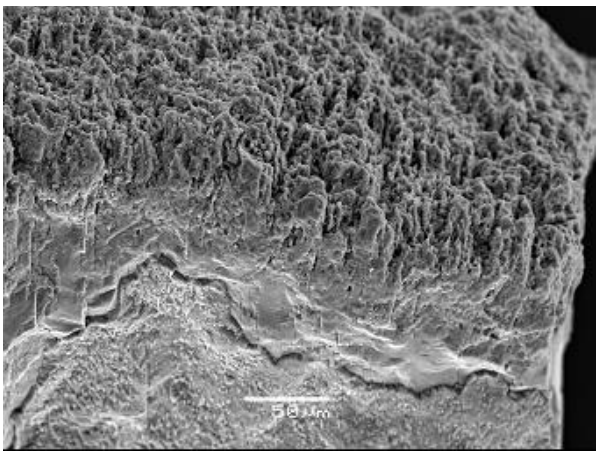


Рис. 2. Детали строения фрагмента лейкоксенизированной каймы зерна № 1, структура многочисленных субпараллельных микротрещин (проба М0702-104,5; тр. Манчары)

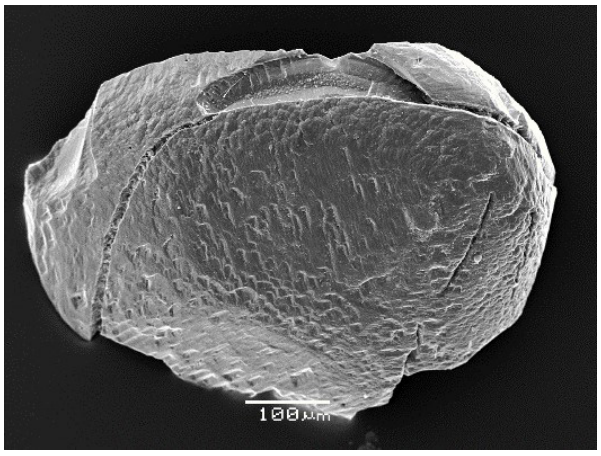


Рис. 3. Общий вид гипергенного растресканного овального зерна пиропа с пирамидально-черепитчатым микрорельефом и начальной стадией формирования единичных каналов травления, верхнекртерные отложения (проба 1814-147,2-148,0; тр. им. А. Смелова)

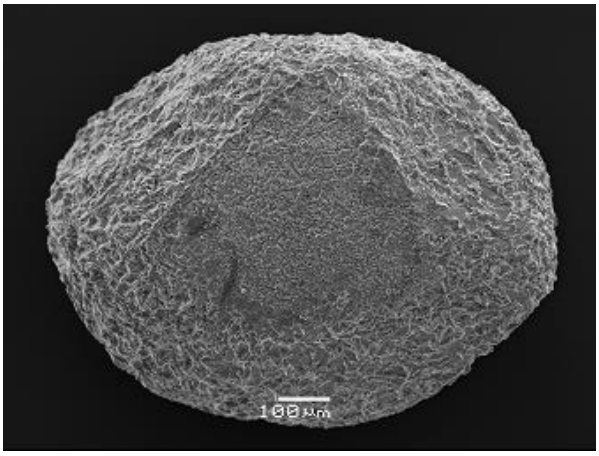


Рис. 4. Гипергенный коррозионный «наждачный» микрорельеф, развивающийся по изометричному октаэдрическому кристаллу хромшпинелида «округлого» облика, кратерные отложения (проба М0702-104,5; тр. Манчары)

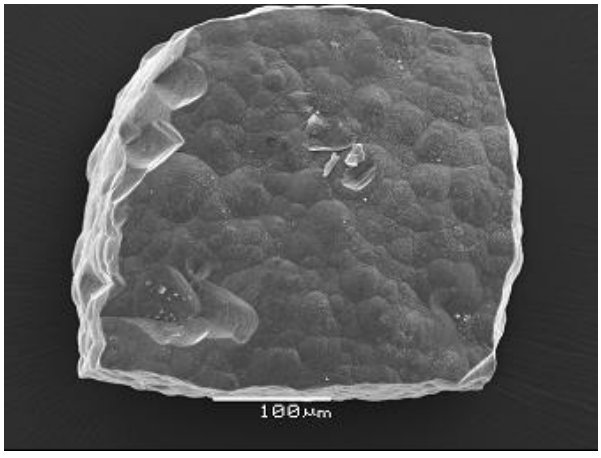


Рис. 5. Общий вид «кубоида» пироп-альмандина с каплевидным микрорельефом поверхности, базальные отложения крупнозернистых J_1 песчаников Укугутской свиты (проба 1701-148-156,6; тр. Атырдах)

Махоткин И. Л.
ФГБУН «ИГЕМ РАН», г. Москва

ПАРАГЕНЕЗИС ВЫСОКОАЛМАЗОНОСНЫХ СЛЮДЯНЫХ КИМБЕРЛИТОВ И НЕАЛМАЗАНОСНЫХ ОЛИВИНОВЫХ МЕЛИЛИТИТОВ В ТРУБКЕ ВЗРЫВА КАРПИНСКОГО-1 ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Детальное исследование петрографии, геохимии и Sr-Nd-Pb изотопного состава автолитов из различных фаз внедрения высокоалмазоносной трубки взрыва Карпинского-1 позволило установить, что значительный объем этой трубки в первых фазах внедрения был сформирован магмами неалмазоносных низко-Ti мелилититов, подобных мелилититам Ижмоозерского и Верхотинского эруптивных полей Зимнебережного алмазоносного района Архангельской провинции. Парагенезис низко-Ti оливиновых мелилититов совместно с низко-Ti слюдяными кимберлитами в трубке Карпинского-1 не является исключением для Зимнебережного алмазоносного района. Такой же парагенезис пород был установлен нами для ранних фаз внедрения в трубках взрыва Карпинского-2 и Пионерской в пределах Ломоносовского месторождения алмазов.

Ключевые слова: Кимберлиты, мелилититы, трубка взрыва, литосферные мантийные источники, алмазоносность.

С целью выяснения причин существенного различия алмазоносности (от 0,005 до 2,5 карат/т) различных фаз внедрения эруптивно-кластических пород диатремы трубки взрыва Карпинского-1 Ломоносовского месторождения из разреза каждой такой фазы внедрения были отобраны магмакласты крупнолапиллевой размерности, которые в отечественной литературе принято называть «автолитами», и проведено детальное изучение их петрографии, геохимии и Sr-Nd-Pb изотопного состава. Такое исследование магмакластов позволяет наиболее надежно определить различия первичного состава магматического расплава, под воздействием которого сформировались эруптивно-кластические породы, существенно различающиеся между собой количеством ксеногенного корового материала, количеством и типом межкластического матрикса.

По результату изучения обширной коллекции шлифов, образцов пород и керна скважин, пройденных по диатреме трубки Карпинского-1, были выделены 6 фаций эруптивно-кластических фаций, показанных на разрезе (рис. 1). Данный разрез был составлен на основании трехмерного моделирования с учетом всей базы данных разведочных скважин до 1985 г., а также заверочных скважин и скважин большого диаметра, пробуренных компанией Де Бирс в период 1998–1999 гг. Приведенная модель строения трубки и ее терминология заметно отличаются от модели, принятой при подсчете запасов алмазов в ГКЗ СССР в 1985 г. Принятая в нашем исследовании терминология эруптивно-кластических фаций максимально приближена к терминологии международной классификации кимберлитов.

Ксенотуфобрекчии 1-й фазы внедрения (красный цвет на разрезе) были переклассифицированы в литовулканокластиты мелилититов (красно-коричневые ЛВМ), поскольку все магмакласты этой толщи по петрохимии и петрографии относятся к мелилититовой группе пород. Приставка «лито» означает, что количество ксеногенного корового материала варьирует в этом типе пород в пределах 30–75 %. Но даже при самом высоком проценте ксеногенного материала здесь до абсолютных глубин -500 м фиксируются типичные пирокластические текстурные образования в виде амебовидных форм магмакластов и аккреционных пизолитовых лапиллей. Последние обычно образуются только в условиях фреатомагматического стиля извержения, когда тончайшая вулканическая пыль выбрасывается выше земной поверхности в охлажденную водно-воздушную среду и в дальнейшем налипает на поверхность любых падающих более крупных обломков, формируя при этом зональные ажурные кольцевые текстуры. Эти факты, а также присутствие в разрезе линз переотложенных литовулканокластитов, углистых обломков и крупноглыбовых брекчий верхневедских песчаников и алевролитов позволяет идентифицировать эту толщу в качестве первично кратерных отложений.

Среди крупных магмакластов этой толщи в основной массе наиболее раскристаллизованных разновидностей присутствуют лейсты измененного мелилита с характерным двойнико-

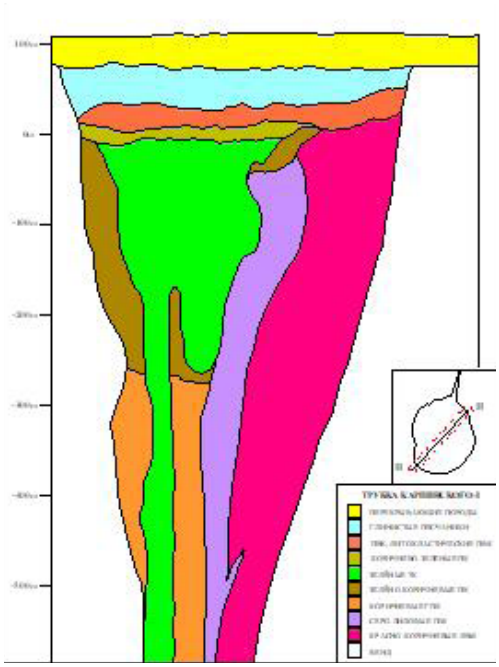


Рис. 1. Геологический разрез трубки взрыва Карпинского-1 по линии II-II

вым швом (рис. 2, 3). В афировых разновидностях магмакластов мелилит оптически не наблюдается. Однако независимо от присутствия или отсутствия мелилита в основной массе все исследованные магмакласты этой вулканокластической толщи по своему химическому составу представляют единую группу низко-Ti пород натровой серии (K_2O/Na_2O = 0,4–1) с пониженным содержанием MgO (17 мас. %), SiO_2 (35 мас. %) и повышенным содержанием CaO и CO_2, и они полностью соответствуют составам милититов даек Терского Берега Кольского полуострова, мелилититам трубок взрыва Онежского полуострова и неалмазоносным флогопит-оливиновым мелилититам эруптивного поля Намаквеленд на западе Южной Африки.

Примыкающий к мелилититовым литовулканокластитам вертикальный блок пород, обозначенных на разрезе трубки сиреневым цветом (см. рис. 1), ранее был отнесен к неалмазоносным разновидностям кимберлитов поскольку породы этого блока на 95 % состоят из мантийного материала (магмакластов разной размерности, обломков оливина и содержащий клинопироксен серпентин-сапонитовой матрицы), кластический кварц здесь отсутствует. На основании изучения магмакластов эти породы идентифицированы нами в качестве пирокластических оливиновых мелилититов (серо-лиловые ПМ). Все изученные магмакласты по своему химическому составу представляют единую группу низко-Ti пород натровой серии (K_2O/Na_2O = 0,4–0,77) с повышенным содержанием Na_2O (2,3 мас.%), MgO (21 мас. %), SiO_2 (45 мас. %) и умеренным содержанием CaO и CO_2. Составы магмакластов этого вертикального блока пород отличаются от мелилититов 1-й фазы внедрения трубки Карпинского-1 своим более примитивным составом, соответствующим составам неалмазоносных мелилитовых пикритов из трубок взрыва Терского Берега Кольского полуострова и Ижмоозерского и Верхотинского эруптивных полей Зимнебережного алмазоносного района.

Видимый магматический клинопироксен и измененный мелилит были идентифицированы в основной массе некоторых магмакластов пород этого блока трубки Карпинского-1 (рис. 4 и 5).

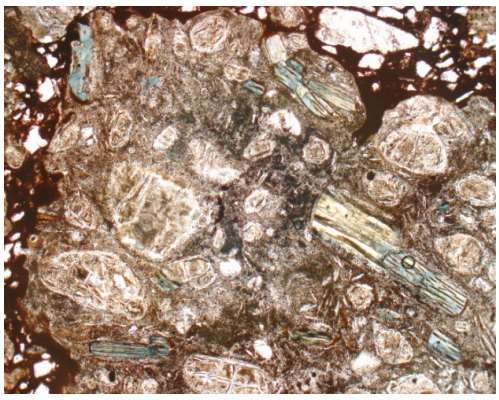


Рис. 2. Амебоидный магмакласт порфирового флогопит-оливинового мелилитита с вкрапленниками оливина 2-й генерации и крупными вкрапленниками флогопита. Микролиты оливина и флогопита в основной массе магмакласта отсутствуют. Скв. 253, гл. 315 м, размер поля 3,4 мм



Рис. 3. Внутреннее строение магмакласта флогопит-оливинового мелилитита с вкрапленниками оливина 2-й генерации и флогопита. Магмакласт имеет глобулярно-сегрегационную структуру. Сегрегации выполнены магматическим кальцитом, а ядра глобулей представлены вкрапленниками оливина и флогопита, вокруг которых тангенциально вытянуты тонкие таблички измененного мелилита. Скв. 253, гл. 315 м, размер поля 1,7 мм

Помимо мелилита постоянное присутствие клинопироксена в основной массе магмакластов исключает кимберлитовую природу этих пород. С увеличением содержания микролитов оливина и пироксена в основной массе магмакластов мелилит практически исчезает. Хотя этот блок пород не выходит под основание верхнекратерной эпикластической толщи трубки Карпинского-1 и срезается кимберлитами, первично пирокластическая природа этих пород идентифицируется по морфологии магмакластов, имеющих округло-вогнутые и слабоамебовидные формы с тончайшей каймой темного тонкотуфового материала, и по присутствию остроугольной вулканокластики мелкотуфовой размерности в матриксе брекчий. Можно считать, что эти пирокластические оливиновые мелилититы слагали собой вулканический канал, связанный в своем развитии с первично кратерными отложениями красно-коричневых мелилититовых литовулканокластитов кратерной фации, и они также должны быть отнесены к 1-й фазе внедрения трубки Карпинского-1.

Вторая и третья фазы внедрения трубки Карпинского-1 сложена разнообразными коричневыми пирокластическими слюдяными кимберлитами (ПК) (рис. 6) и зелеными туффизитовыми слюдяными кимберлитами (ТК) (рис. 7), которые различаются между собой типом и составом межкластического матрикса, что указывает на разный эруптивный механизм их формирования. Несмотря на это текстурное различие, крупные магмакласты в обоих разновидностях кимберлитов имеют весьма схожее строение и состав. Они, как правило, представлены округлыми шарами с многозональным планетарным внутренним строением. Широкая мантия кимберлита магмакласта обволакивает ядра, представленные либо обломком глинистых пород венда, либо крупным макрокристом оливина 1-й генерации, либо афировым пирокластом кимберлита с вогнуто-округлыми формами и черной непрозрачной каймой тонко-туфового материала с микролитами оливина.

По своему химическому составу все магмакласты ПК и ТК образуют заметно отличную от мелилититов единую группу низко-Ti пород высококалиевой серии (K_2O/Na_2O = 1,6–12) с низким содержанием Na_2O (0,6 мас. %), CaO (3 мас. %) и CO_2 (0,5 мас. %) и умеренным для кимберлитов содержанием MgO (27 мас. %) и повышенным содержанием SiO_2 (42 мас. %), что придает этим магмакластам сходство с промежуточной группой пород между слюдяными кимберлитами 2-й группы и ультраосновными оливиновыми лампроитами. Такую группу пород иногда принято определять в качестве оранжеитов.

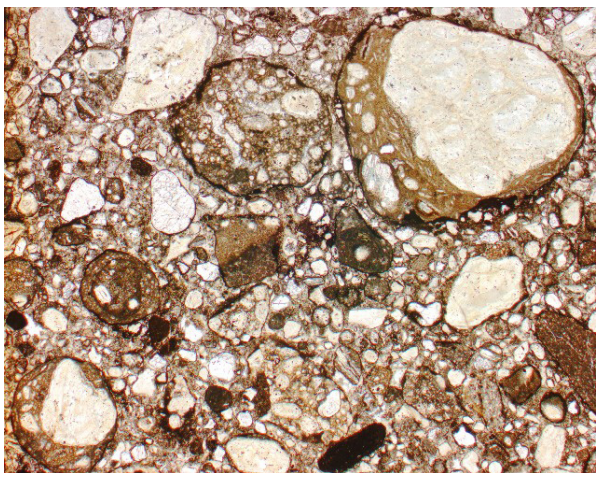


Рис. 4. Серия вогнуто-округлых и слабоамебоидных магмакластов оливинового мелилитита с макрокристом оливина 1-й генерации и микролитами мелилита, клинопироксена и оливина в основной массе магмакластов. Кластический мелкопоровый тип сапонит-серпентинового матрикса. Скв. 223, гл. 225 м, размер поля 6,8 мм

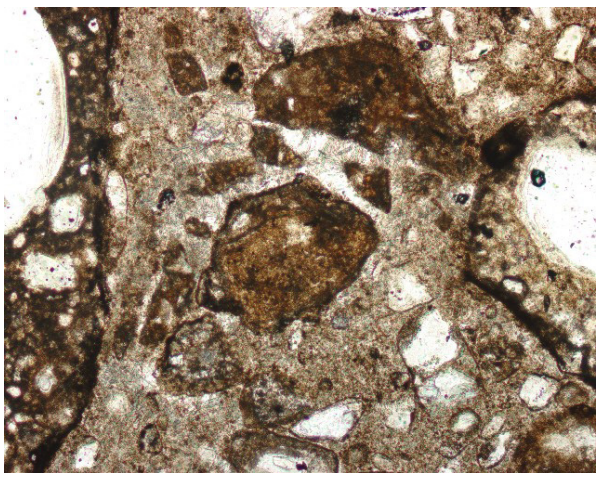


Рис. 5. Остроугольные вулканокласты мелкотуфовой размерности в матриксе пирокластической брекчии. Клинопироксен присутствует в основной массе магмакластов и в значительном количестве в серпентин-сапонитовом матриксе брекчии базального типа. Скв. 66, гл. 420 м, размер поля 1,7 мм

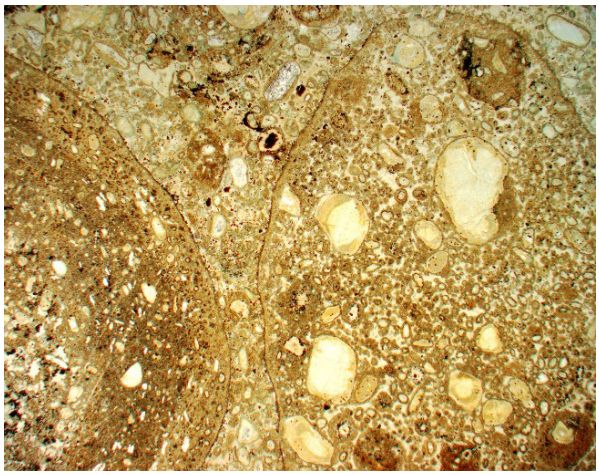


Рис. 6. Два типа магмакластов слюдяных кимберлитов в коричневых пирокластических кимберлитах (ПК) 2-й фазы внедрения. Скв. LD7, гл. 392 м, размер поля 13,6 мм

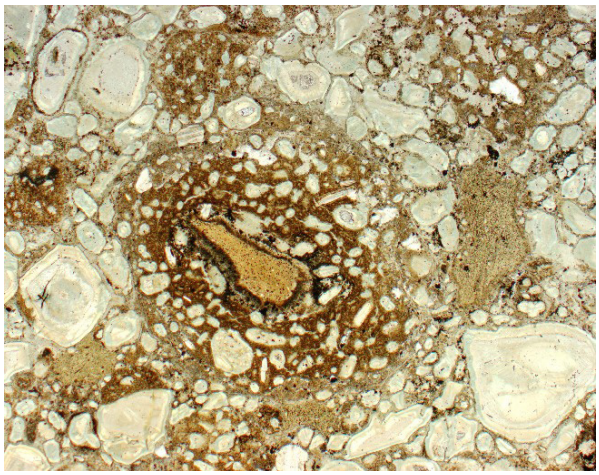


Рис. 7. Магмакласт слюдяного кимберлита в зеленных туфизитовых кимберлитах (ТК) 3-й фазы внедрения. Скв. 51б, гл. 200 м, размер поля 6,8 мм

По микроэлементному составу магмакласты слюдяных ПК и ТК заметно отличаются от магмакластов оливиновых и флогопит-оливиновых мелилититов 1-й фазы внедрением более высоких содержаний всех щелочных, щелочноземельных, высокозарядных элементов и легких лантаноидов и чуть более низкими содержаниями тяжелых лантаноидов, что в целом указывает на более сильное влияние мантийного метасоматоза на субстрат мантийных очагов слюдяных кимберлитов по сравнению с таковым для мелилититов трубки Карпинского-1. Изотопные составы Sr, Nd и Pb магмакластов флогопит-оливиновых мелилититов, оливиновых мелилититов и слюдяных кимберлитов ПК и ТК трубки Карпинского-1 образуют три индивидуальные группы в области отрицательных значений эпсилон Nd и положительных значений эпсилон Sr, что свидетельствует о существовании трех независимых древних литосферных мантийных источников в очаговой системе трубки Карпинского-1. Наиболее высокое значение радиоактивного Sr в ранних флогопит-оливиновых мелилититах при низких абсолютных низких содержаниях в них Rb и равных Rb/Sr отношениях по сравнению со слюдяными кимберлитами свидетельствует о том, что малоглубинные литосферные мантийные источники были подвержены древнему преимущественно флогопитовому метасоматозу, а более глубинные алмазоносные литосферные мантийные источники слюдяных кимберлитов не были подвержены древнему флогопитовому метасоматозу. Из этого следует, что крайне высокие содержания щелочных элементов в слюдяных кимберлитах трубка Карпинского-1 связаны исключительно с молодым флогопит-карбонатитовым метасоматозом, который непосредственно предшествовал акту генерации расплавов слюдяных кимберлитов и, возможно, являлся причиной этого, поскольку понижал температуру плавления подошвы древней литосферной мантии.

Таким образом, единая очаговая магматическая система трубки им. Карпинского-1 при первичном нагреве дренирует магматические расплавы флогопит-оливиновых мелилититов из верхних обогащенных Rb неалмазоносных горизонтов литосферной мантии, а только затем по мере деплетирования из этой области питающего канала на поверхность прорываются расплавы оливиновых мелилититов жерловой фации с более низкими значениями радиоактивного Sr. При понижении термального эффекта плюм-литосферного взаимодействия и понижении температуры плавления более глубинных алмазоносных горизонтов древней литосферной мантии под воздействием флогопит-карбонатитового метасоматоза на поздних стадиях этого процесса начинают образовываться расплавы алмазоносных слюдяных кимберлитов. Судя по появлению положительных значений эпсилон Nd (+4) в единичном магмакласте слюдяных кимберлитов ТК в последней 3-ей фазе формирования трубки в питающем канале этой магматической системы начинает возрастать влияние еще более глубинного астеносферного источника типа OIB, характерного для высоко-Ti кимберлитов Кепинского поля Зимнебережного алмазоносного района.

Парагенезис низко-Ti оливиновых мелилититов совместно с низко-Ti слюдяными кимберлитами в трубке Карпинского-1 не является исключением для Зимнебережного алмазоносного района. Такой же парагенезис пород был установлен нами для ранних фаз внедрения в трубках взрыва Карпинского-2 и Пионерской в пределах Ломоносовского месторождения алмазов.

Милаушкин М. В. [1, 2], **(MilaushkinMV@alrosa.ru),**
Мальковец В. Г. [1, 2], **(MalkovetsVG@alrosa.ru), Гибшер А. А.** [1, 2], **(GibsherAA@alrosa.ru),**
Яковлев И. В. [1, 2], **(YakovlevIgV@alrosa.ru)**
[1] АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Новосибирск,
[2] Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

ТЕРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ, МАНТИЙНЫЕ ГЛУБИННЫЕ РАЗРЕЗЫ И МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАНТИИ ПОД НЕКОТОРЫМИ ТРУБКАМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Исследованы ксенокристаллы клинопироксенов из концентрата тяжелой фракции трубки Юбилейная и ксенокристаллы гранатов из трубок Бобкова, ЦНИГРИ, Щукина, Искорка, Морозовых, Амакинская, Кисмет, Сытыканская и А16/А17. Реконструкция мантийной палеогеотермы под кимберлитовой трубкой Юбилейная выполнена с использованием мономинеральной клинопироксеновой геотермобарометрии и программы FITPLOT. Установлено, что палеогеотерма под трубкой Юбилейная соответствует поверхностному тепловому потоку 34,8 мВт/м^2, а мощность литосферы составляет 230 км. На основе рассчитанных температур равновесия в гранатах и содержания в них Y рассчитаны глубины залегания фундамента деплетированной литосферы («Y-край») под изученными кимберлитовыми трубками. По реконструированной палеогеотерме и «Y-краю» рассчитана мощность алмазного окна для трубок Юбилейная – 75 км, ЦНИГРИ – 60 км, Сытыканская – 60 км, Искорка – 55 км, Бобкова – 47 км, Амакинская – 47 км, Кисмет – 46 км, А16/А17 – 45 км, Щукина – 37 км, Морозовых – 36 км. Химический состав гранатов указывает на три типа метасоматических преобразований литосферной мантии – метасоматоз с участием карбонатитовых расплавов/флюидов (S-образные спектры РЗЭ), метасоматоз с участием силикатных расплавов (обогащение Ti и HFSE) и метасоматоз с участием водно-калиевых флюидов (обогащение Zr, без значительного обогащения Y и HFSE). Установлено преобладание двух типов пород: деплетированных перидотитов и деформированных лерцолитов, метасоматизированных силикатными расплавами. Распределение перидотитовых гранатов по глубине было использовано для построения разрезов мантийных колонн под кимберлитовыми трубками. Установлено, что в разрезе мантии под трубками Морозовых, Щукина, А16/А17, Кисмет, Амакинская, Бобкова с глубин ниже 160–170 км и под трубками Искорка, Сытыканская, ЦНИГРИ с глубин ниже 180–185 км преобладают гранаты из деформированных лерцолитов. На этих глубинах породы подверглись сильному метасоматическому воздействию силикатных расплавов. На глубинах 125–185 км породы подверглись воздействию карбонатитовых расплавов/флюидов и в меньшей степени флогопитового и силикатного метасоматоза. Низкая алмазоносность близлежащих трубок связана как с малой мощностью алмазного окна, так и с более высокой степенью алмазодеструктивного метасоматоза силикатными расплавами.

Ключевые слова: кимберлитовая трубка, мощность литосферы, хромдиопсид, палеогеотерма, перидотитовый гранат, «алмазное окно», метасоматоз.

С целью расширения представлений о строении и составе литосферной мантии под Алакит-Мархинским кимберлитовым полем (АМКП) была оценена палеогеотерма, мощность литосферы и «алмазного окна» под трубкой Юбилейная на основе изучения клинопироксенов из концентрата тяжелой фракции (КТФ). Для характеристики мантийных парагенезисов и по-

строения мантийных колонн распространения разных типов породных ассоциаций в литосферной мантии под кимберлитовыми телами, изучен химический и редкоэлементный состав гранатов из девяти близкорасположенных кимберлитовых трубок: ЦНИГРИ, Сытыканская, Искорка, Бобкова, Амакинская, Кисмет, А16/А17, Щукина, Морозовых.

Химический состав 199 зерен клинопироксенов и 1288 зерен гранатов определялся на приборе Jeol JXA 8100 в ЦКП «Многоэлементных и изотопных исследований» ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Микроэлементный состав 1273 зерен гранатов исследован методом ЛА-ИСПМС в Лаборатории экспериментальной геохимии и петрологии мантии Земли (Геолого-геофизический факультет Новосибирского государственного университета). *PT*-параметры равновесия клинопироксенов рассчитывались с применением термобарометра NT00 [4], а для отбраковки клинопироксенов, не находящихся в равновесии с гранатом и ортопироксеном в условиях мантии, использовались фильтры, предложенные в работах [4, 7]. Мантийная палеогеотерма на момент внедрения кимберлитов ~ 356 млн лет была реконструирована с помощью программы FITPLOT [3]. *PT*-параметры равновесия гранатов рассчитывались с помощью Ni-в-гранате и Cr-в-гранате геотермобарометра [6]. Нижняя граница деплетированной литосферы – «Y-край» определялась на основе рассчитанных температур равновесия гранатов и содержания в них Y. Построение разрезов мантийных колонн осуществлялось по методологии [2, 5].

Мантийная палеогеотерма соответствует тепловому потоку 34,8 мВт/м^2, а мощность литосферы ~ 230 км. Потенциальная мощность «алмазного окна» для трубки Юбилейная составляет 105 км (от 125 до 230 км). Мощность «алмазного окна», определенная по «Y-краю» в гранатах согласно [1] составляет 75 км (от 125 до 200 км). Для того чтобы сравнить палеогеотерму, мощности литосферы и «алмазного окна» под трубками Юбилейная и Удачная была также реконструирована палеогеотерма под трубкой Удачная. Тепловой поток составил 34,7 мВт/м^2, мощность литосферы 233 км, мощность «алмазного окна» 108 км, мощность «алмазного окна», определенная по «Y-краю» согласно [1] составляет 70 км.

В процентном соотношении среди изученных гранатов, согласно классификации [1], большинство зерен (67,6 %) представлено гранатами из лерцолитов, в три раза меньше гранатов из кальциевых гарцбургитов (20,5 %), из низкокальциевых гарцбургитов – 5,3 %, из верлитов – 3,8 %, из низкохромистых гранатов – 2,8 %.

Химический состав гранатов указывает на три типа метасоматических преобразований литосферной мантии – с участием карбонатитовых расплавов/флюидов (S-образные спектры REE), метасоматоза с участием силикатных расплавов (обогащение Ti и HFSE) и метасоматоза с участием водно-калиевых флюидов (обогащение Zr, без существенного обогащения Y и HFSE).

Рассчитанный «Y-край» составляет 1079 °С для трубок Бобкова, ЦНИГРИ – 1163 °С, Щукина – 1041 °С, Искорка – 1090 °С, Морозовых – 1031 °С, Амакинская – 1094 °С, Кисмет – 1017 °С, Сытыканская – 1161 °С, А16/А17 – 1072 °С.

Лерцолитовые гранаты по температурам равновесия подразделяются на две группы. Первая характеризуется умеренными температурами, не превышающими ~ 1100–1150 °С. Вторая группа (T > 1150–1200 °С).

В результате построения глубинных разрезов мантийных колонн установлены глубины распространения гарцбургит-дунитовых гранатов и мощности «алмазного окна» под исследуемыми трубками: ЦНИГРИ (125–185 км), Сытыканская (125–185 км), Искорка (125–180 км), Бобкова (125–172 км), Амакинская (125–172), Кисмет (125–171 км), А16/А17 (125–170 км), Щукина (125–162 км), Морозовых (125–161 км). Установлено, что с глубин 160–170 км в мантийном разрезе под трубками Морозовых, Щукина, А16/А17, Кисмет, Амакинская, Бобкова, а под трубками Искорка, Сытыканская и ЦНИГРИ С глубин 180–185 км преобладают гранаты из деформированных лерцолитов. На этой глубине породы были подвержены сильному метасоматическому воздействию силикатных расплавов. На глубинах 125–185 км породы испытывали воздействие карбонатитовых расплавов/флюидов и в меньшей степени флогопитового и силикатного метасоматоза. Таким образом, низкая алмазоносность близкорасположенных трубок связана как с низкой мощностью «алмазного окна», так и с более высокой степенью алмазодеструктивного метасоматоза силикатными расплавами.

Авторы признательны АК «АЛРОСА» (ПАО) за предоставленные зерна клинопироксенов и гранатов и любезного разрешения на проведение и публикацию исследований. Исследования проводились при поддержке гранта РНФ 22–27–00724.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Griffin W. L. [et al.] The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton // Tectonophysics. – 1999. – Т. 310. – № 1–4. – С. 1–35.
2. Malkovets V. G. [et al.] Diamond, subcalcic garnet, and mantle metasomatism: Kimberlite sampling patterns define the link // Geology. – 2007. – Т. 35. – № 4. – С. 339–342.
3. Mather K. A. [et al.] Constraints on the depth and thermal history of cratonic lithosphere from peridotite xenoliths, xenocrysts and seismology // Lithos. – 2011. – Т. 125. – № 1–2. – С. 729–742.
4. Nimis P., Taylor W. R. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2000. – Т. 139. – С. 541–554.
5. O'Reilly S. Y., Griffin W. L. Imaging global chemical and thermal heterogeneity in the subcontinental lithospheric mantle with garnets and xenoliths: Geophysical implications // Tectonophysics. – 2006. – Т. 416. – № 1–4. – С. 289–309.
6. Ryan C. G., Griffin W. L., Pearson N. J. Garnet geotherms: Pressure-temperature data from Cr-pyrope garnet xenocrysts in volcanic rocks // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1996. – Т. 101. – № B3. – С. 5611–5625.
7. Ziberna L. [et al.] Error sources in single-clinopyroxene thermobarometry and a mantle geotherm for the Novinka kimberlite, Yakutia // American Mineralogist. – 2016. – Т. 101. – № 10. – С. 2222–2232.

Мирошниченко Ю. В.[1, 2] (jul.mrsh@gmail.com),
Воробьев Ю. В.[3] (VorobyevYuV@nornik.ru),
Кокаровцева А. Б.[2] (alinakokarovtseva@mail.ru)
[1] ООО «СЗГГК "Геокомплекс"», г. Санкт-Петербург,
[2] Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург,
[3] ООО «Норникель Технические сервисы», г. Санкт-Петербург

3D-ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ МЕТОДОМ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗОН СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА ВЫЯВЛЕНИЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ЛЕБЯЖНИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

В работе представлены результаты проведения 3D-электротомографии методом вызванной поляризации, которая предложена специалистами компании ООО «Норникель Технические сервисы» и выполнена в летний полевой сезон 2023 г. в Норильском районе сотрудниками компании ООО «СЗГГК "Геокомплекс"». Основной целью работ была разработка экономически целесообразной методики съемки электротомографии ВП-3D, а также оценка возможности ее применения.

Ключевые слова: поиски геофизическими методами, электроразведка, электротомография, сульфидные руды.

Методика проведения работ и аппаратурное обеспечение. Работы выполнялись на участке «Лебяжнинский» в Норильском районе с целью апробации методики 3D-электротомографии ВП для определения морфологии интрузивных образований и локализации зон сульфидной минерализации, перспективных на выявление медно-никелевого оруденения. В административном отношении участок работ находится в Красноярском крае вблизи г. Норильск. Город и его окрестности расположены за полярным кругом и относятся к районам Крайнего Севера. Работы проводились в пределах нижнедевонского соленосно-терригенно-карбонатного горизонта (D1).

Геофизические работы проводились электроразведкой методом вызванной поляризации в модификации трехмерной электротомографии (ЭТ ВП-3D). Для проведения электроразведочных работ использовался комплект электроразведочной аппаратуры ООО НПК «СибГеофизПрибор»: генератор SKAT-2000 и измерители SGD-EEM «MEDUSA-B2». В качестве приемных электродов в линии MN использовались неполяризующиеся электроды Pb-$PbCl_2$ производства ООО «Геодевайс» со стабильностью потенциала ± 5 мВ.

При реализации ЭТ-ВП в 3D-варианте измерения производятся не только по профилю, на котором расположено подвижное заземление А, как при классической 2D-электротомографии, но и на четырех соседних профилях. Векторная сеть измерений реализована с помощью измерения по двум ортогональным направлениям. Измерения по сети северо-восточного направления названы профильными, а ортогональные – магистральными (рис. 1). Проектная сеть позиций питающего электрода для целевого участка составила 200 × 200 м, в краевой зоне 400 × 400 м. Размер приемной линии – 100 м, шаг приемной линии по профилю – 100 м.

При проведении опытных работ было отмечено большое влияние индукционной помехи на первые вступления (до 0,1 с) при проведении измерений во временной области, наблюдалась существенная разница в амплитудах поляризуемости по сравнению с частотной областью (рис. 2). На основе результатов проведенных опытных работ рядовые измерения проводились в частотной области.

На участках со стабильно высокой амплитудой сигнала расхождения в результатах измерений на различных частотах незначительны, но при отдалении от точки заземления расхождения становятся более значимыми. На частотах 1,22 и 2,44 ГЦ поляризуемость принимает отрицательные или заниженные значения, что, вероятно, также связано с влиянием индукции (рис. 3). По результатам опытных работ аномалии поляризуемости на частоте 0,61 Гц выделяются более контрастно, поэтому она выбрана в качестве рабочей.

Влияние направления измерения на геоэлектрические характеристики. С целью определения влияния изменения направления сети измерений на геоэлектрические параметры в плане были визуализированы данные, полученные в результате измерения от одного заземления питающего электрода А по магистрали и по профилю (рис. 4).

На карте удельных сопротивлений при измерениях по профилю выделяется изометричная аномалия повышенных значений УЭС. Ее центральная часть, где сконцентрированы значения > 1000 Ом·м, локализована в приповерхностной части. При изменении направления сети измерений изометричная аномалия остается неизменной, за исключением смещения ее центра в северном направлении.

При изменениях поляризуемости по профилям аномальная зона повышенных значений локализуется в северо-западной части планшета. Наблюдается тенденция повышения значений ηк с глубиной в северо-западном–западном направлении. Эта тенденция сохраняется при измерениях на магистрали, при этом фиксируются две небольшие локальные зоны повышенных значений $\eta_к > 2$ %.

С целью изучения положения аномалообразующих структур на глубину была произведена совместная визуализация разрезов удельного электрического сопротивления и поляризуемости, полученных в результате измерений по профилям и по магистралям (рис. 5). Основной задачей данного построения являются сопоставление местоположения аномальных зон удельного электрического сопротивления и поляризуемости в зависимости от ориентировки профилей в 2D-варианте, а также оценка влияния изменения параметров при перемене направления токовых линий. Профили расположены перпендикулярно оси OX, магистрали – OY.

На рисунке 5, А в центральной части участка наблюдается зона пониженных значений удельного электрического сопротивления. При изменении направления токовых линий на ортогональное данная зона характеризуется меньшей протяженностью и совпадает с профильными измерениями лишь в центральной аномальной части. Местоположение приповерхностных зон повышенных значений УЭС в основном коррелируются между собой на двух типах ориентировки профилей измерений.

Согласно 3D-модели поляризуемости (см. рис. 5, Б), в основном участок характеризуется минимальными фоновыми значениями. Аномалии поляризуемости выделяются более контраст-

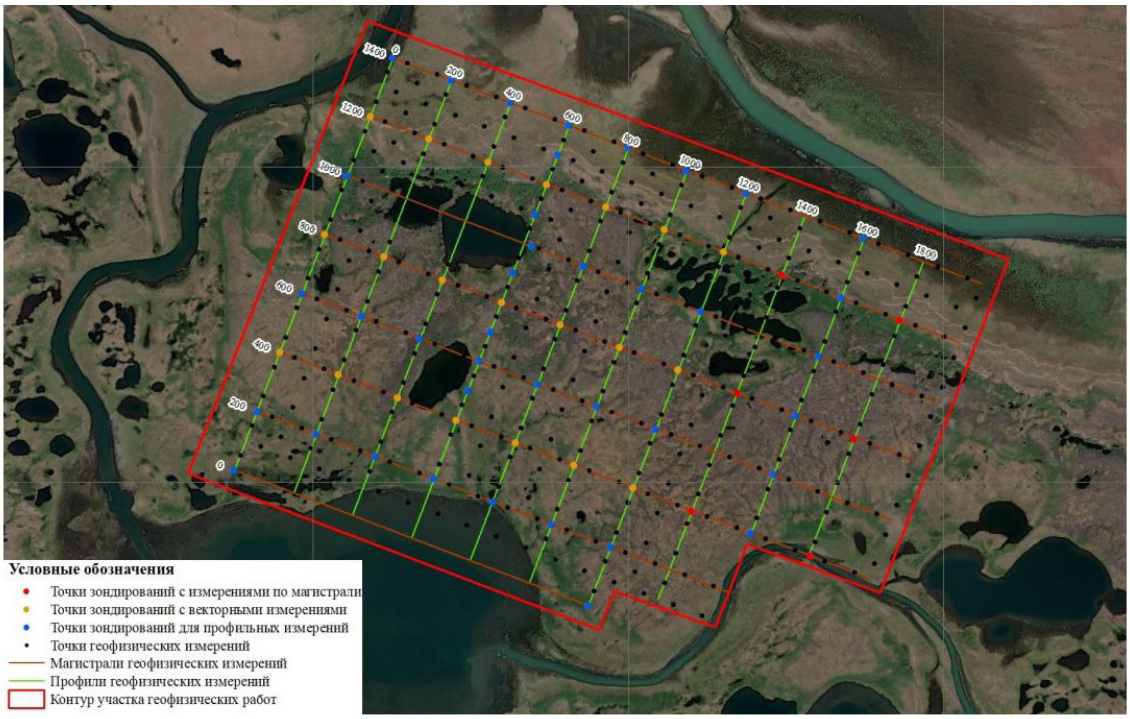


Рис. 1. Карта расположения профилей и магистралей

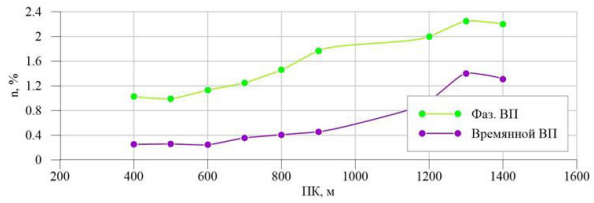


Рис. 2. Графики поляризуемости для временного и фазового ВП

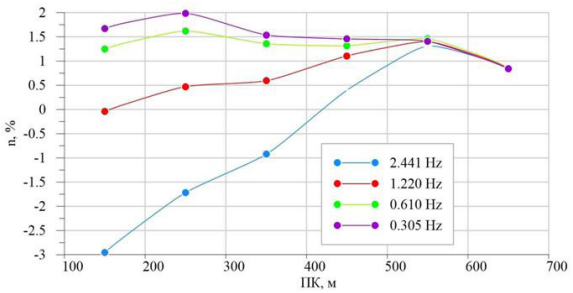


Рис. 3. Графики значений поляризуемости на частотах 0,3 Гц, 0,61 Гц, 1,22 Гц, 2,44 Гц

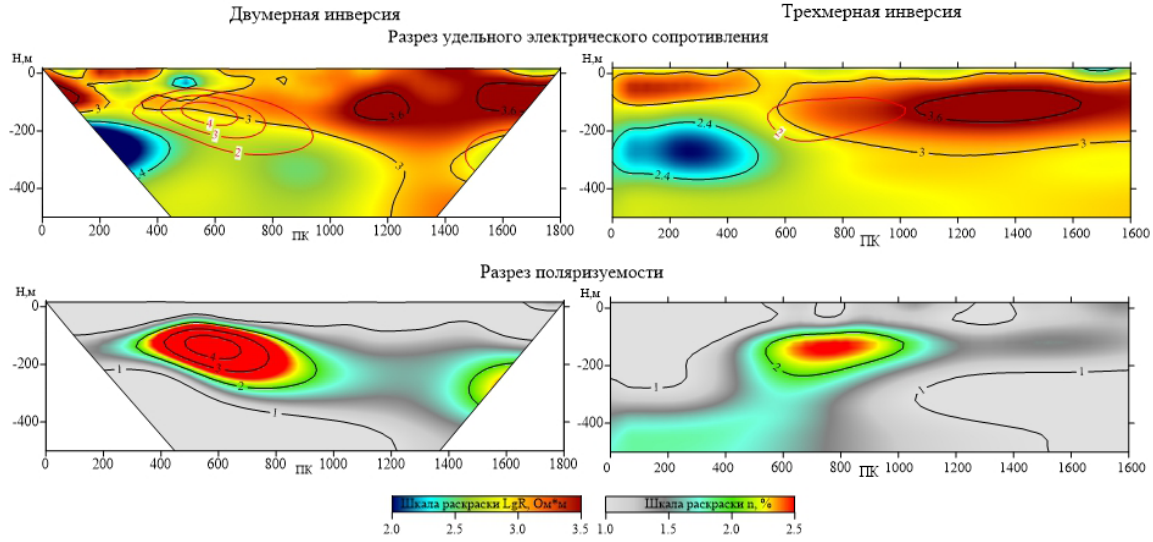


Рис. 4. Карта результатов измерений от позиции точеного электрода А: А – удельного электрического сопротивления (УЭС), Б – поляризуемости

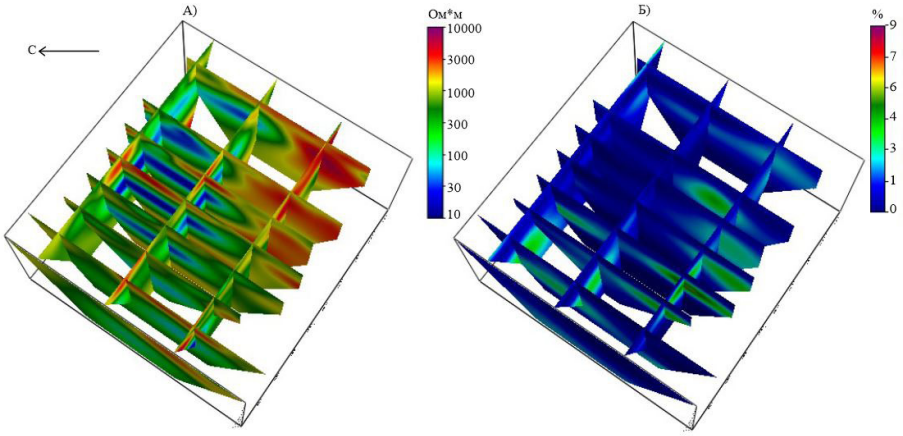


Рис. 5. Трехмерная визуализация профилей и магистралей: А – по УЭС, Б – по поляризуемости

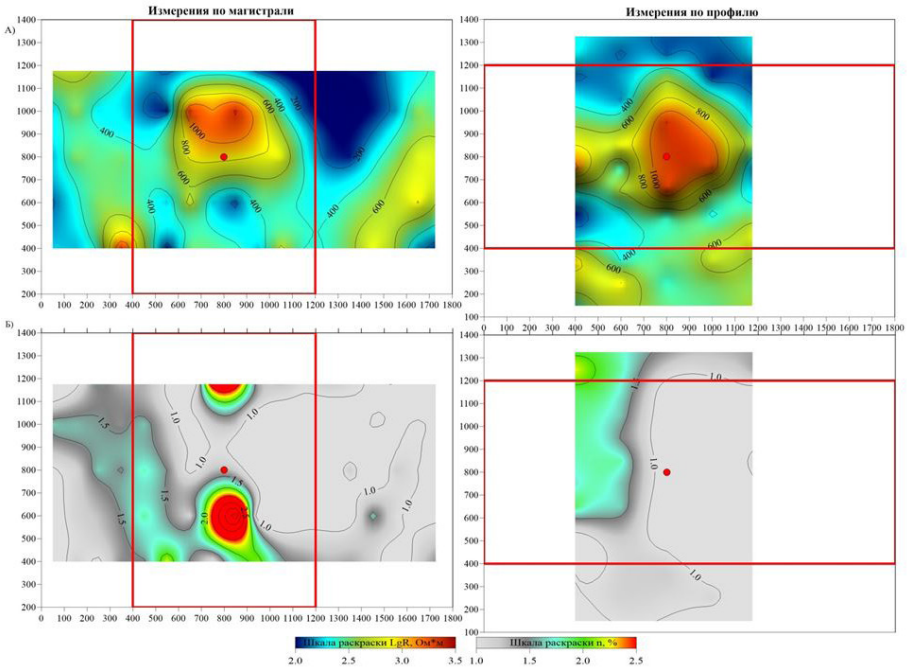


Рис. 6. 2D- и 3D-разрезы УЭС и поляризуемости по профилю

но при ориентировке профилей вкрест простирания аномалообразующих структур по сравнению с магистралями. В основном зоны повышенных значений поляризуемости не имеют пространственной корреляции между профилями и магистралями.

Таким образом, как видно на рисунках 4 и 5, изменение направления сети измерений оказывает влияние на измеренные значения кажущейся поляризуемости.

Сравнение 2D-разрезов и разрезов с 3D-модели. С целью подтверждения результативности применения 3D-электротомографии методом ВП в рамках работ проведен сравнительный анализ результатов 2D- и 3D-инверсии в пределах одной исследуемой площади (рис. 6). Сравнивая разрезы сопротивлений, можно сделать вывод о том, что при 2D-инверсии наблюдаются ошибки при описании границы и формы трехмерных объектов, максимальные отклонения наблюдаются по периферии аномальных зон. 3D-инверсия решает задачи по определению позиции границ объектов как по латерали, так и по глубине за счет учета позиции приемных и питающих электродов в пространстве. Сравнение разрезов 2D- и 3D-инверсии по отдельным профилям показывает, что после 3D-инверсии контраст сопротивлений между слоями выше, а зоны максимального градиента сопротивлений, отвечающие положению границ, более выдержаны по простиранию. На результаты двумерной инверсии оказывают влияние приповерхностные неоднородности, что делает ее более зависимой от условий проведения съемки [3].

Заключение. В результате проведенных работ, выполненных с помощью 3D-электротомографии методом вызванной поляризации на медно-никелевых рудах, была произведена оценка возможности применения метода электротомографии 3D-ВП. При измерении по одному направлению теряется информация о строении объектов вдоль сети наблюдения, в то время как векторные измерения учитывают анизотропию среды [2]. Это является преимуществом при исследовании трехмерно-неоднородных сред среди наиболее распространенных в настоящее время методов, у которых измерение электрических параметров производится по параллельным профилям.

Повышения детальности в условиях трехмерного разреза, а также в условиях возможного нахождения нескольких объектов в разрезе можно добиться путем увеличения шага съемки [1]. Для увеличения разрешающей способности в горизонтальном направлении нужно сгущать шаг и длину приемной линии, в вертикальном – шаг питающего электрода А. Сгущение сети наблюдений вдвое позволит прямо пропорционально увеличить детальность 3D-модели. Результаты проделанной работы в Норильском районе способствуют развитию методов электроразведки для исследования сложнопостроенных трехмерно-неоднородных сред, повышению точности исследований и расширению круга решаемых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Куликов, В. А., Бобачев, А. А., Яковлев, А. Г. Применение электротомографии при решении рудных задач до глубин 300–400 м // Геофизика. – 2014. – № 2. – С. 39–46.
2. Павлова, А. М., Шевнин, В. А. 3D-электротомография при исследовании ледниковых отложений // Геофизика. – 2013. – № 6. – С. 32–37.
3. Loke M. H. Rapid 3-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method // Tutorial: Geoelectrical Imaging 2-D and 3-D. – 1996–2009 – 232 p.

Мирсаяпов Р. И. (rafismirsayapovsd@gmail.com),
Норбобоев У. О. (uralnorboboyev03@gmail.com),
Менгниёзов Ф. Х. (mengniyozovfarrux@gmail.com)
ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент, Республика Узбекистан

ПРИМЕНЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ КАНАЛОВ LANDSAT 8 ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ОТРОГОВ ГИССАРСКОГО ХРЕБТА

Применение соотношения каналов Landsat 8 для выделения структурно-вещественных комплексов является важным методом в геологической обработке космических снимков. Соотношения каналов формируются путем деления значений одного диапазона на соответствующие пиксели другого диапазона космического снимка. Эти алгоритмы позволяют улучшить спектральные различия между разными типами грунтов и геологическими формациями, что облегчает анализ и интерпретацию данных. Соотношение каналов Landsat 8 также позволяет выявить детали, которые могли бы остаться незамеченными при других методах обработки. Эти результаты помогают определить реальные границы структурно-вещественных комплексов, что в свою очередь облегчило возможность создания дистанционной основы для исследуемой территории.

Ключевые слова: космические снимки, Landsat 8, дешифрирование, структурно-вещественные комплексы, соотношение каналов, дистанционная основа.

Применение мультиспектральных космических снимков в геологических исследованиях стало неотъемлемой частью современного подхода к изучению Земли. Спутники, такие как Landsat и Sentinel-2, предоставляют изображения в разных диапазонах спектра, что позволяет ученым изучать геологические объекты на большой территории, независимо от территориальной принадлежности.

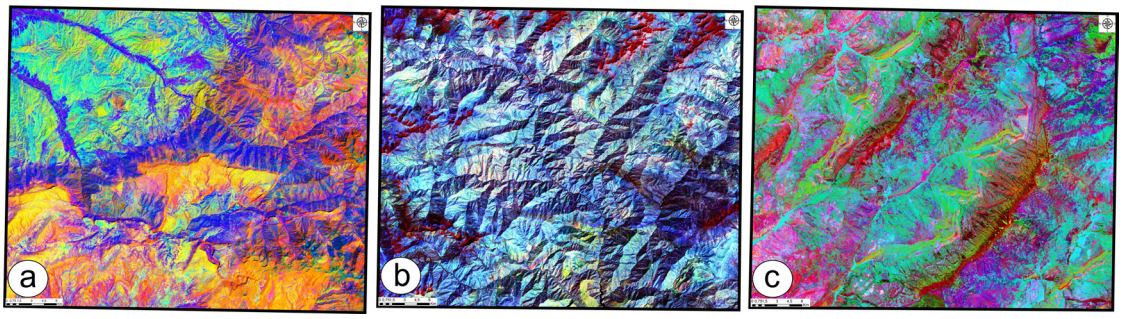


Рис. 1. Соотношение каналов Landsat 8:
a – b7/b4, b4/b3, b5/b7, b – b4/b3, b6/b2, b7/b4, c – b4/b2, b5/b6, b6/b7

Мультиспектральные снимки используются для определения различных типов горных пород и почв, а также для изучения процессов, происходящих на поверхности. Космический спутник Landsat 8 запущен в 2013 г. Он находится на солнечно-синхронной орбите на высоте около 705 км. Спутник оснащен двумя камерами, которые делают снимки в разных спектральных диапазонах длин волн от 0,4 до 2,3 мкм. Разрешение снимков составляет от 30 до 100 м [1].

Территория исследования расположена в западной части Памиро-Алайской горной системы, в южном окончании Республики Узбекистан. Юго-западные отроги Гиссарского хребта представляют собой сложную систему, включающую различные типы горных пород: как осадочных, так и магматических и метаморфических, с хорошей обнаженностью. Именно хорошая обнаженность имеет ключевой фактор идентификации вещественных комплексов по космическим снимкам. Для получения дополнительной геологической информации с космических снимков производятся соотношения каналов, что подразумевает деление значений одного диапазона с соответствующим пикселям другого диапазона. Кроме того, соотношения каналов формируются путем сбора цифровых многоспектральных изображений в виде трех каналов путем выполнения математического выражения деления, называемых соотношениями каналов космических снимков [2] (рис. 1).

Эти алгоритмы позволяют улучшить спектральные различия между структурно-вещественными комплексами (СВК). Соотношение каналов Landsat 8 b4/b3, b6/b2, b7/b4 хорошо отличило терригенные и карбонатные СВК отображающиеся светло-голубым оттенком, аллювиально-пролювиальные отложения – темно-зеленым. В качестве примера данного соотношения каналов ниже приведены сопоставления полученных результатов с геологической картой масштаба 1 : 100 000 (Баймухамедов Х.Н, и др. 1982) [3] (рисунки 2 и 3).

На приведенном рисунке видна схожесть стратиграфических границ геологической карты с полученной цветной композицией. Данные комбинации разнообразием цветов позволили отдешифрировать структурно-вещественные комплексы, которые не выявились при других методах обработки. Например, юрские отложения ввиду хорошей обнаженности дешифрируются по прямым признакам. Меловые отложения четко картируются по разноцветной цветовой гамме при соотношении каналов b7/b4, b4/b3, b5/b7.

Полученные результаты позволили определить реальные границы структурно-вещественных комплексов, что в свою очередь облегчило возможность создания дистанционной основы исследуемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Mohamed M. T. A., Al-Naimi L. S., Mgbeojedo T. I. [et al.] Geological mapping and mineral prospectivity using remote sensing and GIS in parts of Hamissana, Northeast Sudan // J Petrol Explor Prod Technol. – 2021. – № 11. – P. 1123–1138. DOI: https://doi.org/10.1007/s13202-021-01115-3.
2. Landsat 8 [Электронный ресурс]. – URL: https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/ (дата обращения 06.03.2024)
3. Баймухамедов Х. Н., Закиров Т. З., Терлецкий О. Г., Юлдашев А. З. Металлогеническое районирование Юго-Западного Гиссара. – Записки Узбекистанского отделения Всесоюзного минералогического общества. – 1982. – Вып. 34. – С. 156–160.

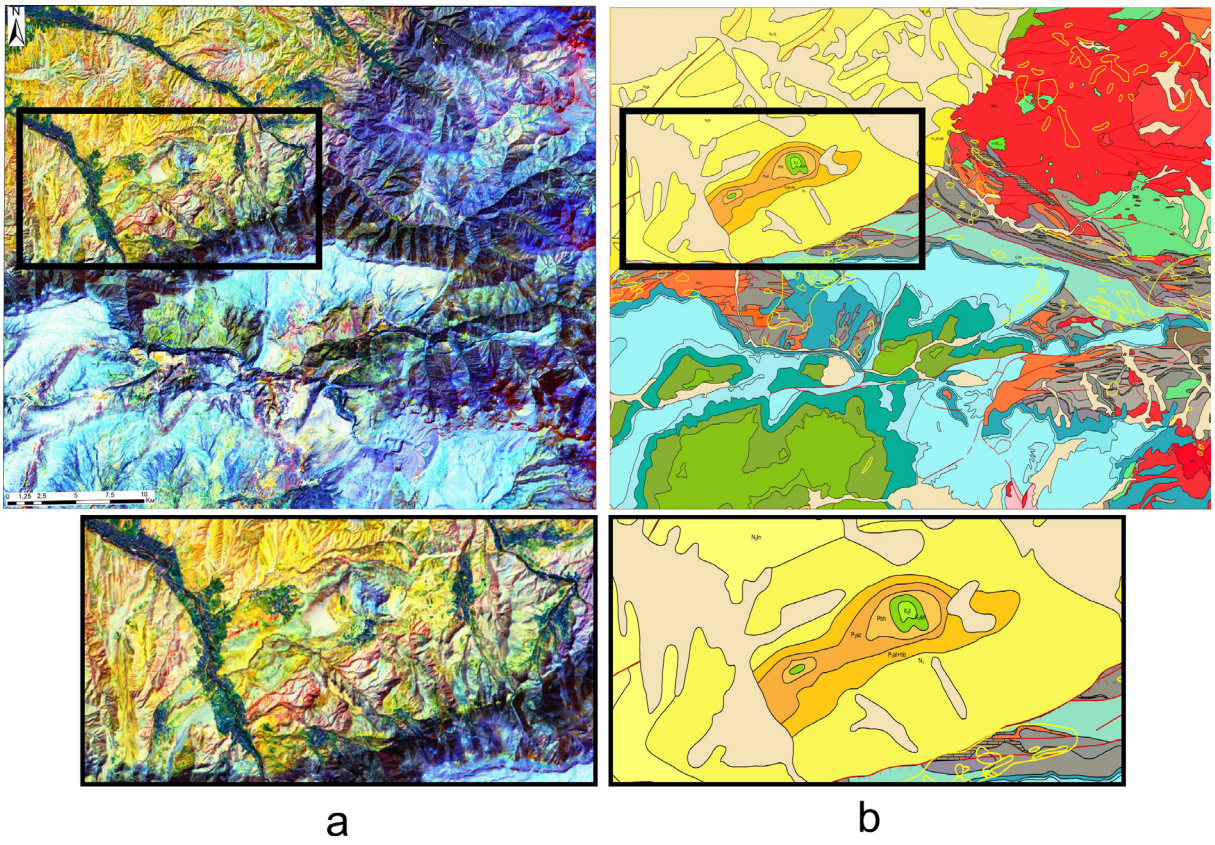


Рис. 2. Сопоставление обработанного космоснимка с геологической картой Яккабагских гор: a – Landsat 8 b4/b3, b6/b2, b7/b4, b – Геологическая карта

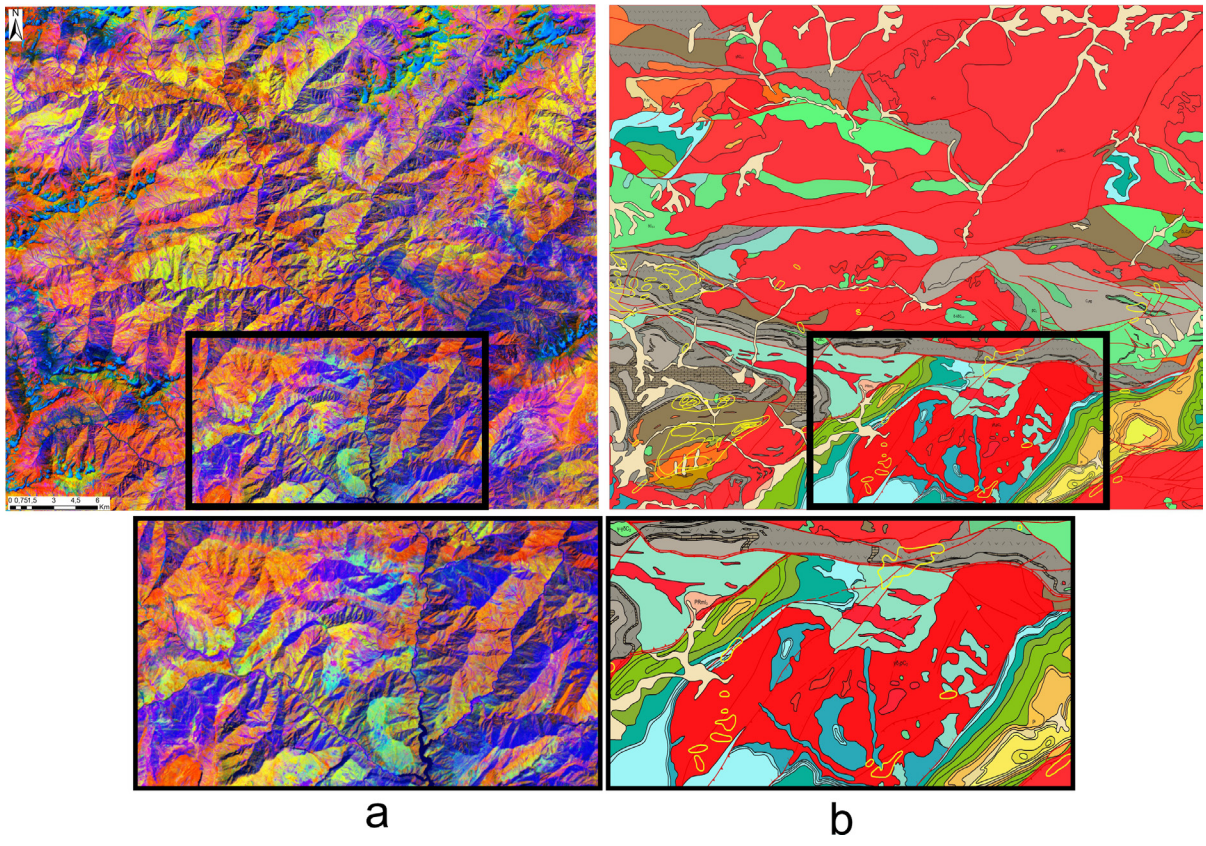


Рис. 3. Сопоставление обработанного космоснимка с геологической картой: a – Landsat 8 b7/b4, b4/b3, b5/b7, b – Геологическая карта

Михалицына Т. И. [1] (mihalitsina@neisri.ru), Фомина М. И. [2] (mif-74@yandex.ru)
[1] ФГБУ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан,
[2] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИГУМЕНОВСКОЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

В работе приводятся результаты минералого-петрографического исследования руд и рудовмещающих пород месторождения Игуменовское. Выявлены характерные текстуры руд и установлены их минеральные типы. Предложена описательная эмпирическая модель золотоносности.

Ключевые слова: Пионерский рудный узел, месторождение Игуменовское, золото-кварцевая формация, роговики, скарны, золото-редкометалльный, золото-сульфидный, золото-серебряный тип минерализации.

В последние десятилетия на Северо-Востоке России с целью восполнения минерально-сырьевой базы благородных металлов интенсифицированы работы по выявлению и оценке золоторудных объектов, локализованных в кварцевых жилах, а также золото-сульфидно-вкрапленного типа, размещающихся в углеродсодержащих осадочных толщах пермского возраста. С пермскими отложениями связаны такие крупные месторождения как Наталка, Павлик, Дегдекан, Родионовское и др. Авторами настоящей работы проведено изучение вещественного состава вмещающих пород и золотосодержащих руд Игуменовского месторождения, включая геохимические (метод ICP-MS, г. Хабаровск, ИТиГ), петрографические и минералогические исследования. В представленном сообщении приводятся результаты минералого-петрографического изучения рудовмещающих пород и руд (в количестве 200 препаратов; микроскопы Axioplan Imagin, MEIJI MT 9000).

Месторождение Игуменовское обладает своими особенностями: оно является одним из крупных жильных месторождений (с 1946 г. добыто свыше 11 т Au); интенсивно контактово-метаморфизовано в связи с внедрением раннемелового гранодиоритового массива Улахан [1].

Золоторудное месторождение Игуменовское расположено в Магаданской области, в 360 км от г. Магадан. Входит в состав Пионерского рудного узла, локализованного в юго-западной части Аян-Юряхского антиклинория Яно-Колымского орогенного пояса. Металлогеническая позиция Пионерского узла определяется его приуроченностью к зоне Тенькинского глубинного разлома. Все месторождения узла – Игуменовское, Клин-Теннистый, Родионовское открыты в 1940-х годах партиями А. И. Худякова, С. С. Герасименко и М. П. Неверова.

Рудовмещающие породы месторождения представлены отложениями родионовской свиты нижней перми P_1rd, в составе которой преобладают черные, темно-серые аргиллиты с включением алевролитов и карбонатных прослоев. В структурном плане они образуют протяженную пологую и широкую складку северо-западного простирания с углами падения крыльев 5–20° и шириной в несколько километров. В пределах месторождения отмечается пологое погружение оси складки в северо-западном направлении под углом 15–18°. Породы прорваны массивом Улахан вытянутой в меридиональном направлении формы (площадь до 82 км^2). Положение кровли массива отражается в проявлении контактово-метаморфических пород. Ширина экзоконтактовой зоны достигает 1,0–1,5 км, увеличиваясь до 2–3 км [2]. 40Ar/39Ar датировки биотита гранодиоритов показывают 94 млн лет [3].

Раннепермские отложения неоднократно метаморфизованы – на региональные зеленосланцевые изменения, проявившиеся в рассланцевании пород и перераспределении углеродистого вещества, накладываются контактово-термальные преобразования (железисто-магнезиально-кальциевого типа). Наиболее распространенным типом контактово-метаморфизованных пород являются темные с коричневым оттенком тонкозернистые биотитовые роговики. Количественные соотношения между минералами сильно варьируют в зависимости от положения пород в экзоконтактовой зоне. Главные минералы – биотит, кварц, плагиоклаз, кордиерит, нередко к биотиту примешиваются актинолит, тремолит, пироксен, цоизит, редко эпидот. Встречаются роговики с порфиробластовой структурой, обусловленной линзовидными образова-

Таблица. Минеральный состав руд месторождения Игуменовское

Группы минералов	Главные	Второстепенные	Редко встречающиеся
Жильно-метасоматические	Кварц Карбонат	Альбит Серицит Хлорит Биотит Гидрослюда Актинолит Тремолит Эпидот Пироксен Гранат Ильменит Магнетит	Гематит Гранат Волластонит Циркон Сфен Апатит Рутил Органическое вещество
Рудные	Пирротин Арсенопирит Пирит	Леллингит Халькопирит Сфалерит Марказит Самородное Au	Галенит Висмутин Хедлейит Жозеит B Самородный Bi Халькозин Акантит Самородное Ag
Гипергенные	Лейкоксен		Лимонит Ковеллин

ниями вторичного кварца и округлыми включениями кордиерита. К кварцевым порфиробластам приурочено развитие зерен альбита, калишпата и цоизита. В составе рудовмещающих пород установлены прослои известковистых алевроаргиллитов и алевролитов с редкой псаммитовой примесью. По прослоям карбоната развивается скарнирование. Скарны состоят главным образом из граната (гроссуляр-андрадитового ряда), пироксена (диопсид-геденбергитового ряда), волластонита (не характерен). Из вторичных минералов типичны актинолит, хлорит, кальцит, эпидот. Текстуры пятнистые, полосчатые, массивные, часто унаследованные (реликтовые); структуры гранобластовые, метазернистые.

Текстуры руд Игуменовского месторождения разнообразны, преимущественно относятся к группе «катаклаза». Выявлено несколько генетических текстурных групп: вкрапленно-метасоматические, прожилковые, жильные и брекчиевые, с преобладанием последней.

В рудах месторождения Игуменовское установлен 41 минеральный вид (таблица).

Кварц является главным жильно-метасоматическим минералом. Выявлено три его генерации: кварц I – прозрачный, друзовидный, крупнокристаллический, вплоть до горного хрусталя. Выполняет трещины в породе, отлагаясь в зальбандах. Кроме того, обломки кварца I установлены в кварц-карбонат-гидрослюдистом цементе, где по периферии обрастают мелкокристаллическим пиритом. Размер кристаллов 0,1–1,0 мм. Кварц II наиболее распространен среди всех разновидностей кварца. Массивный, скрытокристаллический, слаботрещиноватый, образует линзы в породе и отлагается по трещинам между кристаллов кварца I; слабо лимонитизирован. Входит в состав цемента брекчий кварц-карбонат-полевошпатового состава. В зальбандах жил установлен хлорит, альбит и эпидот. Содержит включения циркона, кварца I, обломки пород и редкую рудную минерализацию (пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит, арсенопирит с самородным золотом и минералами Bi). Корродирует пирит и арсенопирит. Кварц III – халцедоновидный, образует оторочку вокруг обломков кварца I, содержит редкую вкрапленность пирита.

Рудная минерализация на месторождении связана с несколькими типами руд: жильный (1), метасоматический (2), скарновый (3), роговиковый (4).

Первый тип приурочен преимущественно к зальбандам жил и прожилков и представлен арсенопиритом, пиритом, пирротином, лёллингитом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, минералами Bi и Te, самородным Au (средняя пробность 654 ‰).

Со вторым типом (метасоматиты) связано проявление арсенопирита, лёллингита, пирита, пирротина, халькопирита, галенита (с примесью Se 0,38–1,67 % и Bi 2,27–16,01 %), сфалерита

(примесь Fe 6,68–9,76 %), акантита, самородного Au трех разновидностей (средняя пробность 810 ‰, 679 ‰ и 470 ‰).

В роговиках встречаются пирротин, пирит, халькопирит, сфалерит (примесь Fe 9,28–11,36 %), арсенопирит и самородное Au двух разновидностей (средняя пробность 858 ‰ и 608 ‰).

Для скарнов характерно наличие пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита (примесь Fe 7,04–10,14 %), минералов Bi (висмутин и жозеит B) и самородное Au (пробность 456 ‰).

Выводы. По минеральному составу руда месторождения Игуменовское ассоциируется с золото-кварцевой формацией, связанной с гранитоидным интрузивом. Минеральные типы, проявленные на месторождении, характеризуются как золото-редкометалльный, золото-сульфидный и золото-серебряный. По структурно-морфологическому типу месторождение относится к прожилково-вкрапленному с широким распространением оруденелых брекчий, сетчатого прожилкования и метасоматическими преобразованиями осадочных пород с сульфидной вкрапленностью.

Распределение сульфидной минерализации в рудах месторождения крайне неравномерное. Содержание сульфидов варьирует от знаков до 16 %, в отдельных образцах количество достигает 46 %. Преимущественно – пирротин, пирит и арсенопирит с включением минералов висмута и самородного золота.

По пространственно-временным отношениям минералов и минеральных агрегатов в рудах установлены три парагенетические ассоциации, образование которых происходило в два этапа – метасоматический и плутоногенный (гидротермальный). Благороднометалльная минерализация формировалась в плутоногенном этапе в 3 стадии, которые связаны с внедрением интрузивного массива Улахан.

Метасоматический этап. Отложения во вмещающих породах ильменита, магнетита, сфена и гематита впоследствии замещены лейкоксеном и лимонитом. В этот этап происходит образование пирротина, халькопирита, сфалерита I и галенита. В заключительный этап метасоматических преобразований отмечается развитие актинолита и тремолита с включением цоизита.

В *плутоногенном этапе* установлено три относительно сближенные во времени стадии минералообразования. В первую стадию в результате внедрения плутона произошло растрескивание пород и выполнение трещин друзовидным кварцем I (безрудным) и таблитчатым альбитом. В эту же стадию в породах отлагается крупнокристаллический короткопризматический арсенопирит I и самородное золото первой генерации. Со второй стадией связано брекчирование пород и цементация их кварцем II и карбонатом I. В заключение этой стадии по всей массе породы (по обломкам и цементу) развиваются цоизит, хлорит, серицит. В этот период образуются пирит I, длиннопризматический арсенопирит II. Пустоты короткопризматического арсенопирита I заполняются пирротином, жозеитом B, минералами Bi и самородным золотом второй генерации.

С третьей стадией (низкотемпературная) связано формирование халцедоновидного кварца (кварц III), позднего кальцита, секущего как обломки, так и цемент, и марганецсодержащего хлорита. Рудные минералы – халькозин, марказит (развивающийся по пириту I), пирит II (по трещинам в породах, кварце II и в сульфидах). Благороднометалльное оруденение представлено акантитом, самородным Au поздней генерации и самородным Ag.

Гипергенный этап характеризуется окислительными процессами, в результате которых происходит замещение сульфидов ковеллином, лимонитом, и развитием лейкоксена.

Таким образом, на площади месторождения можно выделить следующую последовательность метасоматических и метаморфических изменений: зеленосланцевая фация регионального метаморфизма (1); образование пироксен-гранатовых скарнов и роговиков (отложение пирротина, халькопирита) (2); дорудные актинолит-кварцевые метасоматические изменения (3); предрудные альбит-кварцевые метасоматические изменения (ранний арсенопирит, самородное золото I) (4); брекчирование ранее метасоматически измененных пород с последующим наложением карбонатизиции (отложение минералов Bi и самородного золота II) (5); пропилитовые изменения (хлорит, карбонат, эпидот), связанные с внедрением даек (6); биотитсодержащие контактово-метаморфические изменения, наложенные на скарны (отложение самородного золота III и минералов серебра) (7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Горячев Н. А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
2. Фирсов Л. В. Структура, морфология, минералогия и оруденение Игуменовского месторождения // Тр. ВНИИ-I. Геология. Вып. 33. – Магадан, 1958. – С. 192–262.
3. Voroshin S. V., Tyukova E. E., Newberry R. J., Layer P. W. Orogenic gold and rare metal deposits of the upper Kolyma district, northeastern Russia: relation to igneous rocks, timing, and metal assemblages // Ore Geology Reviews. – 2014. – V. 62. – P. 1–24.

Молчанов А. В.
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ ЗОН ПЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В докладе рассматриваются вопросы о перспективах рудоносности региональных проницаемых зон плитного комплекса Восточно-Сибирской платформы на примере Уджинской, Ангарской и Приенисейской зон.

Ключевые слова: рудоносность, Восточно-Сибирская платформа, плитный комплекс, проницаемые зоны.

В настоящее время на территории Российской Федерации практически не осталось легко открываемых, выходящих на современную дневную поверхность, месторождений твердых полезных ископаемых. Выявление же месторождений, находящихся на некоторой глубине от земной поверхности, задача сложная и экономически затратная. В связи с чем задача выделения площадей, перспективных на выявление подобных месторождений, при проведении региональных ГРР требует участия в этом процессе подготовленных специалистов в области региональной, специальной металлогении и металлогенического анализа территории Российской Федерации в целом и ее отдельных регионов.

При этом для локализации новых перспективных площадей под поиски месторождений полезных ископаемых необходимо отойти от известных постулатов по локализации, скажем, золоторудных объектов в известных и хорошо изученных тектонических структурах – вулкано-плутонических поясах, складчато-надвиговых областях, зонах активизации щитов древних платформ и т. д. Необходимо сделать прорыв в теоретических представлениях о возможных обстановках магматогенно-гидротермального рудообразования, в частности золотого и редкометалльно-редкоземельного, в структурах, ранее не рассматривавшихся как перспективные на данные типы оруденение или которым уделялось в этом отношении незаслуженно мало внимания. К этой категории принадлежат *региональные проницаемые зоны*, картируемые в плитном комплексе Восточно-Сибирской платформы. *В геологическом строении зон принимают участие разноранговые разрывные нарушения, дайковые тела магматических пород различного петрохимического состава, разноформационные типы рудоносных гидротермально-метасоматических формаций и, собственно разноранговые рудные объекты. Зоны иногда трассируются площадными и линейными геохимическими и геофизическими аномалиями, являются полихронными.*

Во Всероссийском научно-исследовательском институте им. А. П. Карпинского составлена и ежегодно актуализируется Прогнозно-минерагеническая карта территории Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1 : 2 500 000, на которой в пределах Восточно-Сибирской минерагенической провинции показаны протяженные минерагенические зоны локализации полей развития кимберлитового магматизма и индикаторных минералов кимберлитов, имеющие общее северо-восточное, в меньшей мере, северо-западное простирание.

При составлении комплектов ГК-1000/3, в частности листа P-50, сотрудниками отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «ВСЕГЕИ» совместно

с геологами НИГП АЛРОСА изучались отвалы и коренные выходы карбонатных, терригенно-карбонатных пород, вблизи карьеров кимберлитовых трубок: Мир, Интернациональная, имени XXIII съезда КПСС, Дачная и др. Установлено, что доломиты и известняки здесь подчас интенсивно сульфидизированы, рассечены многочисленными мелкими жилками кальцита, доломита, арагонита и кварца, отмечены пустоты, стенки которых обросли мелкими кристалликами кварца и сульфидов. Кроме того, собственно кимберлиты также сульфидизированы, подверглись жильной и гнездовой кальцитизации и окварцеванию, что хорошо видно в образцах кимберлитов, демонстрируемых в музее г. Мирный.

Вблизи трубочных полей нередко масштабно проявлены карстовые полости с обильной окисной и сульфидной минерализацией. По всей видимости протяженные и широкие зоны локализации кимберлитовых полей и индикаторных минералов кимберлитов, показанные на Прогнозно-минерагенической карте территории Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1 : 2 500 000, представляют собой длительно живущие проницаемые зоны глубокого заложения, в пределах которых проявлен нижнекоровый, верхнемантийный кимберлитовый магматизм, а также магматизм среднего и кислого состава, источником которого выступают, по-видимому, промежуточные магматические очаги в верхних частях земной коры, отвечающие за формирование рудно-метасоматических образований, вещественно зафиксированных зонами сульфидизации, окремнения, окварцевания и карстовыми структурами с сульфидной и окисной минерализацией.

По-видимому, подобные региональные проницаемые зоны среди плитного комплекса Восточно-Сибирской платформы представляют прогностический интерес, и в их пределах следует выделять конкретные площади, благоприятные для выявления золоторудных, редкометалльно-редкоземельных и других объектов. Причем по отношению к золоту в пределах таких проницаемых зон, с широким развитием процессов карстообразования, возможно ожидать куранахский тип золотого оруденения.

На данный момент нами предлагается для исследований три региональные проницаемые зоны – *Уджинская*, *Ангарская* и *Приенисейская*, при проведении на отдельных участках которых ГМК-200 возможно выделение локальных площадей для постановки в дальнейшем крупномасштабных поисковых работ в целях выявления месторождений твердых полезных ископаемых

Молчанов В. П. [1] **(vpmol@mail.ru), Голич А. Н.** [1] **(agolich@mail.ru),**
Иванников С. И. [2] **(fyajkfqn@mail.ru)**
[1] Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток
[2] Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток

ПРИРОДА БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНО-ТИТАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ АРИАДНЕНСКОГО МАССИВА УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНСКОГО ОРОГЕННОГО ПОЯСА

На юге Дальнего Востока России выявлен новый перспективный тип источников стратегических металлов – комплексные руды и россыпи, связанные с позднемезозойскими интрузиями ультрабазит-базитов Сихотэ-Алиня. Примером тому может послужить Ариадненский массив, в мафической части которого располагается проявление золото-титановой минерализации, в экзоконтакте – золото-сурьмяной, а в околоинтрузивной зоне – золото-медной. Показано, что в формировании разнотипных руд участвовали мантийные и коровые процессы.

Ключевые слова: золото, ильменит, сульфиды, изотопия серы, ультрабазиты, базиты, Ариадненский массив, Сихотэ-Алинь, Приморье.

В геологическом строении изученной площади, расположенной в южной части Сихотэ-Алинского орогенного пояса, принимают участие среднеюрские турбидиты и микститы (суб-

дукционный меланж) аккреционной призмы с включениями позднепалеозойских и нижнемезозойских океанических кремней, сланцев, известняков и базальтов. Вулканогенно-осадочные породы прорваны раннемеловой Ариадненской интрузией ультраосновного состава, юго-западная часть которой сложена ультраосновными породами первой фазы – перидотитами и оливиновыми пироксенитами, постепенно переходящими к центру в ильменитовые и амфиболовые габбро. На северо-востоке интрузии преобладают диориты, монцодиориты и сиениты второй фазы. Ко второй фазе отнесены также немногочисленные, маломощные дайки диабазов, сиенитов, трахибазальтов и умеренно-щелочных пикритов в интрузии первой фазы и во вмещающих массив роговиках, а также своеобразные дайки флюидоэксплозивных брекчий умеренно-щелочных пикритов, приуроченные к ЮВ экзоконтакту плутона. Возможно, что граниты на СВ окончании массива являются фазой Ариадненского массива [1].

Ариадненский рудно-россыпной узел, совпадающий с контурами изученного массива, включает в себя Ариадненское золото-ильменитовое месторождение с россыпями р. Падь Тодохова и кл. Потапова, а также золото-сурьмяное Тодоховское и золото-медное Конторское рудопроявления.

Для оценки источников рудного вещества был проанализирован изотопный состав серы сульфидов, а точнее пирротина золото-титановых руд, антимонита золото-сурьмяных образований, а также пиритов медных руд. Было установлено, что изотопные характеристики серы этих сульфидов в целом обладают высокой степенью гомогенности, укладываясь в довольно узкий интервал, несколько облегченный относительно «мантийной» отметки ультраосновных пород [3]. При этом, значения $\delta^{34}S$ (4 анализа) пирротина меняются от -3,0 до -3,1 ‰. Для антимонитов величины $\delta^{34}S$ (5 анализов) сдвигаются в более тяжелую сторону от -1,8 до -1,5 ‰, тогда как значение $\delta^{34}S$ для пиритов медных руд (4 анализа) варьируется от -3,1 до -3,5 ‰. Изотопное фракционирование обусловлено, скорее всего, изменениями физико-химических характеристик рудообразующих флюидов (Eh-pH, температуры) в направлении от центра интрузии (ильменитовые габбро, золото-титановые руды) к ее периферии, обусловивших развитие в экзоконтакте и околоинтрузивной зоне ультрабазит-базитов золото-сурьмяных и золото-медных образований. В сущности, изотопно-легкий состав сульфидной серы разнотипных руд свидетельствует скорее об участии в их формирования коровых процессов. Представляется, что наиболее вероятным источником серы были коровые породы, обогащенные органическим веществом, контаминированные в процессе становления Ариадненской интрузии. Сульфат-редукция осадочных сульфатов привела к появлению значительных количеств сероводорода [4]. Этот сероводород участвовал как в формировании сульфидов титановых руд, так и сурьмяной и медной минерализации. Появление сурьмы и меди в рудоносных флюидах также может быть связана с их мобилизацией из корового вещества. К настоящему времени накоплен значительный материал [2], указывающий на возможность корового происхождения многих металлов, в том числе сурьмы и меди.

Таким образом, в результате выполненных исследований на примере Ариадненской интрузии показано, что в формировании благороднометалльно-титановой минерализации ультрабазит-базитов Сихотэ-Алиня участвуют мантийные и коровые процессы. При этом в площадном распределении разнотипных руд просматриваются элементы зональности, свидетельствующие в пользу общего мантийно-корового источника рудного вещества: в центре интрузии ультрабазит-базитов сосредоточена золото-титановая минерализация (Ариадненское месторождение), в ее экзоконтакте – золото-сурьмяные руды (Тодоховское проявление), на удалении к северо-востоку – золото-медные образования (Конторское проявление).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00093 (https://rscf.ru/project/23-17-00093).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханчук А. И., Молчанов В. П. Рудоносность позднемезозойского Ариадненского массива ультрабазитов, базитов и гранитоидов (Сихоте-Алинский орогенный пояс) // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 5–19. DOI: 10.30911/0207-4028-2023-42-6-5-19.
2. Озерова Н. А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М. : Наука, 1986. – 232 с.

3. Rollinson H. R. Using geochemical data: evalution, presentation, interpretation // Longman Group UK Ltd. – 1993. – 352 p.
4. Seal R. Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. – 2006. – V. 61. – P. 633–677. https://doi.org10.2138/RMG.2006.61.12.

Молчанов В. П. [1], (vpmol@mail.ru), Цянь Е. [2], (2643262@qq.com),
Сун Фенгуй [2], (sfy@jlu.edu.cn)
[1] Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток
[2] Цзилинский университет, г. Чанчунь, КНР

ЗОЛОТО И ПЛАТИНА РОССЫПЕЙ ИЗ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ И СЕВЕРО-ВОСТОКА КИТАЯ

В россыпях Фадеевского узла, приуроченного к черносланцевым породам приграничных районов Приморского края РФ и провинции Хэйлунцзян КНР, выявлена уникальная ассоциация природной амальгамы золота и платины, киновари, самородных вольфрама, цинка, свинца, железа и меди, карбидов Si и Fe. Изотопный состав серы киновари указывает на глубинный характер источников рудного вещества. Появление необычной ассоциации минералов связывается с приуроченностью узла к зоне активного взаимодействия континентальной и океанической литосферных плит с преобладающим режимом их латерального скольжения.

Ключевые слова: природные амальгамы платины и золота, железистая платина, золото, киноварь, зональность, изотопия серы, глубинные источники рудного вещества, россыпи юга Дальнего Востока РФ и Северо-Востока КНР.

Углеродистые отложения (черные сланцы), содержащие до 1–2 мас. % массы органического углерода, пользуются широкой распространенностью на территории Дальнего Востока России и Северо-Востока Китая, вмещая значительные количества рудных и россыпных проявлений золота. Эти объекты в большинстве своем характеризуются сходными по составу устойчивыми ассоциациями минералов, формирующимися в близких геологических условиях. Внимание авторов привлекли резко выделяющиеся из этого ряда своим вещественным составом россыпи Фадеевского узла, приуроченного к черносланцевым породам сопредельных территорий провинции Хэйлунцзян КНР и Приморского края РФ.

Позиция Фадеевского рудно-россыпного узла определяется его положением на границе Ханкайского и Лаоелин-Гродековским террейнов. В низах стратифицированного разреза изученной площади развиты базальто-кремнисто-туфогенные, кремнисто-глинистые, аргиллитовые и туфогенно-песчаниковые отложения. Их перекрывают вулканогенно-осадочные толщи пермского возраста и эффузивы кислого состава. Породы вулканогенно-терригенного комплекса, включающего черные сланцы, прорваны на юге крупными массивами гранитоидов, а на севере небольшими телами габброидов и сиенитов. В гранитах отмечены многочисленные мелкие интрузивные тела и ксенолиты кортландитов и амфиболизированных габбро. В южной части узла один из интрузивов обладает чертами концентрически-зонального строения: дунит-верлит-пироксенит-габбро. Здесь известны многочисленные аллювиальные россыпи золота, а также золото-кварцевые жилы и зоны прожилково-вкрапленной минерализации [1].

В шлихах рыхлых отложений рек Фадеевка (система водосбора р. Раздольная) и Золотая, с притоками рек Толстокулачиха, Поликарпиха, Байкал, Незаметка, М. Нестеровка (бассейн р. Нестеровка), дренирующих гранитоиды и черносланцевую толщу соответственно, на юге и севере площади известны две продуктивные ассоциации: минералы металлов платиновой группы (сплавы Pt-Fe и Os-Ir-Ru при преобладающей роли первых) и хромиты – генетически связанные с базит-гипербазитовым комплексом. Вторая ассоциация, включающая серебристое золото, сульфиды и кварц, является производной гранитоидного магматизма [1]. В северных россыпях нами впервые выявлена уникальная ассоциация природной амальгамы золота и платины,

киновари, самородных вольфрама, цинка, свинца, железа и меди, карбидов Si и Fe, источники которой не известны. Это и предопределило направленность наших исследований.

В площадном распределении минералов изученной ассоциации в пределах узла в направлении с юга на север просматриваются элементы зональности. Так, в аллювиальных отложениях р. Золотая (северная оконечность узла) золото представлено сфероидальными образованиями и примазками на ильменитах. Визуально первые из них представлены шаровидными обособлениями, покрытыми плотной оболочкой темного цвета. В ассоциации с «контейнерным» золотом были обнаружены мелкие сфероидальные частицы железистой платины, обогащенной примесью Cu до 4,0 мас. %, частично покрытые микро-наноразмерной пленкой.

Состав гравитационных концентратов крупнообъемных проб аллювиальных отложении рек Поликарпиха и Толстокулачиха (центральная часть северного сегмента узла), претерпевают значительные изменения: здесь появляются лидамальгама ($HgPb_2$), польчемусит (HgZnS), самородные Fe, Pb, Cu интерметаллические соединения систем Pb-Sb-Sn, Fe-Cr. Уникальность ассоциации подчеркивается появлением микро-наноформной ассоциации золота, платины с карбидом вольфрама, самородными вольфрамом и свинцом, вольфрамитом, касситеритом и киноварью. Железистая платина, типоморфной примесью которой является Rh (до 3 мас. %), представлена шаровидными выделениями, фрагментарно покрытыми пленками двух видов: Pt-Rh-Hg и Au-Ag-Hg, размерами от нескольких до сотен микрон. Золото представлено агрегатами микропризматических кристаллов с угловатыми скульптурными ограничениями. Состав аурамальгамы золота довольно однообразен и колеблется в узких пределах (в ат. %): Au – 77,7–88,2, Ag – 0–1,2, Hg – 11,72–20,22. Местами золотины покрыты тонкой прерывистой пленкой (толщиной 400–500 нм), состоящей из Fe (до 40 мас. %), Al, Si (до 10 мас. %), O (до 50 мас. %). Эта пленка является матрицей, связующей наночастицы киновари и наносфероиды ртутистого золота. Состав фаз киновари в разных точках замера одного зерна колеблется (в ат. %): Hg – 72,22–80,06, S – 12,94–16,36. Привлекает внимание необычный факт присутствия в составе киновари Ru – 2,19–3,58. Не менее интересен и состав сфероидальных наночастиц, где помимо Au (до 70,1 мас. %), Hg (7,3 мас. %), Ag (2,0 мас. %), присутствуют C, N, и O в количествах от 3,0 до 3,7 мас. %.

В южных притоках р. Золотая (прежде всего р. М. Нестеровка) заметно возрастает роль самородных металлов Cu, Fe, Pb, появляются пластинки Zn в сростках с карбидами Fe и Si.

Характерной особенностью изученной ассоциации является повсеместное присутствие киновари. В генетическом отношении золото и платина тесно связаны с киноварной минерализацией, поэтому закономерности эволюции изотопного состава серы имеют решающее значение при реконструкции условий рудоотложения. Было установлено, что изотопный состав этого сульфида ртути укладывается в узком интервале от +0,5 до + 1,0 ‰, близком к мантийной метке [2]. На южном фланге значение $\delta^{34}S$ сдвигаются в более легкую сторону от -1,2 до -2,6 ‰. В целом отклонения изотопного состава киновари различных участков узла незначительны и обусловлены, скорее всего, изменением температур кристаллизации, либо параметров Eh-pH. Соответственно вариации $\delta^{34}S$ рассматриваются нами как результат эволюции единой рудообразующей системы, в формировании которой участвовали глубинные флюиды.

Появление золото-платиноидной киноварной минерализации, равно как и ее площадное распределение предопределены, по нашему мнению, глубинной геодинамикой, и в первую очередь приуроченностью изученного узла к зоне активного взаимодействия континентальной и океанической литосферных плит с преобладающим режимом их латерального скольжения. При этом, согласно модели А. И. Ханчука [3], в результате сдвиговых перемещений происходило сжатие переходной зоны и формирования на ее месте континентальной литосферы. Таким образом, орогенные пояса на границе континент–океан образуется только в период существования обстановки скольжения литосферных плит. Типовыми для последних являются платинометалльные зональные интрузии урало-аляскинского типа, месторождения золота в черных сланцах и т. д. Геодинамический режим скольжения литосферных плит нередко сопровождается формированием, так называемых «slab window», т. е. проницаемых зон по которым глубинное вещество Земли достигает верхних слоев литосферы. Такая модель хорошо согласуется с нашими геологическими и радиологическими данными. В частности, U/Pb датировки самород-

ного свинца узла показывают возраст минерализации 148 млн лет. [4]. На этом временном отрезке для восточной окраины палеоазиатского континента фиксируется смена геодинамического режима субдукции палеотихоокеанской плиты на режим ее трансформенного скольжения. Геодинамическая история развития тихоокеанской окраины в мезозое находит свое отражение в металлогении. При этом ряд элементов, включающий Hg, Au, Pt, W, трассирует флюидопроводящие системы, «корни» которых связаны с мантией.

Работа выполнена в рамках международного договора между Дальневосточным геологическим институтом ДВО РАН (Владивосток, Россия) и Цзилиньским университетом (Чанчунь, Китай) «Геология рудных месторождений сопредельных территорий» № 1136.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молчанов В. П., Моисеенко В. Г., Хомич В. Г. Минералы благородных металлов россыпей Фадеевского узла (Приморье) как индикаторы формационной принадлежности коренных источников // Докл. РАН. – 2005. – Т. 402, № 5. – С. 661–664.
2. Озерова Н. А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М : Наука, 1986. – 232 с.
3. Ханчук А. И. Тектоника, магматизм и рудообразование в обстановках трансформного скольжения литосферных плит // Геологические процессы в обстановках субдукции, колизии и скольжения литосферных плит. – Владивосток : Дальнаука, 2016. – С. 100–101.
4. Рассказов С. В., Иванов В. В., Ханчук А. И., Чащин А. А., Фефелов Н. Н., Саранина Е. В. Изотопная гетерогенность свинца галенитов из рудных месторождений Приморья // Докл. РАН. – 2002. – Т. 387, № 5. – С. 685–689.

Мурзина Н. М. [1], Мурзин О. В. [2]
[1] АО «СНИИГГиМС», г. Новосибирск,
[2] ФБУ «ТФГИ по СФО», г. Новосибирск

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ СИСТЕМЫ УЛАНТОВСКОГО ГРАНИТОИДНОГО МАССИВА (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Улантовский молибден-медно-порфировый рудный узел охватывает одноименный гранитоидный массив площадью около 80 км^2, который расположен в Новосибирской области и приурочен к северной части Салаирского кряжа. Массив прорывает вулканогенно-осадочные раннекембрийские и девонские отложения. Северо-восточная и юго-западная части массива сложены кварцевыми диоритами и плагиогранитами, центральная часть массива сложена биотитовыми и роговообманково-биотитовыми лейкогранитами (Беляев, 2002ф). Массив рассекается тектонической зоной северо-западного простирания протяженностью 12 км и шириной 0,5–1,8 км.

Установлено, что Улантовский массив (полихронный плутон по Г. А. Бабину [1]) состоит из трех фаз. Первая фаза представлена вариациями диоритов от габбродиоритов, диоритов до кварцевых диоритов и тоналит-гранодиоритов. По мнению Г. А. Бабина [1], данные образования принадлежат выдрихинскому диорит-гранодиоритовому комплексу среднего-верхнего карбона. Вторая фаза представлена преимущественно гранитами от средне- до грубо-крупнозернистых порфировидной структуры, которые, по мнению Г. А. Бабина [1] принадлежат жерновскому монцонит-граносиенит-гранит-лейкогранитовому комплексу позднепермско-раннетриасового возраста. Дополнительная, или третья, фаза представлена гранитами светло-серого, розовато-серого цвета, мелко-среднезернистыми, массивными. Состав гранитов колеблется, характеризуется переходами от плагиогранитов к гранитам и лейкоплагиогранитам. Мелко-среднезернистые граниты, предположительно, являются рудогенерирующими. С этими гранитами связано внедрение кварцевых жил вдоль северо-западной тектонической зоны. Жилы серого сливного кварца несут молибденит-пирит-халькопиритовую минерализацию. Вмещающие породы сопровождаются интенсивным окварцеванием, альбитизацией.

Вдоль северо-западной тектонической зоны наблюдается также внедрение мелких тел, даек, штоков сиенитов, сиенит-порфиритов, монцонитов, гранит-порфиров, гранит-аплитов, риолит-порфиров. Сиениты, сиениты-порфириты розовато-серого цвета содержат гнездово-вкрапленную, просечковую минерализацию пирита, пирит-халькопирита, сопровождают процессы рудообразования, являются синрудными. Оказывают воздействие на вмещающие граниты светло-серого и розовато-серого цвета в виде апофиз, инъекций по трещинам и альбитизации вдоль этих трещин.

Кроме того, в пределах тектонической зоны встречаются молодые, пострудные дайки андезитов, андезибазальтов.

Интрузивные образования разнообразны и различаются по вещественному составу, структурным и текстурным особенностям.

В пределах северо-восточной тектонической зоны и оперяющих ее разрывных нарушениях все породы подвергались последующим изменениям – рассланцеванию, катаклазу, брекчированию и метасоматическим изменениям разнообразного состава. Особенно широко они проявлены в пределах Верх-Чемского медно-молибден-порфирового рудопроявления и Улантовского молибденового рудопроявления. Здесь наблюдаются значительные процессы хлоритизации, серицитизации, альбитизации, калишпатизации, окварцевания, гематитизации вмещающих пород, которые охватывают широкие площади, особенно развиты по тектонически проработанным зонам и выходят за пределы собственно рудных тел.

Во внешней зоне метасоматических изменений развиты пропилитизация и альбитизация гранитоидов. Они распространены на значительном расстоянии и сопровождают северо-западную тектоническую зону на всем ее протяжении с юго-востока на северо-запад.

Околорудные метасоматиты представлены серицит-кварцевыми, кварц-серицитовыми, серицит-хлорит-кварцевыми, хлорит-кварцевыми метасоматитами, реже серицитолитами и хлоритолитами. Рудовмещающие и околорудные метасоматиты обычно содержат рудную минерализацию вкрапленного, гнездово-вкрапленного, гнездово-прожилкового, прожилкового типа пиритового, пирит-халькопиритового, молибденит-кварцевого, пирит-молибденит-халькопиритового состава.

В отдельных скважинах установлены зоны гидротермальной аргиллизации, распространенные вверх по разрезу над околорудными серицит-хлорит-кварцевыми метасоматитами, сопровождающими рудоносные кварцевые жилы.

Вмещающие породы, рудная минерализация, метасоматически измененные породы рудопроявления подвергались динамометаморфизму с образованием тектонических брекчий и катаклазитов. Руды испытывали динамометаморфизм, выраженный в брекчировании, катаклазе.

Оруденение на Улантовском и Верх-Чемском рудопроявлениях представляет собой штокверк – зону гидротермально-метасоматически измененных пород, пронизанных сетью кварцевых, полевошпат-кварцевых, кварц-карбонатных жил с вкрапленной, гнездово-вкрапленной, гнездово-прожилковой, прожилковой молибденит-пирит-халькопиритовой минерализацией. Мелкие прожилки, просечки часто сложены исключительно пиритом, пирит-халькопиритом или халькопиритом. Рудные прожилки в длину достигают нескольких сантиметров (от 1 до 5–10 см).

Рудные тела имеют форму столбообразных или неправильных залежей. Основные рудные залежи Верх-Чемского рудопроявления простираются в северо-северо-западном направлении. Рудные залежи и тела не имеют четких границ и выделяются по данным опробования. Внутреннее строение рудных залежей характеризуется сложной морфологией рудных тел и незакономерным чередованием рудных и безрудных интервалов из-за крайне неравномерного распределения минерализации молибденита, халькопирита.

Сверху вниз по разрезу наблюдается определенная (обобщенная) рудная зональность. Верхняя часть разреза представлена рассеянной мелкокристаллической вкрапленностью пирита, а также мелкими прожилками, просечками, гнездово-прожилковыми плотными пиритовыми агрегатами. Вниз по разрезу пиритовые руды сменяются пирит-халькопиритовыми с энаргитом и люцонитом. Далее вниз по разрезу наблюдаются молибденит-пирит-халькопиритовые руды с незначительным количеством полиметаллов (тенантит, сфалерит, галенит и др.). Рудные

тела, как правило, приурочены к контактам контрастных групп пород, гранитов, гранодиоритов, гранит-порфиров, риодацит-порфиров.

Установлена отчетливая стадийность в образовании минеральных парагенезисов и порядок минералообразования в рудах. Выделяются следующие этапы минералообразования: магматогенный, гидротермально-метасоматический во вмещающих породах; гидротермально-метасоматический, связанный с кварцево-жильным образованием; метаморфогенный, к которому относятся стадии брекчирования, перекристаллизации рудной минерализации и этап вторичного преобразования руд в зоне гипергенеза. Руды месторождения формировались в пределах тектонической зоны, испытывали дислокационный и внутрирудный метаморфизм в течение длительного времени.

Выделяются следующие типы руд. Пирит-халькопиритовые руды с незначительным количеством молибденита. Молибденит-пирит-халькопиритовые руды с энаргитом и люцонитом. Молибденит-пирит-халькопиритовые руды с полиметаллами. Выделяются также халькопирит-молибденитовые и молибденитовые руды в кварцевых жилах. В зоне гипергенеза вторичные руды представлены примазками, гнездами, прожилками карбонатов меди, окислов и гидроокислов железа. Зона вторичного сульфидного обогащения не установлена.

Наблюдаемые на отдельных участках рудные брекчии принадлежат к пострудному этапу рудообразования, обусловлены результатом деятельности многократных подвижек, сдавливания, повторной ломки и перекристаллизации отложенных ранее руд.

Основными минералами меди в рудах являются халькопирит, теннантит, энаргит, люцонит, халькозин, ковеллин, борнит. Карбонат меди малахит широко распространен в зоне окисления, азурит присутствует в незначительном количестве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бабин Г. А. [и др.]. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третьего поколения). Лист N-45 (Новокузнецк). – 2007.

Некипелая С. А. [1] (Svetl_nekipelaja@mail.ru),
Гаврилов Р. Ю. [2] (gavrilovroman9@mail.ru)
[1] ОСП «Запсибгеолсъемка» АО «Сибирское ПГО», пос. Елань,
[2] НИ ТПУ, г. Томск

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВА ПРИ ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ В КУЗНЕЦКОМ АЛАТАУ

Цель данной публикации заключается в обосновании необходимости использования при поисковых работах на металлические и ряд других полезных ископаемых современных высокоточных и прецизионных методов исследования вещества, в особенности рудных образований.

Ключевые слова: золотооруденение, метасоматоз, прецизионные методы, Кузнецкий Алатау.

В настоящее время технологические алгоритмы проведения прогнозно-поисковых и поисковых работ на золото в рамках действующих проектов представлены типовыми распространенными методами опоискования площадей. Они включают достаточно затратные площадные геохимические и геофизические съемки, горные работы, изучение на глубину буровыми работами, значительные объемы пробирных, атомно-абсорбционных, химико-спектральных и других традиционных методов исследования вещества. В то же время использование высокоточных методик исследования не является общепринятой практикой. В данной публикации изложен опыт использования электронной микроскопии и спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) для решения поисковых задач.

Внедрение таких приемов анализа вещества в работы, выполняемые как по государственным контрактам, так и по коммерческим договорам, позволяет увидеть перспективы площадей

опоискования под иным углом зрения, заверить результаты массовых традиционных исследований, уточнить и расширить представления об особенностях искомого полезного ископаемого, получить новые научно-практические результаты.

Данные выводы получены по результатам поисковых работ в пределах Южно-Берикульской площади (Кузнецкий Алатау), в минерагеническом отношении расположенной в пределах Берикульского золоторудно-россыпного узла Мартайгинского золоторудно-россыпного района Кузнецко-Алтайской медно-молибден-золоторудной зоны.

Согласно геологическому заданию, целью данных поисковых работ предполагалось выявление рудных зон золото-кварцевого и золото-сульфидно-кварцевого типов, локализованных в метасоматитах, контролируемых тектоническими зонам в интрузивных массивах. При этом одной из основных геологических задач являлось изучение вещественного состава руд в целях прогноза продуктивной ассоциации золота.

По мере проведения геолого-поисковых работ проектные представления об объекте исследования были в значительной степени пересмотрены как в отношении геологического строения в целом, так и в отношении процессов рудообразования.

Согласно предшествующим исследованиям, рудоносные структуры были локализованы в пределах так называемого «Новоберикульского габброидного массива» среднекембрийского таскыльского комплекса. По результатам поисковых работ установлено, что этот фрагмент земной коры представляет собой новоберикульскую вулкано-плутоническую ассоциацию сложного петрографического состава, расположенную в виде маломощной «покрышки» (до 1 км) над плутоническим монцодиоритовым массивом среднекембрийско-раннеордовикского возраста. Массив является источником энергии, рудного вещества и кремнещелочных растворов, воздействующих на образования «покрышки» как по площади, так и по ослабленным зонам разрывных нарушений. В результате такого воздействия происходит преобразование вулканитов в роговики, метагабброиды и метадиоритоиды, для которых интерпретируется метасоматическая природа. Максимальная интенсивность метасоматических процессов характерна для ослабленных зон разрывных нарушений. Данная модель очень важна для оценки перспектив Южно-Берикульской площади. Вулканогенная постройка, прорванная серией разнообразных малых плутонических массивов и многочисленных разрывных нарушений, по сравнению с монолитным плутоническим массивом характеризуется большими перспективами в отношении рудоносности за счет приконтактовых изменений вмещающих пород, надынтрузивных экзоконтактовых зон, трещиноватости становления плутонических тел и разных источников рудного вещества.

Поисковый интерес представляют метасоматиты существенно фельдшпатоидного состава, ранее относимые к магматическим сиенитам, кварцевым сиенитам, лейкодиоритам, а в результате проведенных исследований классифицированные как фельдшпатиты и фельдшпатолиты. Данные метасоматиты, являясь результатом процессов выноса-привноса в ослабленных зонах, локализуются во внешних зонах гидротермально-метасоматических тел, в осевых частях которых отмечаются гидротермалиты кварц-березитового состава с рудным золотом. В приконтактовых частях метасоматических тел кварц-фельдшпатоидного состава параллельно их простиранию были выявлены значительные поля пиритизации с халькопиритом и пирротином. Наличие таких зон с сульфидной минерализацией, где содержание пирротин-халькопирит-пиритовой минерализации достигает 10–15 %, отчетливо видно при документации керна скважин. Наложение стадий рудообразования создает картину полигенного и полиформационного процесса рудоотложения.

Привлечение комплекса традиционных методов исследования минерализации указало на многие отличные от проектных параметров геологические и формационные признаки оруденения. Это касалось геохимического профиля рудной минерализации, минераграфических особенностей руд, рудно-формационного типа оруденения, петрографических признаков рудовмещающих метасоматитов, выводов о рудно-геохимической зональности и в конечном итоге – о месторождении-аналоге. На основании результатов данных методов выявленные ассоциации микроэлементов, коррелирующих с золотом, отличались от установленных на близко расположенных рудных объектах.

Для разрешения проблемных моментов и получения более достоверных результатов в небольшом объеме были проведены атомно-абсорбционный и ICP-MS анализы, а также электронная микроскопия аншлифов.

Основные результаты высокоточной спектрометрии:

1. На основании данных о содержаниях золота в главных типах пород площади, полученных атомно-абсорбционным анализом и ICP-MS методом, сделаны выводы о том, что химико-спектральный метод занижает значения концентраций Au в области < 0,2 г/т. Этот вывод ставит под сомнение полноту выделения рудных тел и рудолокализующих структур.

2. Установленные концентрации микроэлементов-спутников золота позволяют сделать более точные выводы о составе продуктивной ассоциации золота. Максимальная корреляция благородного металла отмечается с Ag, As, Bi, Pb, Te, в меньшей степени – с Cu, Sb.

3. Состав продуктивной ассоциации в сочетании с данными о распределении Hg и Sb в рудоносных метасоматитах указывает на положение золоторудной минерализации в интервале «верхний срез среднетемпературного – нижний срез низкотемпературного уровня рудно-метасоматической колонны».

По итогам электронной микроскопии аншлифов получены следующие результаты:

1. Помимо минералов, установленных традиционной минераграфией (пирит, ильменит, рутил, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, самородное золото, самородное серебро, титаномагнетит, блеклая руда), с помощью электронной микроскопии диагностируются следующие минералы (таблица).

Таблица. Перечень минералов, определенных с использованием электронной микроскопии

№ п/п	Название	Химическая формула
1	висмутин	Bi_2S_3
2	теллуровисмутит	Bi_2Te_3
3	тетрадимит	Bi_2Te_3S
4	гессит	Ag_2Te
5	акантит (?)	Ag_2S
6	шеелит	$CaWO^4$
7	самородное золото	Au
8	самородное серебро	Ag
9	самородный висмут	Bi

Приведенный в таблице минералогический перечень хорошо согласуется с результатами атомно-эмиссионного спектрального анализа, а также результатами ICP-MS.

2. В кварц-кальцитовых жильных образованиях и в березитах в составе основного рудного минерала – пирита – совместно с халькопиритом, галенитом и минералами висмута также были диагностированы включения золота и серебра. Размеры включений тонкодисперсного золота достигают 1,33–2,34 микрон.

Таким образом, полученные с использованием высокоточных методов исследования результаты позволяют рассмотреть рудный потенциал Южно-Берикульской площади с иных позиций.

По особенностям геологического строения, характеру гидротермально-метасоматических изменений, рудногеохимическим, минераграфическим особенностям золоторудная минерализация площади не сопоставляется с известными рудными объектами Берикульского рудного узла (Комсомольским или Староберикульским месторождениями), которые предполагались в качестве эталонов. Для них характерна золоторудная минерализация кварц-золото-сульфидного типа, в то время как для Южно-Берикульской площади установлен также золото-сульфидный тип, выявленный в зонах интенсивной фельдшпатизации. В качестве рудного объекта-аналога по охарактеризованным выше особенностям может быть предложено Васильковское месторождения золота в Казахстане.

По наличию тонкодисперсного золота в пирите, которое может поддаваться обогащению, набору элементов-спутников золота (Bi, Ag, As, W, Te, Pb) следует рассмотреть вопрос о прогнозе объектов золото-редкометального типа (Форт-Нокс, Бутарное, Школьное). Учитывая широкое площадное распространение метасоматических зон с сульфидной минерализацией, можно прогнозировать выявление крупнообъемного объекта.

Для аналогичных Южно-Берикульской площади участков земной коры региона целесообразно продолжить подобные исследования, ибо: «Надежда видит невидимое, чувствует неосязаемое, совершает невозможное» (Станислав Ежи Лец, польский философ).

Николаев Г. С. (gsnikolaev@rambler.ru)
ФГБУН ГЕОХИ РАН, г. Москва

ПЕРЕНОС СУЛЬФИДНОГО ВЕЩЕСТВА В ПРОЦЕССЕ ИНФИЛЬТРАЦИИ ИНТЕРКУМУЛУСНОГО РАСПЛАВА И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ БУРАКОВСКО-АГАНОЗЕРСКОГО ПЛУТОНА

Установлен перенос сульфидов вверх по разрезу в результате инфильтрации интеркумулусного расплава при компакции кумулатов. Это позволяет пересмотреть парадигму стратегии поисков и перспективы рудоносности массива.

Ключевые слова: магматический метасоматоз, фильтр-прессинг, SCSS, COMAGMAT, распределение меди.

На посткумулусной стадии становления крупных стратиформных плутонов происходит компакция кумулатов. Это вызывает направленную вверх инфильтрацию отжимающегося интеркумулусного расплава. Инфильтрация этого подвижного и химически активного агента приводит к его последовательному переуравновешиванию с варьирующей по разрезу вмещающей средой. При этом изменяются составы как расплава, так и протолита. Физико-химические аргументы в пользу реалистичности механизма растворения, переноса и последующего переотложения сульфидов интеркумулятивным расплавом представлены в [1]. На их основе предложена модель образования малосульфидной минерализации Бураковско-Аганозерского интрузива.

Раннепротерозойский Бураковско-Аганозерский массив – крупнейший стратиформный плутон Евразии. В пределах массива установлена малосульфидная минерализация, и комплекс рассматривался как потенциально платиноносный. Массив делится на две части: воронкообразную Аганозерскую (***А***) и корытообразную Бураковско-Шалозерскую (***Б-Ш***). В обобщенном разрезе расслоенной серии снизу вверх выделены четыре зоны: *Ol-, OPx-CPx-, OPx-CPx-Pl-* и *TiMt-OPx-CPx-Pl*-кумулатов [3]. Малосульфидная минерализация массива приурочена к породам зон *OPx-CPx-* и *OPx-CPx-Pl*-кумулатов. При современном уровне эрозионного среза на ***А*** блоке пироксениты и габброиды расположены в его центральной части, образуя вытянутую в субмеридиональном направлении мульду. *OPx-CPx*-кумулаты ***Б-Ш*** части массива были вскрыты скважинами на ее восточной и юго-восточной окраинах.

Пространственное распределение сульфидной фазы в породах массива может быть охарактеризовано валовым распределением меди, которая практически не входит в состав силикатных минералов. Данное исследование основано на п/к спектральном анализе 10 000 проб из 160 скважин, которые были предоставлены КГЭ (2000 г.). Шаг опробования керна составлял 3–4 м, что компенсировало низкую точность анализа и позволило выявить детальную структуру распределения Cu по частным разрезам, вскрытым скважинами.

В породах массива установлены два типа распределения Cu (рис. 1). Разрез первого типа вскрыт скв. 200: значительные содержания меди приурочены ко всей толще нижней пачки зоны *OPx-CPx*-кумулатов, а выше по разрезу они практически отсутствуют. Второй тип разреза наблюдается в керне скв. 68: медная минерализация приурочена к верхней части нижней пачки зоны *OPx-CPx*-кумулатов, а выше среди пород зоны *OPx-CPx-Pl*-кумулатов наблюдаются пики, кратно превосходящие содержания Cu, наблюдающиеся в нижней пачке.

В разных частях массива существовала разная скорость накопления кумулятивных толщ. Так, в скв. 68, которая была заложена вблизи осевой части габброидной мульды, наблюдается разрез с максимальными мощностями. Тогда как скв. 200 вскрывает породы западного крыла синформы, для которой характерны разрезы сокращенной мощности. Так, мощность разреза зоны *OPx-CPx*-кумулатов скв. 200 практически вдвое меньше аналогичного интервала скв. 68 (рис. 1). Распространив эту пропорцию на габброидные породы, в скважинах можно выделить соответствующие друг другу интервалы. Так, интервалу 31–665 м скважины 68 можно сопоставить интервал 119–419 м в скв. 200. Рассчитанные для этих интервалов средневзвешенные содержания меди $\left(\frac{\sum \Delta h_i C_i^{Cu}}{\sum \Delta h_i}\right)$ составляют 328 и 325 ppm для скважин 68 и 200 соответственно. Разница полученных оценок не превосходит 1 отн. %. Это позволяет утверждать, что дополнитель-

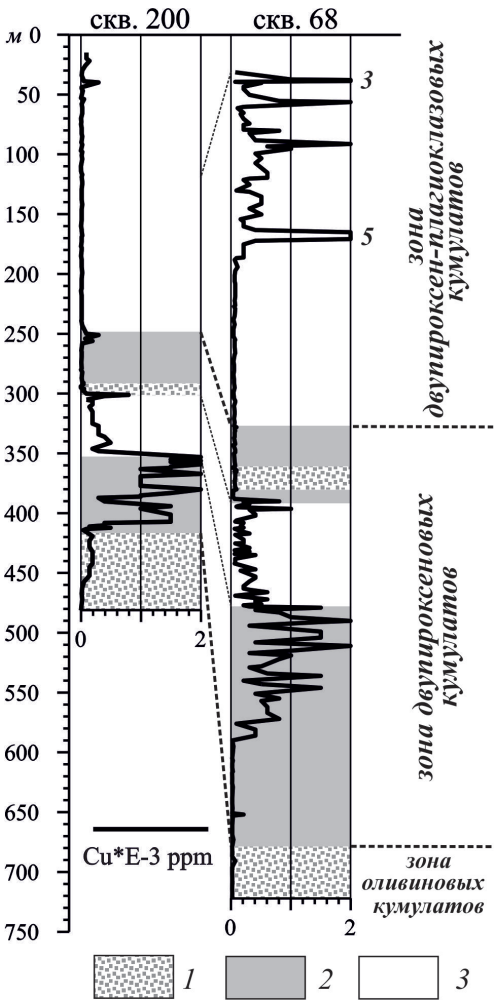


Рис. 1. Вариации меди в породах центральной части Аганозерского блока: значения пиков, выходящих за пределы графика, обозначены цифрами. Пунктирными линиями сопоставлены соответствующие интервалы кернов. Условные обозначения: *1* – участки разреза с преобладанием оливиновых кумулатов, *2* – участки разреза с преобладанием двупироксеновых кумулатов, *3* – участки разреза с преобладанием двупироксен-плагиоклазовых кумулатов

ный привнос / вынос меди отсутствовал, а различия в геохимической структуре минерализации определяются ее перераспределением по разрезу.

Наблюдается закономерность в распределении этих типов разрезов по площади массива. Скважины с разрезами первого типа расположены на восточной и юго-восточной окраинах ***Б-Ш*** части массива и на западном крыле габброидной синформы А блока. Скважины с разрезами второго типа приурочены к осевой части мульды и ее восточного более пологого крыла.

Численное моделирование влияния вариаций петрогенных компонентов на растворимость сульфида в базальтовом расплаве проводилось с помощью программы COMAGMAT-5 [4]. Влияние вариаций компонентов моделировалось путем последовательного добавления или вычитания рассматриваемого компонента к составу базового расплава. По смыслу эта процедура соответствует определению частной производной. В качестве базового был взят состав SHL* (таблица). Он был численно получен из состава SHL, который является оценкой родоначального расплава плутона [2]. В результате кристаллизации SHL на 10 мол. % при 1 атм до температуры 1197 °С производный расплав SHL* находится в равновесии с Fo_{83} и очень близок к котектике *Ol-Opx*.

Результаты расчетов показаны на сводной диаграмме (рис. 2) и представляют графики зависимости концентрации серы в расплаве в зависимости от вариаций рассматриваемого петрогенного компонента расплава, выраженных величиной отклонения текущей концентрации от концентрации в базовом расплаве. Увеличение содержаний CaO, FeO и MgO способствует росту растворимости сульфида в расплаве, в то время как SiO_2 и Al_2O_3 демонстрируют обратный эффект.

Модель формирования малосульфидной минерализации Бураковско-Аганозерского плутона с учетом вышеизложенного может быть представлена следующим образом. На кумулятивной стадии становления интрузива появление в кристаллизационной последовательности клинопироксена понижает концентрацию CaO в расплаве, что приводит к ликвации сульфидной фазы. В результате образуется распределение сульфидов, характерное для разрезов первого типа.

На посткумулусной стадии в результате компакции кумулятивных толщ восходящий поток инфильтрующегося интеркумулятивного расплава формирует распределение сульфидов, характерное для разрезов второго типа. Поступающий из оливиновых кумулатов более магнезиальный (и, возможно, более горячий) расплав недосыщен относительно сульфидной фазы. Происходит растворение сульфидов. Контакт расплава с *OPx-CPx*-кумулатами приводит к изменению в нем коэффициента активности кальция и увеличению содержания CaO. Это еще больше увеличивает транспортные возможности расплава. Сброс растворенного сульфидного вещества в вышележащих толщах должен происходить на геохимических или термических барьерах, изменяющих состав расплава в пользу устойчивости ликвации. Судя по исследованным частным разрезам А блока, вскрытым скважинами, масштабы переноса сульфидного

Таблица. Составы расплава, используемые в модельных расчетах (мас. %)

Состав	$T_{ликв}$,°C	$Fo_{ликв}$	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
SHL	1285	87	54,28	0,77	12,11	9,74	0,16	11,27	9,50	1,67	0,50
SHL*	1197	83	55,65	0,85	13,30	9,13	0,15	7,97	10,40	1,83	0,55

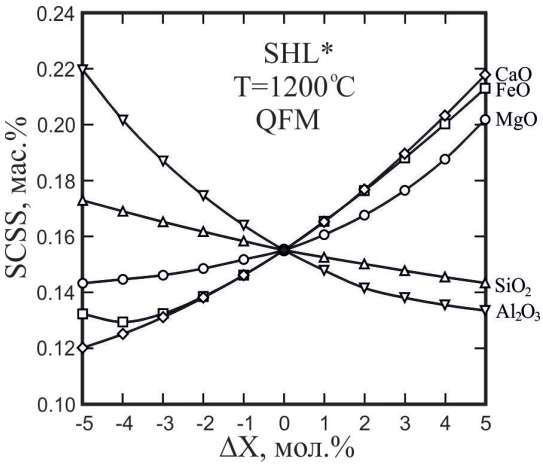


Рис. 2. Модельная зависимость растворимости сульфида в расплаве (SCSS – Sulfur Concentration at Sulfide Saturation) от вариаций в нем петрогенных окислов:
расчеты по модели COMAGMAT-5 проведены для сухих условий, температуры 1200 °C, давления 1 атм и условий буфера QFM

вещества могут составлять первые сотни метров вверх по разрезу расслоенной толщи.

Перспективы рудоносности плутона. Опираясь на предложенную модель формирования малосульфидной минерализации следует пересмотреть подходы к поиску оруденения. Ранее поиски были направлены на выявление высоких концентраций сульфидов. Они характерны для распределения второго типа и генетически являются переотложенными. Их локализация зависит от инфильтрационных свойств конкретных участков протолита и поэтому труднопредсказуема. Толщи распределения первого типа остались без внимания и вскрыты только единичными скважинами. В случае отработки технологии извлечения они могут представлять экономический интерес, несмотря на низкие концентрации сульфидов.

Выводы. 1. Предложен механизм переноса сульфидного вещества. 2. Проявление этого процесса – перераспределения вверх по разрезу малосульфидной минерализации установлены в природе. Масштаб этого явления оценен в первые сотни метров. 3. Проведен физико-химический анализ и моделирование влияния петрогенных компонентов расплава на растворимость сульфидной фазы. Показана важная роль кальция и магния в процессе ликвации / растворения сульфидов. 4. Сформулирована генетическая модель малосульфидной минерализации Бураковско-Аганозерского плутона. 5. Приведены соображения в пользу пересмотра парадигмы поиска оруденения.

Работа выполнена в рамках госзадания ГЕОХИ им. В. И. Вернадского РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Николаев Г. С. Инфильтрация интеркумулусного расплава как механизм переноса сульфидного вещества (на примере малосульфидной минерализации Бураковско-Аганозерского плутона) // Геохимия. – 2021. – № 5. – С. 425–435.
2. Николаев Г. С., Арискин А. А. Бураковско-Аганозерский расслоенный массив Заонежья: II. Строение краевой группы и оценка состава родоначальной магмы методом геохимической термометрии // Геохимия. – 2005. – № 7. – С. 712–732.
3. Николаев Г. С., Хворов Д. М. Бураковско-Аганозерский расслоенный массив Заонежья: I. Геохимическая структура расслоенной серии плутона // Геохимия. – 2003. – № 8. – С. 847–865.
4. Ariskin A. A., Bychkov K. A., Nikolaev G. S., Barmina G. S. The COMAGMAT-5: Modeling the Effect of Fe–Ni Sulfide Immiscibility in Crystallizing Magmas and Cumulates // J. of Petrology. – 2018. – V. 59. – Iss. 2. – P. 283–298.

**Николаев Ю. Н. (nikolaev@geol.msu.ru), Балыкова И. В. (irin701@gmail.com),
Бакшеев И. А. (iab_68@mail.ru), Калько И. А. (ildarkalko@ya.ru),
Аплеталин А. В. (aplet@geol.msu.ru)**
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ПЕРИВУЛКАНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЧУКОТСКОГО СЕКТОРА ОЧВП: ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ

В докладе рассматриваются условия формирования, закономерности размещения, минералого-геохимические характеристики золото-серебряного оруденения в перивулканичекой зоне Чукотского сектора ОЧВП. Проявления этой зоны рассматриваются как ближайший резерв для действующих золоторудных предприятий Чукотки.

Ключевые слова: золото-серебряное оруденение, геохимические характеристики, минеральный состав, критерии прогнозирования.

К категории объектов, промышленное освоение которых ведется (или планируется в ближайшее время) на Чукотке, относятся месторождения золото-кварцевой, золото-серебряной и медно-порфировой рудных формаций. Наиболее востребованными и обеспечивающими основную добычу благородных металлов в последнее десятилетие являлись месторождения золото-серебряной формации с богатыми (бонанцевыми) рудами (Купол, Двойное, Валунистый), отработка которых вступила в завершающую стадию.

Разведка новых перспективных объектов, расположенных во внешней зоне Чукотского сектора ОЧВП, пока не покрывает дефицит запасов золото-серебряных руд на рудниках Купол и Двойной. Для поддержания добычи на существующем уровне требуются ввод в эксплуатацию новых месторождений и расширение географии поисков в сопряженных районах, перспективных на выявление промышленных золото-серебряных объектов.

Для решения поставленных задач особое внимание следует обратить на перивулканическую зону Анадырского и Пенжинского секторов ОЧВП.

Основными структурами, к которым приурочена и где широко проявлена золото-серебряная минерализация перивулканической зоны, являются наложенные вулканические впадины – области вулканической активности аптского времени, ортогональные ОЧВП и предшествующие его формированию [1, 3]. Они формировались на месте ранее заложенных прогибов, выполненных континентальной молассой юрского–раннемелового возраста и характеризуются сочетанием интрузивного магматизма и комагматичных вулканитов.

На территории Западной Чукотки наиболее крупными структурами такого типа являются Тытыльвеемская, Айнахкургенская, Курьинская и Нембондинская наложенные впадины и Камешковый прогиб с крупной Мангазейской вулканоструктурой, расположенной изолированно во внутренней части Олойской складчатой зоны.

Наложенные впадины до сотен километров в поперечнике распространены на территории Олойской, Анюйской и Южно-Анюйской СФЗ. Мощность терригенных толщ, слагающих их основания, в наиболее крупных прогибах достигает 3 км, максимальная мощность вулканитов оценивается в 2–2,5 км, их состав варьирует от базальтов до риолитов.

Золото-серебряные проявления в наложенных впадинах отличаются по условиям формирования, структурам и составу оруденения. Часть из них относится к порфирово-эпитермальным системам, сформировавшимся в начале аптского времени [1] в связи с внедрением интрузий габбро-диорит-гранодиоритового состава, другая часть связана с гранитоидами позднего апта и, возможно, ассоциирует с невскрытыми системами IRGS.

Наряду с золото-серебряной минерализацией, тесно пространственно и генетически связанной с интрузивными образованиями, в наложенных впадинах мезозоид развита золото-серебряная минерализация, обладающая всеми признаками вулканогенной золото-серебряной формации (наличие адуляра, присутствие низкотемпературных сульфосольных парагенезисов, низкая пробность золота и мелкие размеры его частиц).

Золото-серебряные проявления, которые по всем признакам могут быть отнесены к плутоногенному типу, наиболее широко распространены в наложенных впадинах мезозоид Запад-

ной Чукотки. Они легко выявляются при поисках по потокам и вторичным ореолам рассеяния, поскольку представляют собой крупные геохимические аномалии, формирующиеся за счет площадной сульфидизации и потенциально рудоносных минерализованных зон дробления и кварцевого прожилкования. Практически во всех узлах с золото-серебряной минерализацией этого типа известны мелкие месторождения россыпного низкопробного золота (400–700 ‰), соответствующие таковому в коренных источниках [2].

Потенциальные рудные узлы с золото-серебряной минерализацией, связанные с интрузиями, характеризуются высокоинтенсивными потоками и вторичными ореолами рассеяния Au (0,*n*–*n* г/т), Ag (*n*–*n*·10^1 г/т) и As (0,0*n*–0,*n* %). Стандартный набор элементов-спутников включает Pb, Cu, Zn, Mo. Важными индикаторами, указывающими на связь оруденения с интрузивным магматизмом, являются Bi, Te и повышенная сульфидность руд, в составе которых доминируют ранние арсенопирит и пирит. Продуктивности Au в потоках и вторичных ореолах рассеяния в геохимических узлах этого типа могут превышать 100 м^2%, Ag – 1000 м^2%, прогнозные ресурсы соответствуют среднему (до крупного) масштабу.

Золото-серебряные проявления вулканогенной формации являются более редким событием в вулканических наложенных впадинах, но при этом имеют доказанное промышленное значение. Они выявляются в составе рудных узлов, где также широко распространена плутоногенная золото-серебряная минерализация, но при этом не связаны с интрузивными образованиями. Их отличает приуроченность к полям вулканитов андезитового состава и связь с среднекислыми субвулканическими телами. Структурно-морфологический тип оруденения – жильные и жильно-прожилковые зоны, имеющие малые площади выходов на поверхность.

Золото-сульфосольный минеральный парагенезис в рудах этого типа обычно не превышает 1 % от объема жильного кварца, что в совокупности с небольшими по площади выходами жил на поверхность приводит к формированию слабоинтенсивных потоков рассеяния Au и Ag и более контрастных, но развитых локально, вторичных ореолов Au (0,*n*–*n* г/т), Ag (*n*–*n*10^1 г/т), As и Sb (0,00*n*–0,0*n* %). Продуктивности Au в потоках и вторичных ореолах в геохимических узлах этого типа не превышают 10–20 м^2 %, Ag – 50–100 м^2 %, оцененные прогнозные ресурсы соответствуют мелкому–среднему масштабу.

В крупных рудных узлах с несколькими этапами магматической деятельности и рудообразования, где развита золото-серебряная минерализация обоих типов, их идентификация затруднительна без глубокой детализации и проведения минералогических и термобарогеохимических исследований. Минеральные комплексы золото-серебряной вулканогенной формации в перивулканической зоне ОЧВП формировались при более низких температурах (*t* = 120–260 °С) и характеризуются слабой соленостью (от 0,2–1,2 до 1,4–2,7 вес. % экв. NaCl). Золото-серебряная минерализация плутоногенного типа более высокотемпературная (*t* = 230–340 °С), флюиды более минерализованы 1,1–5,9 вес. % экв. NaCl.

В настоящее время золото-серебряное оруденение вулканогенной формации известно и отрабатывается в Тытыльвеемской впадине (месторождение Двойное), разведано и имеет промышленные перспективы в Кричальской вулканоструктуре (месторождение Клен).

Положительные результаты получены по Нембондинскому прогибу, где в результате проведенных недавно работ на листах Q-58-XXI, XXII выявлены перспективные золото-серебряные проявления Крыло, Оренковка, Ефимов Ключ, Тур, Нембондичан [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кара Т. В., Тихомиров П. Л., Демин А. Д. Новые сведения о возрасте магматических событий в Олойской складчатой зоне, Западная Чукотка (по результатам U-Pb датирования цирконов) // Доклады РАН. Сер. Геол. – 2019. – Т. 489. – № 2. – С. 161–165.
2. Николаев Ю. Н., Калько И. А., Бакшеев И. А. и др. Золото-серебряная минерализация Олойской зоны и ее промышленные перспективы // Отечественная геология. – 2020. – № 1. – С. 66–79.
3. Тихомиров П. Л., Прокофьев В. Ю., Калько И. А. [и др.] Постколлизионный магматизм Западной Чукотки и раннемеловая тектоническая перестройка Северо-Востока Азии // Геотектоника. – 2017. – № 2. – С. 32–54.

Новопашина А. В. (novopashinaav@alrosa.ru), Федоров Д. Н. (fedorovdn@alrosa.ru)
Вилюйская геологоразведочная экспедиция, ЭГЦ, НГМ, г. Мирный

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ СЮЛЬДЮКАРСКАЯ СЮЛЬДЮКАРСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ, РЕСПУБЛИКА САХА

Результаты построения физико-геологической модели кимберлитовой трубки Сюльдюкарская показали лучшую сходимость модельного магнитного поля с реальным при максимальной генерализации модели, использовании модальных значений магнитной восприимчивости и общих значений склонения и наклонения остаточной намагниченности для всех аппроксимирующих объемов.

Ключевые слова: кимберлитовая трубка, моделирование, магнитные параметры.

Кимберлитовая трубка Сюльдюкарская, открытая экспедицией АК АЛРОСА в 2015 г. при заверке аэромагнитной аномалии Т-54-14 [1], является первым и к настоящему моменту единственным известным кимберлитовым телом Сюльдюкарского кимберлитового поля, расположенного к северу от Мирнинского поля, в южной части Ыгыаттинского алмазоносного района [2]. К 2024 г. в пределах рудного тела он детально изучен методами магниторазведки, гравиразведки, электроразведки, сейсморазведки и покрыт плотной сетью поисково-оценочных скважин, в связи с чем является уникальным объектом, изученность которого позволяет строить комплексные модели по широкому спектру современных данных. Эта возможность, в свою очередь, способствует повышению точности решения прямых задач геофизики для оценки перспектив решения обратных задач на других объектах и установления критериев для их более эффективного решения.

Рудное тело размером 230 × 80 м круто падает на северо-запад (углы падения 75–78°), его верхняя граница вскрыта на глубине 31–37 м, под отложениями ботуобинской свиты среднего–верхнего карбона, состоит из двух сопряженных тел (западного и восточного) [3]. Наземная магнитная аномалия над кимберлитовым телом амплитудой до 30–40 нТл имеет два максимума. В гравитационном поле объект не проявлен. По результатам 2D-инверсии данных электротомографии тело выделяется четкой субвертикальной низкоомной аномалией 50–100 Ом·м с соответствующим рудному объекту углом падения (Олейченко и др. Информационный отчет «Разработка и внедрение адаптированной методики применения электроразведочного комплекса «Скала 64К15» для поиска кимберлитовых тел». Этап II, ИНГГ СО РАН, 2020. Л. 14–27).

По результатам кернового опробования установлено, что алмазоносность кимберлитов трубки Сюльдюкарская сопоставима с промышленными месторождениями Якутской алмазоносной провинции [1], но среднее содержание алмазов в западном теле на порядок выше, чем в восточном. При этом западное тело менее магнитно: анализ данных скважинной магниторазведки (СМ) по скважинам, окружающим восточное кимберлитовое тело, показывает, что влияние магнитного тела надежно регистрируется в скважинах на расстоянии 40–60 м, менее надежно – на расстоянии 70–90 м, признаки влияния западного кимберлитового тела на диаграммах СМ проявлены до 30 м.

Ранее с использованием модели КМВ высокого разрешения специалистами геофизической партии ГРЭ в программе ModelVision PRO проведена инверсия магнитного поля без учета остаточной намагниченности (Мальков и др. Отчет о результатах проведения поисковых работ на алмазы в пределах Сюльдюкарской площади в 2015–2020 гг. АК «АЛРОСА», Вилюйская ГРЭ, 2020. Л. 76–79). Несмотря на большую геометрическую точность, RMS модели характеризовала сходимость модельного поля с реальным как низкую. Для сравнения нами было проведено повторное моделирование по нескольким профилям с использованием моделей различного разрешения и учетом параметров остаточной намагниченности, так как потенциально возможный существенный вклад остаточной намагниченности в аномальный эффект может повлиять на структуру поля и вызвать смещение эпицентра аномалии, что снижает эффективность интерпретации.

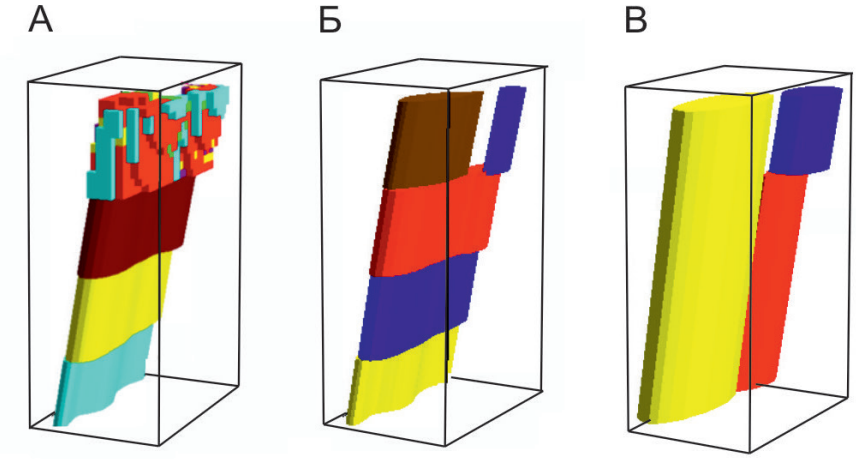


Рис. 1. Модели кимберлитовой трубки Сюльдюкарская:
А – модель 1, Б – модель 2, В – модель 3

Всего рассмотрено три модели разной степени генерализации (рис. 1). Параметры нормального поля Земли IGRF заданы для географического положения объекта на 2018 г. Магнитная восприимчивость вмещающей среды и перекрывающего горизонта задана в соответствии с известной петрофизической моделью. Коэффициент Кенигсбергера Q = 0,45 по данным двух образцов (Мальков и др. Отчет о результатах проведения поисковых работ на алмазы в пределах Сюльдюкарской площади в 2015–2020 гг. АК «АЛРОСА», Вилюйская ГРЭ, 2020. Л. 108–109) принимался одинаковым для всего объема кимберлита.

Модель 1. На рис. 1, А представлена модель высокого разрешения. Верхняя более детальная часть модели создана на основе данных по скважинам о конфигурации кимберлитового тела и магнитной восприимчивости кимберлита (размер ячеек 10 × 10 × 10 м), нижняя менее детальная часть – на основе плана погоризонтальных срезов кимберлитовой трубки. Магнитная восприимчивость менее подробной части задана в диапазоне модальных значений магнитной восприимчивости верхней части по данным каротажа. Модель 1 не обеспечивает удовлетворительную сходимость наблюденного и модельного полей. RMS решений составляет более 20 %.

Модель 2. Менее детальная модель 2 (см. рис. 1, Б) – создана на основе погоризонтальных срезов, модальная магнитная восприимчивость ее подбиралась в соответствии с данными каротажа – также не обеспечивает хорошую сходимость, RMS решений не превышает 20 %, но не является удовлетворительным.

Модель 3. Сходимость модели с низким разрешением (см. рис. 1, В), созданной на основе упрощения модели 2, достигается при использовании параметров, приведенных в таблице, RMS ~ 8 % и менее. В результате инверсии (рис. 2) подобраны значения магнитного склонения (D) и наклонения (I) остаточной намагниченности кимберлитового тела. В решениях обратной задачи существуют эквивалентности: схожие решения можно получить для векторов остаточной намагниченности противоположных знаков.

Результаты моделирования позволили сделать следующие выводы и сформулировать соответствующие рекомендации.

1) Наилучшая сходимость достигается в модели 3 – самой упрощенной, что объясняется суперпозицией вклада различных разнонамагниченных объемов в общий аномальный эффект, а также невозможностью контролировать геометрические и магнитные параметры модели для слишком большого количества объемов при использовании моделей более высокого разрешения. Для дальнейших удовлетворительных результатов инверсии целесообразно максимально упрощать модель путем значительной генерализации геометрии моделируемого объекта и использования известных модальных значений магнитной восприимчивости, свойственных кимберлитам. При выборе магнитных параметров модели желательно ориентироваться на модальное значение магнитной восприимчивости, так как данный параметр имеет вероятностное распределение с тяжелым хвостом.

2) При отсутствии данных бурения о местоположении и геометрии объекта минимальная априорная информация для корректного моделирования для задач оценивания в первом

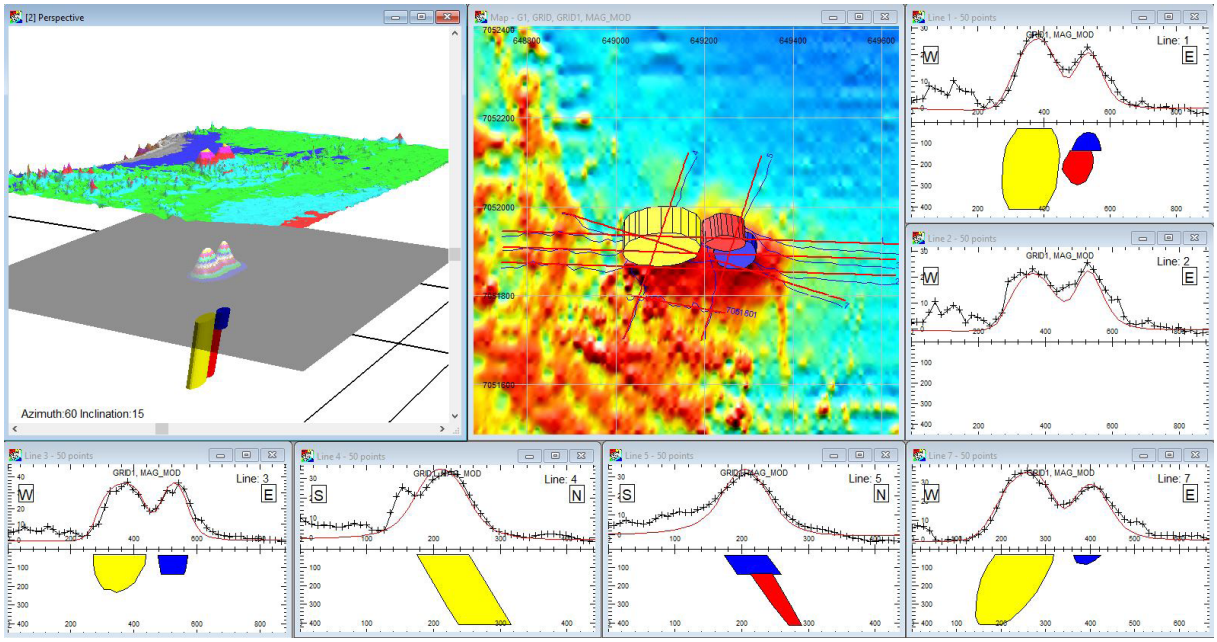


Рис. 2. Результат инверсии магнитного поля от трубки Сюльдюкарская для модели 3: кривая с крестиками – наблюденное поле, сплошная кривая – модельное поле

Таблица. Магнитные параметры модели 3

Кимберлитовое тело	$\varkappa$, ед. СИ	Q	I,°	D,°
Западное	0,002	0,45	60	250
Восточное, верхний блок	0,003	0,45	60	250
Восточное, нижний блок	0,003	0,45	60	250

приближении параметров искомого объекта – глубина кровли, потенциально оцениваемая по структуре магнитного поля по нескольким профилям, пересекающим аномалию.

3) Даже при наличии большого количества априорной информации, включая магнитную восприимчивость по данным ГИС, при отсутствии данных об остаточной намагниченности, включая параметр Q, существует множество эквивалентных решений обратной задачи. В результатах инверсии существуют эквивалентности: схожие решения можно получить для векторов остаточной намагниченности противоположных знаков.

Таким образом, результаты показали, что для моделирования на других объектах при отсутствии априорной информации целесообразно задавать магнитные параметры, обычно свойственные преобладающему количеству образцов кимберлитов (на основе статистики), для генерализованного тела, что снижает эквивалентности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мальцев М. В., Толстов А. В., Фомин В. М. Старкова Т. С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник ВГУ. Серия : Геология. – 2016. – № 3. – С. 86–94.
2. Тарских О. В., Шахурдина Н. К. Латеральная неоднородность верхней мантии на территории Якутской алмазоносной провинции (на примере Мирнинского, Накынского и Сюльдюкарского кимберлитовых полей) // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) (29 мая – 1 июня 2018 г., г. Мирный). – Мирный : АЛРОСА, 2018. – С. 195–199.
3. Проценко Е. В., Горев Н. И. Сюльдюкарское кимберлитовое поле, его границы и перспективы коренной алмазоносности по результатам тектонического анализа // Эффективность

геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) (29 мая – 1 июня 2018 г., г. Мирный). Мирный : АЛРОСА, 2018. – С. 148–151.

Норбобоев У. О. [1] (uralnorboboyev03@gmail.com),
Мирсаяпов Р. И. [2] (rafismirsayapovsd@gmail.com),
Рузиев С. К. [2] (roziyev.sunnatillo@mail.ru)
[1] ГУ «Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева», г. Ташкент, Республика Узбекистан,
[2] ГУ «Институт минеральных ресурсов», г. Ташкент, Республика Узбекистан

ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАНОГО ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ОТРОГОВ ГИССАРСКОГО ХРЕБТА

Использование современных программ в области геологии имеет большое значение при поиске полезных ископаемых на поверхности и в недрах Земли, а особенно в тех аспектах, которые трудно выполнить руками человека. При проведении геологических исследований используются несколько программ: Lessa, Envi, Arc GIS, Erdas imagine и другие. Среди этих программ Lessa и Envi имеют ряд преимуществ при обнаружении линеаментов.

Ключевые слова: линеаменты, дистанционные методы, структурный анализ, Лесса, SRTM, LANDSAT-8, Envi.

Линеамент, линейный элемент, в геологии обозначает линейные структурные элементы, которые видны на поверхности Земли или геологических образованиях. Они представляют собой линейные или линейно-плоские элементы, обычно имеющие значительную длину по сравнению с их шириной. Формы линеаментов могут быть прямыми или изогнутыми, иметь различные углы наклона и протяженность.

Линеаментный анализ представляет собой эффективный набор дистанционных методов картирования для мониторинга потенциально опасных геолого-геоморфологических объектов, дающий оценку геодинамической среды. Выявленные в результате исследований линейные структуры могут быть использованы для решения задач: определение маршрутов миграции подземных вод, поиск месторождений полезных ископаемых, оценка устойчивости геологических блоков при проектировании и строительстве военных, гражданских и промышленных объектов и т. д. Линеаментные структуры могут быть идентифицированы визуально (по топографическим картам) или автоматически (методы дистанционного зондирования Земли). Автоматические методы дешифрирования стали более востребованными и менее затратными ресурсами для проведения исследований, в частности, в труднодоступных для проведения измерений регионах [1, 2].

В программе «Lessa», используемой для анализа структурно-тектонических особенностей геологических объектов, можно определить линеамент с помощью анализа геологических карт или спутниковых снимков. Выделение линеаментов проводится посредством инструментов программы для выделения линий, которые могут указывать на структурные особенности. Основой выделения линеаментов служит огромная база данных разновременных космических снимков, что значительно упрощает процесс работы. После выделения линеаментов в программе «Lessa» производятся их анализ и классификация. Дополнительные инструменты в программе «Lessa» позволяют проводить более глубокий анализ структурных элементов – угловые изменения, длина линеаментов, распределение точек с высокой концентрацией линеаментов и т. д. [3].

Визуализация результатов: полученные результаты линеаментного анализа могут быть визуализированы на геологических картах или в виде структурных моделей для дальнейшего изучения и интерпретации (рис. 1).

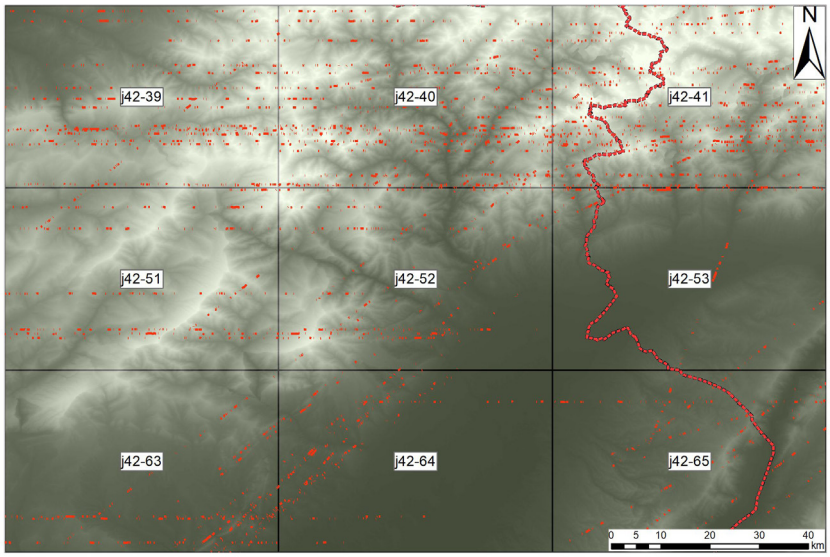


Рис. 1. Линеаменты с порогом 160

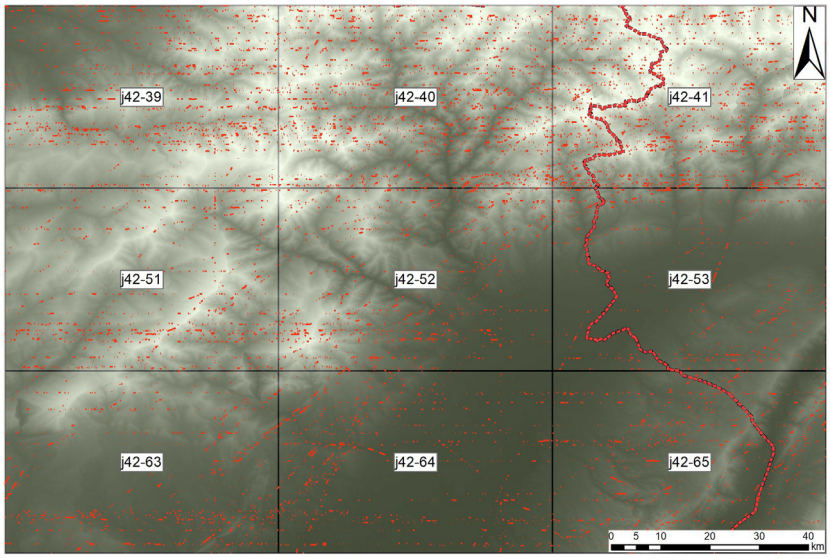


Рис. 2. Линеаменты с порогом 140

Метод отмывки рельефа показывает более широкий диапазон направлений. Извлеченные линеаменты по SRTM расположены в основном на склонах и в теневой области, что свидетельствует о высокой чувствительности радиолокационных данных к геоморфологии местности. Но при этом радиолокационные данные не позволяют определить точность обнаружения линеаментных структур на равнинной местности. Таким образом, можно рекомендовать использовать LANDSAT-8 для распознавания структуры линеаментов в смешанных областях (горной и равнинной). Преимуществами этого метода являются высокое пространственное разрешение и совмещение нескольких спектральных каналов.

Сопоставляя между собой картограммы, построенные «Лессой», можно выделять блоки, которые можно интерпретировать как различные в геологическом отношении территории – сложенные различными породами, с различной новейшей тектонической активностью, тектонические блоки. Можно полагать, что на сходных в тектоническом и структурно-формационном отношении территориях развивается сеть штрихов с близкими, а на различных – с разными параметрами.

Примером отражения в характеристиках сети линеаментов, выделенных программой «Lessa» различных структурных элементов, служит сеть линеаментов территории исследования (рис. 3) по фрагменту изображения LANDSAT-8 и SRTM территории юго-западных отрогов Гиссарского хребта.

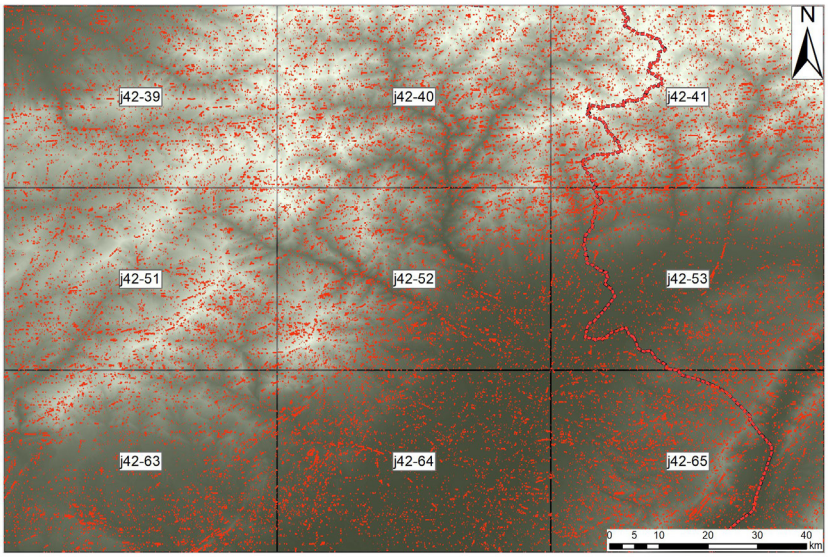


Рис. 3. Линеаменты с порогом 100

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сычугова Л. В., Фазилова Д. Ш. Метод автоматического дешифрирования линеаментных структур по оптическим и радиолокационным данным: на примере территории Кашкадарьинской области (Узбекистан) // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. – 2020. – 10 (79).
2. Линеамент [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vsegei.ru/ru/public/sprav/geodictionary/article.php?ELEMENT_ID=78366 (дата обращения 06.03.2024).
3. Златопольский А. А. Получение ориентационных характеристик территории с помощью технологии LESSA. Методика и тестирование на цифровой модели рельефа Предбайкалья // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 98–110.

Панасенко Ю. М. (panasenko@tsnigri.ru), Карась С. А. (karas@tsnigri.ru), Трач Д. А. (dtrach@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РАБОТ ПО АПРОБАЦИИ ГАЗОРТУТНОГО МЕТОДА ПОИСКОВ

В тезисах доклада представлены результаты опытно-методических работ по газортутному методу поисков рудных месторождений. За основу работ были взяты методические рекомендации ИМГРЭ по газортутной съемке 1985 г. В результате работ в геохимическом поле ртути опоискованные объекты были выделены, однако полученные результаты подняли ряд вопросов, без решения которых дальнейшее применение метода невозможно. Авторы обозначают проблемы отбора проб почвенного воздуха, интерпретации показаний прибора и в целом возможности фиксации газортутного ореола над перекрытыми рудными телами.

Ключевые слова: газортутная съемка, ртутометрия, геохимические поиски, ртуть, РА-915, поиски рудных месторождений.

Сотрудниками отдела поисковой геохимии ФГБУ «ЦНИГРИ» в 2023 г. в Алтайском крае были проведены опытно-методические работы с использованием анализатора РА-915М с целью апробации метода газортутной съемки. В качестве объектов изучения были выбраны ртутное месторождение Сухонькое с открытыми, перекрытыми и скрытыми рудными телами и золотое рудопроявление Верхнекаянчинское. По профилям, заданным вкрест простирания рудных и



Рис. 1. Пробоотборник почвенного воздуха в сборе

минерализованных зон, было сделано 1300 измерений (300 точек замеров) с шагом от 1 до 20 м (наиболее часто опробовались рудные зоны).

Сама методика отбора проб почвенного воздуха основывается на методике газортутных поисков, разработанной ФГБУ «ИМГРЭ» в 1985 г. [2]. Отбор почвенного воздуха производится из шпура глубиной около 0,5 м, проходка которого осуществлялась ломом. Отбор пробы воздуха производился с помощью пробоотборника. Пробоотборник состоит из конусовидной трубы с перфорацией в призабойной части и герметично закрытой верхней части с установленным вакуумным манометром; откачного воздушного насоса для откачки атмосферного воздуха из скважины и создания разрежения для поступления почвенного воздуха в пробоотборник; двух штуцеров с кранами для подключения насоса и ртутного анализатора (Рис. 1). В пробитый шпур вставлялся пробоотборник так, чтобы его конусовидная труба плотно прилегала к краям скважины, тем самым исключая подток атмосферного воздуха. После этого подключался насос через штуцер с краном (второй кран находится в закрытом положении). Из скважины откачивался поступивший атмосферный воздух и создавалось разрежение, фиксируемое показаниями вакуумного манометра. После этого кран на штуцере подключения насоса перекрывался и по показаниям вакуумного манометра фиксировалось выравнивание давления в пробоотборнике. Далее производился анализ почвенного воздуха прибором РА-915М: ко второму штуцеру подключался анализатор, открывался кран и происходила откачка воздуха в кювету прибора. Каждой проектной скважине соответствовала дополнительная, вырытая на расстоянии не более метра от основной, для контроля измерений ртутного анализатора. В каждой скважине проводились минимум 3 измерения. Все показания записывались в журнал опробования. Параллельно отбирались литохимические пробы из различных почвенных горизонтов и проводились замеры припочвенного (атмосферного) воздуха. Дополнительно в шпурах, пройденных в рудной зоне, проводились многократные замеры концентраций в течение нескольких суток.

По результатам съемки была выделена по всем средам опробования ртутная рудная зона на участке Сухонький Лог, и, можно сказать, что по единичным пробам в геохимическом поле проявилась золоторудная зона на участке Верхнекаянча. Однако, по мнению авторов, результаты работ не дали в полной мере ответ на вопрос – насколько применима газортутная съемка для поисков золоторудных месторождений?

В первую очередь становится ясна проблема методики проведения отбора пробы. По результатам многократных замеров в шпуре наблюдался спад концентраций ртути в почвенном воздухе в зависимости от времени окончания проходки шпура и начала взятия пробы. После дополнительного удара ломом концентрации ртути возрастали с последующим их экспоненци-

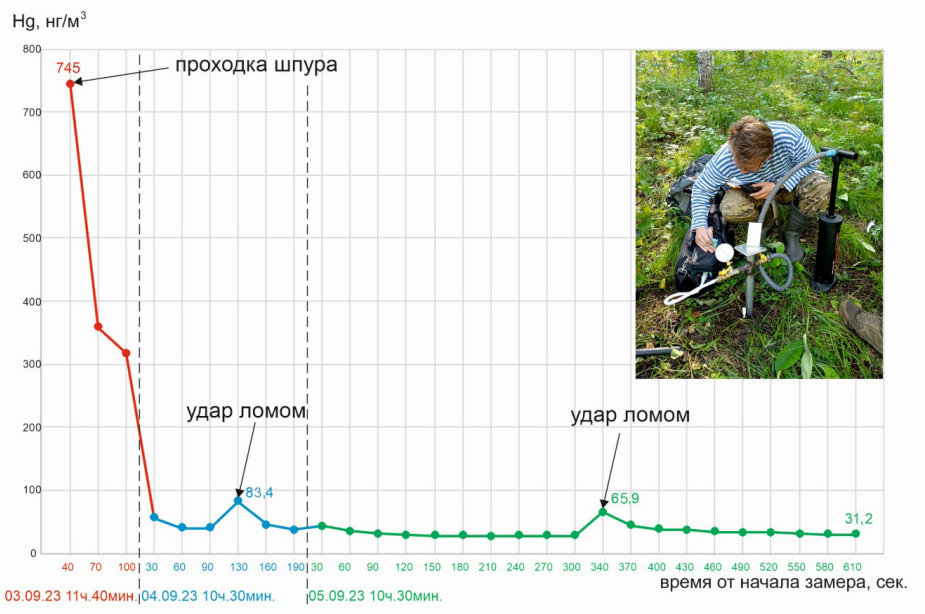


Рис. 2. Концентрации Hg в почвенном воздухе по результатам многократных замеров в открытом шпуре

альным снижением (рис. 2). Результат трех замеров во всех пройденных шпурах показал практически одинаковую картину – максимальные концентрации ртути фиксируются сразу после проходки шпура ломом с последующим их снижением. Для рыхлых отложений с минералами ртути характерно резкое снижение концентраций; для отложений, где ртутная минерализация отсутствует, снижение концентраций существенно меньше. Это указывает на то, что при проведении газортутной съемки по почвенному воздуху основную долю в пробах составляют не свободные пары ртути, а ее пары, возникшие в результате десорбции и разрушения соединений из окружающей почвенной среды. В значительной степени интенсивность выделения паров ртути зависит от силы удара и характера пробы (гранулометрический состав и влажность). Данные факторы затрудняют выявление естественных газовых ореолов ртути над рудными объектами. Определение количества такой ртути может проводиться и путем анализа твердой фазы почвы.

Литохимическое параллельное опробование подтвердило наличие ртутной минерализации в почве, что еще раз указывает на природу аномальных содержаний Hg. При этом стоит отметить, что в подавляющем количестве проб повышенными содержаниями ртути характеризовался богатый органическими соединениями горизонт А.

Второй вопрос, возникший при проведении полевых работ, – насколько мы можем быть уверены в том, что меряем именно ртуть, а не какое-то другое вещество? На эту мысль нас навели слишком высокие содержания ртути в воздухе (по сравнению с многочисленными литературными данными [3–8]), как городской среды (до 270 нг/м^3), так и в полевых условиях (до 45 нг/м^3). Производитель и сам заявляет в инструкции по эксплуатации РА-915М, что некоторые соединения прибор может идентифицировать как ртуть (например, бензол, оксид углерода, диоксид серы, аммиак, сероводород и др.).

В-третьих, в лабораторных условиях были проведены наблюдения за накоплением ртутных эманаций в замкнутом объеме из порошка киновари без механических воздействий. Действительно, такое накопление происходит, причем значения при открытии резервуара накопления крайне высокие и доходят в первые секунды до верхнего предела обнаружения прибора (50 000 нг/м^3). Однако, в течение трех-шести часов наблюдений за эманациями из открытого резервуара значения падают до двух-трех фоновых содержаний. Этот факт говорит о необходимости некоторого адсорбирующего барьера над источником паров ртути для их фиксации. Однако, в перекрывающих отложениях на участке Сухонький (более 100 м) нами не фиксировались газотрутные аномалии над ртутными рудными телами, выделенными по данным скважин.

Исходя из всего перечисленного и некоторых других деталей опытно-методических работ, нами сделан вывод о необходимости возвращения к применению сорбентов для повышения селективности анализа и использования приставки с пиролизной атомизацией пробы от того же производителя прибора РА-915М, что позволит проводить измерения в полевых условиях. В целом на данном этапе изучения вопроса, применение газортутного метода поисков рудных месторождений вызывает сомнения в его эффективности и требует дополнительного изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Машьянов Н. Р., Погарев С. Е., Рыжов В. В. Возможности атомно-абсорбционного спектрометра РА-915+с зеемановской коррекцией для определения ртути в различных средах // Аналитика и контроль. – 2001. – № 4. – С. 375–378.
2. Методические рекомендации по газортутному методу поисков рудных месторождений. – М. : ИМГРЭ, 1985. – 213 с.
3. Озерова Н. А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М. : Наука, 1986. – 230 с.
4. Степанов И. И. Ртуть – индикатор «горячих» гидротермальных зон и динамических процессов, сопровождающих деформации горных пород : специальность 04.00.13 «Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых» : автореф. дис. на соискание учен. степ. докт. геол.-минерал. наук / Степанов Игорь Иванович. – М. : ИМГРЭ, 1996. – 53 с.
5. Фурсов В. З. Возможности ртутометрии. – М. : ИМГРЭ, 1988. – 188 с.
6. Фурсов В. З. Газортутный метод поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : Наука, 1983. – 205 с.
7. Фурсов В. З. Особенности ртутного геохимического поля // Доклады академии наук. – 2000. – Т. 375, № 5. – С. 666–672.
8. Фурсов В. З. Ртуть – индикатор при геохимических поисках рудных месторождений. – М., 1977. – 143 с.

Панченко А. Е. [1] (allepanchenko@yandex.ru),
Камышова А. А. [2] (kamyshovaalla@yandex.com)
[1] НУУз им. М.Улугбека, г. Ташкент, Республика Узбекистан,
[2] ГУП «Регионалгеология», пос. Эшонгузар, Республика Узбекистан

ИМПЛИЦИТНЫЕ АНОМАЛИИ АЛМАЛЫКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

Комплексный анализ полученных за последние годы фактических данных позволил по-новому интерпретировать отрицательные результаты слабоизученных площадей и выделить новые перспективные участки на эндогенное оруденение, не проявляющееся на поверхности.

Ключевые слова: золотое оруденение, имплицитные аномалии, экранирующая поверхность, аэрогаммаспектрометрия, рудная и рассеянная минерализация.

Задача по выявлению новых рудных объектов, является чрезвычайно важной и актуальной. Данное положение отмечается в многочисленных научных трудах отечественных геологов (М. М. Пирназаров, М. К. Турапов, Ф. К. Диваев, В. Ф. Скрябин, А. З. Умаров, Р. А. Халматов, В. Д. Цой и др.).

Исходя из степени изученности горно-возвышенной части территории республики, можно сделать вывод, что месторождения или целые рудные поля, не обнажающиеся на дневной поверхности, проявляются неявными геологическими, геохимическими, геофизическими аномалиями на фоне рассеянной минерализации. Одной из основных задач геологической отрасли на современном этапе является выделение новых рудных объектов по слабовыраженным – косвенным признакам.

В освоенных горнорудных районах первостепенное место занимают так называемые «неясные», «расплывчатые» дополнительные критерии – признаки. На участке Северная Кызата,

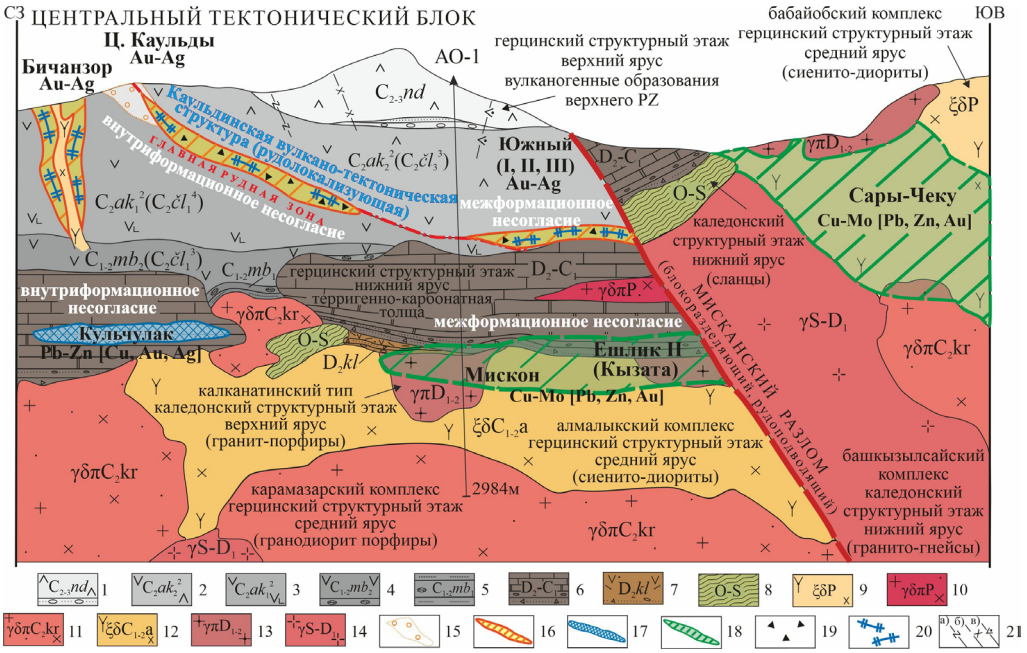


Рис. 1. Идеализированный разрез западной части Алмалыкского рудного района (по материалам Алмалыкской ГРЭ):

1 – дациты, андезито-дациты, конгломераты; 2 – андезито-дациты и их туфы; 3 – андезиты, андезито-базальты и их туфы; 4 – андезиты, конгломераты; 5 – алевролиты, песчаники, известняковые конгломераты; 6 – известняки, доломиты; 7 – кварцевые порфиры, андезитовые порфириты, их туфы, конгломераты; 8 – сланцы, песчаники; 9 – сиенито-диориты; 10, 11 – гранодиорит-порфиры; 12 – сиенито-диориты; 13 – гранит-порфиры; 14 – граниты, гранито-гнейсы; 15 – надрудные метасоматиты; 16 – залежи: золоторудные; 17 – полиметаллические; 18 – медные; 19 – кластолавы «каульдинского» типа; 20 – жилы, прожилки халцедоновидного кварца; 21 – дайки: а – диабазовых, б – диоритовых, в – сиенитовых порфиритов

расположенном в пределах Алмалыкского рудного района (Каульдинское рудное поле), явные критерии – признаки (древние горные выработки, выход полезного ископаемого на дневную поверхность, около- или промышленные концентрации и др.) не проявлены ни для одного из типов профилирующего в районе эндогенного оруденения (золотого, полиметаллического, медно-порфирового с золотом). Единичные поверхностные горные выработки, пройденные на участке в разные годы, не вскрыли кварцевые жилы или гидрослюдисто-кварцевые метасоматиты, что указывает и на отсутствие косвенных признаков развития оруденения. Несмотря на это, бурением вскрыты золоторудные залежи, локализованные на некоторой глубине от дневной поверхности.

Участок расположен в слабоизученной части Каульдинского рудного поля – Центральный тектонический блок Алмалыкского рудного района, где профилирующим эндогенным оруденением помимо золотого и полиметаллического является медное [3]. С запада граничит с разрабатываемым золоторудным месторождением Каульды и медным рудопроявлением Мискон, а на юге с медными месторождениями Ёшлик-II [2] и Сары-Чеку. Перечисленные объекты локализованы на трех стратиграфо-гипсометрических уровнях, общей особенностью которых является пологое залегание рудных тел – закрытые рудные системы на фоне широко развитых экранирующих поверхностей (рис. 1). Медные объекты проявлены в интрузивных породах субщелочного профиля, свинцово-цинковая минерализация в карбонатных отложениях, золоторудные в вулканогенных [1]. Участок является слабоизученным горно-буровыми работами с плотностью бурения на 1 км^2 – n·10^0 скважин, в сравнении с месторождением Каульды, где плотность бурения на 1 км^2 составляет n·10^2 скважин. Домезозойские комплексы представлены вулканогенно-осадочными образованиями C_{2-3}, залегающими с размывом на терригенно-карбонатных отложениях D_2–C_1, развитых на глубинах 200–500 м от поверхности, прорванных породами интрузивных комплексов [1].

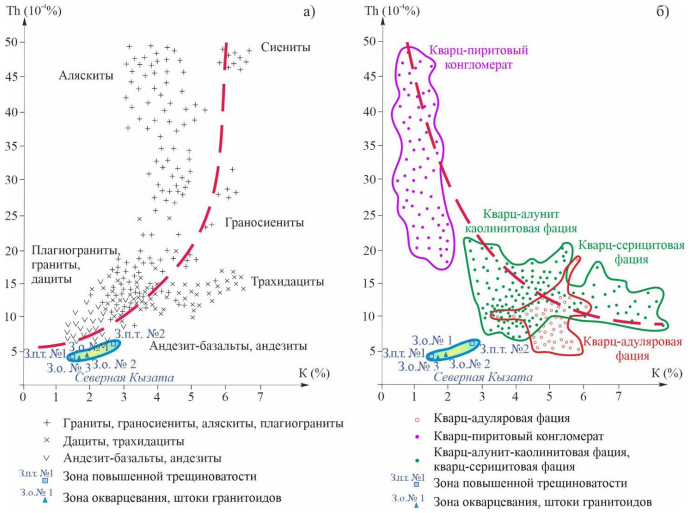


Рис. 2 Распределение калия и тория в породах Чаткало-Кураминского региона (И. Г. Кремнев, 1982 ф., КГПЭ):

а) изверженные породы; б) метасоматиты

В 2020 г. ГУП «Регионалгеология» (Д. Р. Головко, С. С. Мурашкин) были проведены аэрогеофизические исследования в Кураминских горах масштаба 1 : 25 000, включающие аэромагниторазведку, аэроэлектроразведку методом становления поля и аэрогаммаспектрометрию. В результате отмечен участок Северная Кызата.

Наземное обследование участка показало, что предполагаемые по аэрогеофизическим данным зоны окварцевания и повышенной трещиноватости фиксируют слабо проявленные рудные процессы, развитые по вулканогенным породам, в виде гидротермальноизмененных пород, расположенных на графике Th/K вне области фаций околорудных метасоматитов, в поле андезит-базальтов, андезитов (рис. 2).

Вмещающие породы представлены лимонитизированными дацитовыми порфирами – «краснокаменные изменения». Описанные разности пород в изучаемом рудном районе, по мнению многих исследователей, не предрасположены к концентрированию металлов.

По результатам металлометрической съемки (ГУП «Регионалгеология», 2021), спектральным и золотометрическим анализом выявлены имплицитные аномалии Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As и др., ртутометрические и электроразведочные. Опробованием первичных ореолов, ИСП-МС анализом, установлены субкларковые значения As, Se, Ag.

Поисковым бурением (Алмалыкская ГРЭ) под комплексной имплицитной (т.е. неявной) геолого-геохимической и геофизической аномалией были выявлены рудные пересечения с кондиционными содержаниями золота и серебра в $n \cdot 10^1$ г/т, вскрытые в вулканогенных породах и вблизи контакта с терригенно-карбонатными отложениями D_2–C_1 на глубинах 100–300 м от поверхности. Минерализация представлена кварц-карбонатным агрегатом с пиритом, блеклыми рудами, халькопиритом, галенитом, сфалеритом.

Проведенные исследования показывают принципиальные различия критериев для разрабатываемых и выявляемых месторождений, требующих новых взглядов на комплексное и детальное изучение территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Джабаров Р. А., Мещанинов Е. З. [и др.] Перспективы и направление геолого-разведочных работ в Центральном блоке Алмалыкского рудного района // Тр. науч.-практ. конференции «Современные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы Республики Узбекистан». – Т. : ГП «ИМР», 2007. – С. 129–132.
2. Каримова Ф. Б., Джуманиязов Д. И., Усманова Ш.В., Тевелев А. В. Минералого-геохимические особенности месторождения Ёшлик (Алмалык-Ангренский горнорудный район, Узбекистан) // Вестник московского университета. Серия 4. Геология. – 2022. – 5. – С. 95–98.
3. Рудные месторождения Узбекистана / Под ред. Голованова И. М. – Т. : ГИДРОИНГЕО, 2001. – С. 354.

Петрова М. Н. [1] (Marina_Petrova@vsegei.ru),
Петров С. Ю. [1] (Semen_Petrov@vsegei.ru), Сычев С. Н. [2] (s.sychev@spbu.ru)
[1] ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург
[2] ИНоЗ СПбГУ, г. Санкт-Петербург

МИНЕРАЛЫ СЕРЕБРА И САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО В МЕТАСОМАТИТАХ СВЕТЛИНСКОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРОРУДНОГО УЗЛА (СЕВЕР МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Светлинский золото-сереброрудный потенциальный узел расположен в северной части структуры Балыгычано-Сугойского прогиба (Магаданская область), вмещающей многочисленные месторождения и рудопроявления золота, серебра и полиметаллов. Впервые для данной территории проведены микрорентгеноспектральные исследования для определения состава рудных минералов и форм нахождения серебра и золота. Публикуемые материалы получены в рамках работ по оценке изученности и ГДП-200 листов P-56-V, VI (Балыгычанская площадь), проведенных ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2017–2021 гг.

Ключевые слова: Балыгычано-Сугойский рифтогенный прогиб, Светлинский рудный узел, Магаданская область, прогнозные ресурсы.

Светлинский золото-сереброрудный потенциальный узел расположен в Нягаинском серебро-золото-оловорудном районе Балыгычано-Сугойской олово-золото-сереброрудной минерагенической зоны [3]. Контуры указанной зоны соответствуют структуре Балыгычано-Сугойского рифтогенного прогиба, вытянутой в субмеридиональном направлении порядка 300 км в междуречье правых притоков р. Колымы – рек Балыгычан и Сугой, тесно смыкаясь на юге с Охотско-Чукотским вулканическим поясом (ОЧВП).

К структуре прогиба приурочено уникальное золото-серебряное месторождение Дукат, а также многочисленные месторождения и рудопроявления различных типов, в том числе и благороднометалльного: Арылах, Лунное, Гольцовое и другие. Перечисленные объекты расположены в южной части прогиба и пространственно тяготеют к структуре ОЧВП. Большинство из них расположены в пропилитизированных и аргиллизированных меловых вулканических и осадочных породах, в сводовых частях интрузивно-купольных поднятий [4].

Светлинский золото-сереброрудный узел охватывает массивы гранитоидов наяханского комплекса (K_2n) и зону метасоматически проработанных пород в юго-восточном экзоконтакте крупного массива лейкогранитов омсукчанского комплекса (K_2o) (рис.1). Рудный узел включает проявления серебра, вольфрама, пункты минерализации золота. В контурах рудного узла проведена профильная литохимическая съемка масштаба 1 : 25 000, по результатам которой выделены два цинк-сереброрудных аномальных геохимических поля. Прогнозные ресурсы P_3 серебра, рассчитанные для северной части узла, составляют 625,3 т [3]. В качестве эталонного объекта было выбрано среднее серебро-полиметаллическое месторождение Гольцовое. Для южной части узла в пределах листа P-56-XII ресурсы серебра категории P_3 составляют 3000 т [1].

На этапе оценки изученности и подготовки геологического обоснования ГДП-200 листов P-56-V, VI (Балыгычанская площадь) в северной части Светлинского потенциального узла были проведены полевые работы. В ходе рекогносцировочных геологических маршрутов в метасоматически проработанных диоритах первой фазы наяханского комплекса выявлен пункт минерализации серебра и полиметаллов. В штуфных пробах содержания Ag – 500 г/т, Pb – 4,85 %, Zn – 0,6 %. На этапе ГДП на рудопроявлении были проведены горные работы ручным способом. Выделены две рудные зоны мощностью 4 и 3 м, представленные кварц-сульфидными жилами с многочисленными вкрапленниками галенита, сфалерита, пирита, халькопирита, арсенопирита, развитием окислов и гидроокислов железа, в меньшей степени марганца. Рудные зоны ориентированы субмеридионально и круто падают на юго-восток. Протяженность рудных зон, предполагаемая по результатам проведенного литохимического опробования, составляет порядка 1 км. Бороздовым опробованием установлены следующие средние содержания для каждой из зон: Ag – 33,9 и 224 г/т; Zn – 0,4 и 5,04 %; Pb – 0,16 и 1,24 % соответственно.

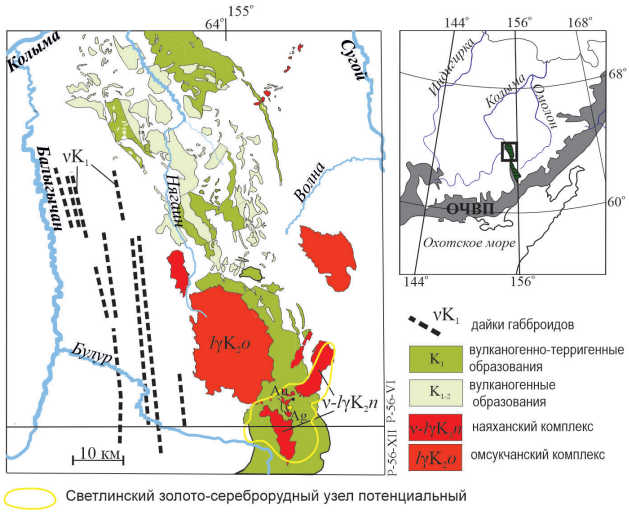


Рис. 1. Схема расположения объекта исследования

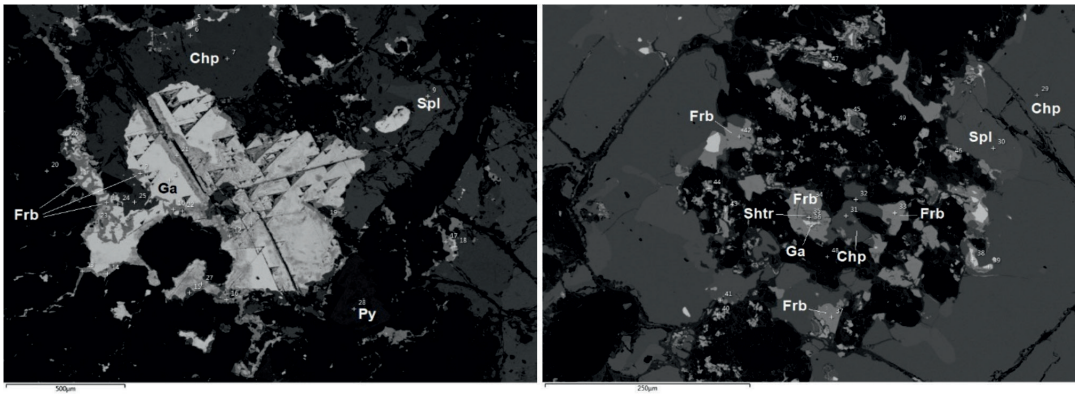


Рис. 2. Рудные минералы кварц-сульфидной жилы:
Ga – галенит, Spf – сфалерит, Chp – халькопирит, Py – пирит, Frb – фрейбергит, Shtr – штромейерит

Вмещающие породы представлены интенсивно ороговикованными и окварцованными диоритами с содержаниями Ag 1,22–18 г/т.

Состав рудных минералов определен методами электронной сканирующей микроскопии (HitachiTM 3000) и микрозондового анализа (HitachiS-3400N) ЦЛ ВСЕГЕИ. Минералы серебра – фрейбергит и штромейерит – ассоциируют с галенитом, сфалеритом, меньше развит пирит, изредка отмечаются пирротин, халькопирит. Фрейбергит образует аллотриоморфные или изометричные зерна и включения в галените в виде тончайших капелек или пластинок. Штромейерит представлен в виде тонкозернистого агрегата неправильной формы в кварце или в срастании с фрейбергитом (рис. 2).

Кроме того, во вмещающих терригенных породах в зоне экзоконтактов массивов наяханского комплекса выявлены метасоматические образования кварц-полевошпат-хлоритового состава с гнездами и прожилками сульфидов. При проведении рентгеноспектрального микроанализа аншлифов, установлено высокопробное самородное Au (97–100 %) с примесью Hg (1–2 %) в ассоциации с пиритом, халькопиритом, делафосситом, арсенопиритом и молибденитом (таблица).

Таблица. Состав золота в кварц-полевошпат-хлоритовом метасоматите, мас. %

	1	2	3	4	5
Au	98,46	99,89	99,69	97,95	100
Hg	1,54		0,31	2,05	
Ag		0,11			

Также для массивов гранитоидов наяханского комплекса, расположенных в пределах Светлинского рудного узла, был проведен анализ закономерностей распределения некоторых элементов-примесей (REE+Y, Hf, Nb, Ta, U, Th, Pb, Ti и др.) в акцессорных цирконах [2]. Работы проведены в рамках объекта «Проведение в 2022–2024 годах работ по изотопно-геохимическому и геохронологическому обеспечению мониторинга государст-

венной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 и сводного и обзорного картографирования на территории Российской Федерации» (Государственное задание Федерального агентства по недропользованию от 10 января 2023 г. № 049-00017-23-01). По их результатам высока вероятность выявления золото-медно-порфирового оруденения, связанного с данным массивом. По результатам ГДП-200, на площади Светлинского перспективного золото-сереброрудного узла можно прогнозировать выявление рудных объектов золото-серебряной формации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ливач А. Э., Чуравцов А. П., Третьякова Н. И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Сугойская. Лист P-56-XII. Объяснительная записка. – Санкт-Петербург, 2000. – 208 с.
2. Петров О. В., Шатов В. В., Ханчук А. И., Иванов В. В., Змиевский Ю. П., Шпикерман В. И., Петров Е. О., Снежко В. В., Шманяк А. В., Молчанов А. В., Халенев В. О., Шатова Н. В., Родионов Н. В., Беляцкий Б. В., Сергеев С. А. О перспективах открытия новых золото-медно-порфировых месторождений Малмыжского типа на территории Нижнего Приамурья (Дальний Восток, Россия) // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 94. – С. 75–112. DOI: 10.52349/0869–7892_2023_94_75–112.
3. Петров С. Ю., Петрова М. Н., Савельев Г. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Сугойская. Листы P-56-V, VI (Балыгычан). Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, Дальнедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ». – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2021.
4. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. – Т. 354. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. – 560 с.

Петухов А. А. (petukhov@tsnigri.ru), Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Елшина С. Л., Барова Е. В.

ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЗОЛОТУШИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ МСБ РУДНОГО АЛТАЯ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Сравнительный анализ рудовмещающих комплексов, развитых в пределах Золотушинского рудного района, показал, что они относятся к двум вулканогенно-терригенным геологическим формациям. Нижняя (эмс-раннеживетская) базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация, верхняя (позднеживетская–раннефранская) базальт-риолитовая кремнисто-терригенная формация. Месторождения и рудопроявления района относятся к колчеданно-полиметаллической в вулканогенных ассоциациях рудной формации (VMS). Формация подразделяется на две рудные субформации: свинцово-цинковую колчедансодержащую и медно-свинцово-цинковую колчеданную. На основании геологической, геохимической и геофизической информации в пределах Золотушинского рудного района выделены перспективные площади для подготовки обоснований для постановки поисковых работ.

Ключевые слова: Золотушинский рудный район, геологическая формация, рудная формация, перспективные площади.

Золотушинский рудный район расположен в юго-западной (пограничной с Республикой Казахстан) части Рудноалтайской минерагенической зоны (МЗ), которая является одним из старейших районов добычи полиметаллов (меди, свинца, цинка) с сопутствующими золотом и серебром. Добыча с различной интенсивностью ведется в районе более 250 лет. Здесь создана крупная минерально-сырьевая база цветной металлургии. Основная часть месторождений находится в распределенном фонде недр и вовлекается в эксплуатацию.

Дальнейшее развитие горнодобывающей отрасли в регионе связано с увеличением темпов добычи и, следовательно, с освоением имеющихся запасов.

В структурном плане Золотушинский рудный район расположен на юго-западном крыле Алейского поднятия в непосредственной близости от Иртышской зоны смятия, пространственно совпадая с Золотушинской вулкано-тектонической депрессией. С юго-запада район ограничен крупным Березовским разломом, с северо-востока – широкими полями интрузивов гранитоидов и метаморфическими породами корбалихинской толщи.

Золотушинская депрессия имеет изометричную форму. Внутренняя структура депрессии сложная, обусловленная сочетанием складчатых, разрывных и вулкано-тектонических элементов. В строении депрессии принимают участие образования девонско-каменноугольного, пермско-триасового и, незначительно, юрского структурных этажей, которые смяты в протяженные складки преимущественно северо-западного и субмеридионального направлений. Кроме складок выделяется ряд вулкано-тектонических структур (палеовулканические аппараты), которые имеют самостоятельное значение и осложняют складчатые сооружения.

Сравнительный анализ рудовмещающих комплексов в пределах района показал, что они относятся к двум вулканогенно-терригенным геологическим формациям [2, 4].

Нижняя (эмс-раннеживетская) базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация имеет трехчленное строение:

• нижняя субформация – туфогенно-осадочная (алевролиты, песчаники, туфопесчаники, гравелиты, туфы кислого состава, редко лавы риолитов, андезитов, андезибазальтов и их лавобрекчии); отвечает отложениям мельничной свиты ($D_{1,2}e–ef$);

• средняя субформация – риолитовая (риолиты и риодациты, их лавобрекчии, туфы кислого состава); включает образования сосновской свиты ($D_2ef–gv_1$);

• верхняя субформация – туфогенно-алевро-песчаниковая (алевролиты, часто известковистые, кремнистые, песчаники, гравелиты, прослои туфов кислого состава, туффитов); отвечает отложениям заводской свиты ($D_2ef–gv^1_2$).

Из приведенного перечня пород следует, что данная формация представлена преимущественно кислыми разностями вулканитов. Основу антидромного разреза формации составляют риолиты и риодациты. По общей повышенной щелочности базальтов можно судить о принадлежности их к калинатровой серии.

Верхняя (позднеживетская–раннефранская) базальт-риолитовая кремнисто-терригенная формация, также имеет трехчленное строение:

• нижняя субформация – дациолитовая (риолиты, дациты, их лавобрекчии, туфы кислого состава); отвечает образованиям давыдовской свиты ($D_2ef–gv^2_2$);

• средняя субформация – туфогенно-осадочная, включает отложения нижнекаменевской свиты ($D_2ef–gv^2_2D_3fr_1$);

• верхняя субформация – дациолитовая туфогенно-осадочная (биогенные известняки, известковистые, кремнистые, углистые алевролиты, гравелиты, конгломерато-брекчии, витро- и литокластические туфы кислого состава, агломератовые грубообломочные туфы, туфобрекчии, тефроиды; соответствует верхнекаменевской свите (D_3fr1).

По химическому составу кислые вулканиты относятся к предельным риолитам, пересыщенным кремнекислотой (SiO_2 – 70 %). Однако при сохранении высоких содержаний калия ($K_2O > 2,5$ %) в них существенно увеличивается содержание натрия и поэтому происходит увеличение общей щелочности до 7–8 %. Для этих пород также характерна широкая дисперсия в содержании основных породообразующих окислов (особенно суммы щелочей, глинозема и железа) и слабая корреляционная связь между ними.

По результатам химического анализа породы основного состава относятся к толеитовым базальтам и андезибазальтам с умеренной глиноземистостью, с низким содержанием магния и повышенным содержанием железа, титана и щелочей. Среди щелочей резко преобладает натрий, количество которого достигает 5 %, что может свидетельствовать об интенсивно проявленных процессах альбитизации.

Таким образом, рассмотренные формации различаются по петрохимическим особенностям, что подтверждает целесообразность их разделения по геологическим данным. Нижняя является непрерывной, относится к калиево-натриевой серии с преобладанием калия над натрием. Верхняя – контрастная, также относится к калиево-натриевой серии при равных соотношениях калия и натрия.

Две рудоносные формации, возникшие на сиалическом фундаменте, существенно отличаются от вулканогенных образований кайнотипных островных дуг и от силуро-девонских контрастных натровых формаций Южного Урала и Северного Кавказа, локализованных на участках с корой океанического типа и подстилаемых, по данным Бородаевской М. Б. и др. [1], недифференцированными базальтами. Главные отличия заключаются в антидромном характере вулканизма, смене по вертикали более калиевых риолитов более натриевыми, резко подчиненном значении базальтов. Месторождения и рудопроявления района относятся к колчеданно-полиметаллической в вулканогенных ассоциациях рудной формации (VMS). Формация подразделяется на две рудные субформации: свинцово-цинковую колчедансодержащую и медно-свинцово-цинковую колчеданную [3, 4].

Свинцово-цинковая колчедансодержащая рудная субформация соответствует геологической базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации. Для месторождений характерно наличие примерно равных долей свинца и меди в рудах (при некотором преобладании свинца), а также присутствие повышенного содержания цинка. Соотношение Pb : Zn : Cu составляет (1–2) : (6–0,2) : 1,0. Коэффициент колчеданности (Ккол.) варьирует от 0,5 до 1,5.

Медно-свинцово-цинковая колчеданная рудная субформация соответствует геологической контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации. Для месторождений рассматриваемой рудной субформации характерна незначительная роль свинца при близких значениях цинка и меди и высокой сернистости руд. Соотношения металлов варьируют как Pb : Zn : Cu = (1–4) : (6–2) : 3, а коэффициент колчеданности $К_{кол.}$ (S : Pb + Zn + Cu) составляет более 1,5.

На основании геологической, геохимической и геофизической информации в пределах Золотушинского рудного района выделены перспективные площади для подготовки обоснований для постановки поисковых работ.

Выделяются:

• перспективные площади со степенью сходства с геолого-поисковой моделью более 50 % с полным комплексом поисковых критериев и признаков, проявлениями рудной минерализации и промышленными содержаниями свинца, цинка и меди по скважинам предшественников;

• перспективные площади со степенью сходства с геолого-поисковой моделью 25–50 % с неполным комплексом поисковых критериев и признаков, проявлениями рудной минерализации и наличием отдельных подсечений с повышенными содержаниями свинца, цинка и меди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бородаевская М. Б., Кривцов А. И., Курбанов Н. К. Формационный анализ колчеданоносных областей как основа составления карт прогнозов на колчеданные руды на примере Южного Урала. – М. : Труды ЦНИГРИ, 1970. – Вып. 87. – 85 с.
2. Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В., Иваненкова Е. В. Геологические формации Рудного Алтая, их литолого-фациальные и петрохимические особенности // Материалы научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы». – М. : ЦНИГРИ, 2016. – С. 33–34.
3. Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Кудрявцева Н. Г., Кузнецова С. В. Рудно-формационные типы полиметаллических месторождений российской части Рудного Алтая, обстановки их локализации, условия и механизм рудообразования // Материалы международной научно-практической конференции «Минерагения Казахстана». – Алматы, 2017. – С. 77–81.
4. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В., Мурзин О. В., Корчагина Д. А., Кузнецова С. В., Миляев С. А. Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических есторождений Рудного Алтая. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 207 с.

Пилицын А. Г. (allexpil@yandex.ru), Кременецкий А. А. (imgrenauka@mail.ru)
ФГБУ «ИМГРЭ» г. Москва

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И НАЗЕМНОЙ НАНОГЕОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПРИ ПРОГНОЗЕ И ПОИСКЕ ОРУДЕНЕНИЯ НА ПЕРЕКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Приводится технология выделения нанопылевых аномальных полей в приземной атмосфере Земли с применением данных ДЗЗ. Рассматривается роль и место технологии в рамках ГРР различных стадий. Приведены результаты полевых заверочных геохимических работ с использованием наземной наногеохимической съемки.

Ключевые слова: дистанционные методы зондирования Земли, наноаномалия, перекрытые территории.

Дистанционные методы зондирования Земли в последние годы все чаще стали применятся при проведении геологоразведочных работ различных стадий. Наибольшая эффективность методов достигается на опережающем этапе работ, когда получаемая информация позволяет еще до проведения основного комплекса исследований получить данные о геологическом строении территории, ландшафтно-геохимических условиях проведения работ, а также аномальных концентрациях химических элементов, что дает возможность скорректировать предстоящие исследования, а также уточнить уже имеющуюся информацию предшественников.

При региональных работах м-ба 1 : 200 000–1 : 1 000 000, проводимых на обширных территориях от 1000 км^2, применяются данные спутниковой съемки, выполненные мультиспектральными и гиперспектральными камерами, позволяющими получать снимки разрешением от 1 до 60 м на 1 пиксель, что достаточно для выделения региональных структур. Для поисковых работ, где объекты исследований менее крупные и нужна более детальная оценка, требуется разрешение от 0,01 до 1 м на пиксель, что достигается с помощью беспилотников, на которые устанавливают гиперспектральные камеры высокого разрешения. Получаемые спектральные характеристики объектов на поверхности сопоставляются с эталонными образцами коренных пород из библиотек спектральных характеристик, полученных в лабораторных условиях с применением гиперспектрометров. Далее строится карта распределения идентифицированных объектов и производится интерпретация полученных данных.

На перекрытых территориях на поверхности получение прямого спектрального сигнала от объектов затруднительно, также теряется поисковый геохимический сигнал. В этом случае требуются специализированные геохимические методы исследований, нацеленные на анализ сверхтонкой фракции, которая сорбирует подвижные формы металлов и образует ореол, зачастую выходящий на поверхность. Сверхтонкая фракция благодаря своим размерам (< 10 μ) довольно подвижна и легко переходит в приземную атмосферу, создавая нанопылевые облака над различными рудными объектами.

Выявление и анализ нанопылевых облаков возможен с использованием космоснимков атмосферы, для получения которых используется разница между исходными снимками («сырыми») и снимками, прошедшими атмосферную коррекцию. Полученный снимок атмосферы содержит в себе информацию о пыли, водяном паре, облаках, дыме и пыльце. Идентификация нанопылевых аномалий металлов проводится по их эталонным спектрам, получаемым в лабораторных условиях на акустическом левитаторе с гиперспектральной камерой.

Распределение нанопылевых облаков золота, выделенных по космоснимкам в районе месторождений Песчанка и Кекура, показало, что наибольшее количество наноаномалий Au расположено в районе известных месторождений и проявлений, серия локальных аномалий располагается в пределах выделенной по геохимическим данным золоторудной зоны, где выделены перспективные участки на Au и два участка для проведения заверочных работ по технологии наземной наногеохимической съемки.

На заверочном участке, где ожидается Cu-Mo-Au-порфировое оруденение, проведены геохимические работы по профилю, пересекающему наноаномалию Au, выделенную по космоснимкам, и аномалию Au, выделенную по потокам рассеяния.

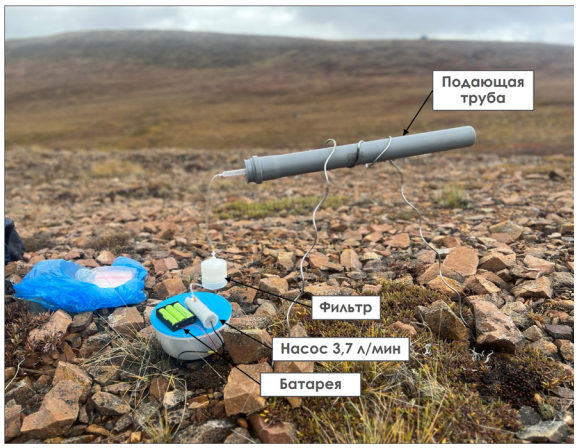


Рис. 1. Оборудование для наземной наногеохимической съемки

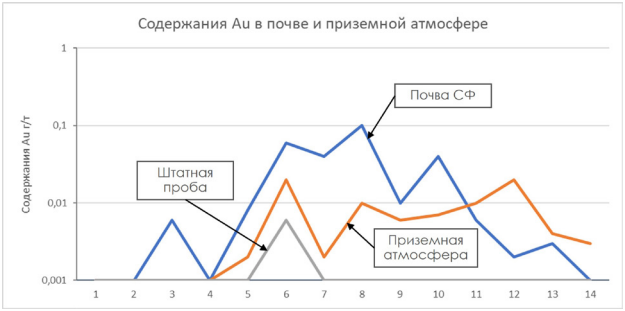


Рис. 2. Содержания Au по геохимическому профилю, полученные разными методами

Технология наземной наногеохимической съемки заключается в анализе приземной атмосферы на наличие наночастиц металлов. Для этого по подающей трубе воздух пропускается через беззольный фильтр с применением насоса, питаемого от батареи (рис. 1). Шаг опробования по профилю на участке заверочных работ составлял 50 м, время экспозиции 15 мин, что соответствует 50 л прокаченного воздуха. Далее фильтры упаковываются в герметичный пакет zip-lock и отправляются в лабораторию для анализа ICP-MS с определением Au и других элементов.

На профиле параллельно, кроме наземной наногеохимической съемки, в каждой точке проводилось опробование штатным геохимическим методом (по вторичным ореолам рассеяния), а также по методу анализа сверхтонкой фракции. Всего на профиле длиной 700 м было отобрано 14 проб.

По результатам штатного геохимического опробования содержания 0,006 г/т Au получены в одной точке № 6 (рис. 2). Анализ сверхтонкой фракции показал широкий сплошной ореол Au с содержаниями до 0,1 г/т на профиле с точки № 5 по № 13. Результаты анализа фильтров с наночастицами из атмосферного воздуха показали наличие в них Au до 0,02 г/т на профиле с точки № 5 по № 14.

Таким образом, наноаномалии Au, выделенные по результатам обработки космоснимков, уверенно зафиксированы в приземной атмосфере, а также установлена их корреляция с аномалиями Au в сверхтонкой фракции.

Для определения корректности результатов наногеохимических работ были проведены два эксперимента. Первый эксперимент заключался в опробовании наночастиц при различных погодных условиях, который показал, что наночастицы в дождливую погоду полностью осаждаются на землю, а в ветреную – перемещаются от источника. Второй эксперимент заключался в опробовании наночастиц при разном времени экспозиции – от 15 минут до 3 часов. Установлено, что с большей экспозицией происходит рост содержания Au, что означает поступление со временем на фильтр большего количества наночастиц Au.

Полученные данные следует учитывать для получения достоверных результатов при проведении работ по наногеохимической съемке: проведение работ должно проводится в сухую и безветренную погоду, а время экспозиции на каждой точке не должно меняться.

В целях развития технологии дистанционного зондирования нанопылевых аномалий и наземной наногеохимической съемки в 2024–2026 гг. планируется проведение опытно-методических работ на различных участках в различных ландшафтно-геохимических условиях.

Плотинская О. Ю. (plotin@igem.ru)
ИГЕМ РАН, г. Москва

ПРОБЛЕМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ СИСТЕМ: МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ; НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОЙ МЕГАЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА

U-Pb методом по цирконам и Re-Os методом по молибдениту получен силурийский возраст рудоносных пород и руд порфировых месторождений Биргильдинско-Томинского рудного узла. Более молодые датировки являются результатом переустановки K-Ar системы в результате внедрения Челябинского плутона.

Ключевые слова: порфировые месторождения, геохронология, Урал.

На Южном Урале известно несколько порфировых систем. Наиболее крупные из них приурочены к восточному флангу Восточно-Уральской мегазоны, сложенному палеозойскими вулканитами, преимущественно островодужных ассоциаций [5]. Это объекты Биргильдинско-Томинского рудного узла и месторождение Зеленый Дол, а также ряд рудопроявлений, которые объединяют в Зеленодольский и Кособродский прогнозируемые рудные районы, перспективные на обнаружение медно-порфирового оруденения [1]. Однако достоверная прогнозная оценка территории невозможна без точного определения возраста слагающих ее пород и обоснования геотектонических обстановок, с которыми может быть связано формирование порфировых систем. Важным элементом такого прогноза является изотопное датирование уже известных порфировых систем на территории. Ключевой особенностью таких систем является близкий возраст рудоносных пород и руд. В настоящее время общепринятым является комплексный подход к определению изотопного возраста рудоносных пород (U-Pb метод по цирконам), руд (Re-Os по молибдениту) и околорудных метасоматитов ($^{40}Ar/^{39}Ar$ и Rb-Sr по серициту) [7]. Это позволяет получать надежные данные о возрасте порфировой системы, а в случае молодых (кайнозойских образований) и о продолжительности ее деятельности. Настоящий доклад посвящен обсуждению проблем изотопного датирования порфировых и эпитермальных объектов Биргильдинско-Томинского рудного узла (БТРУ).

Территория БТРУ находится чуть южнее г. Челябинска и охватывает площадь примерно 20 × 40 км. На севере территории выходят афировые базальты саргазинской толщи (O_{1-2}). Выше залегают известняки и мраморы биксизакской (O_2–S_1bk) и первомайской толщ, андезит-дацитовые туфы березняковской свиты, затем − среднедевонские – клубничная (известняки) и еманжелинская (песчаники, алевролиты, аргиллиты) толщи [5]. Завершают разрез каменноугольные субщелочные вулканитами таяндинской свиты и терригенно-карбонатные отложения. Интрузивные образования представлены малыми телами диоритов биргильдинско-томинского комплекса, интрузией Вознесенского комплекса и многофазным Челябинским плутоном [5].

Большинство месторождений и рудопроявлений БТРУ пространственно и генетически связаны с малыми телами диоритов и андезитов биргильдинско-томинского комплекса [3]. В андезит-дацитовых туфах березняковской толщи локализована Au-Ag эпитермальная минерализация (Березняковское рудное поле и рудопроявление Мичурино и др.), а в более глубоко залегающих базальтах – Cu-порфировая (месторождения Биргильдинское и Томинское). По карбонатным породам развиты скарны и связанное с ними метасоматическое полиметаллическое оруденение месторождения Биксизак. В дальнейшем тектонические подвижки и разный уровень эрозии обусловили эксгумацию минерализации, относящейся к разным уровням порфировых систем [3].

Интерпретация последовательности формирования осадочных и интрузивных пород и их формационная принадлежность противоречивы и неоднозначны. Ранее территория БТРУ рассматривалась как океаническая островная дуга, активная с позднего ордовика до раннего девона, и возраст березняковской свиты был принят как силурийский [6]. Позднее последовательность осадочных пород территории была интерпретирована как отложения рифта, заложившегося на активной континентальной окраине Восточно-Уральского микроконтинента [5 и др.]. Возраст биргильдинско-томинского комплекса на основании Rb-Sr датирования пород Томин-

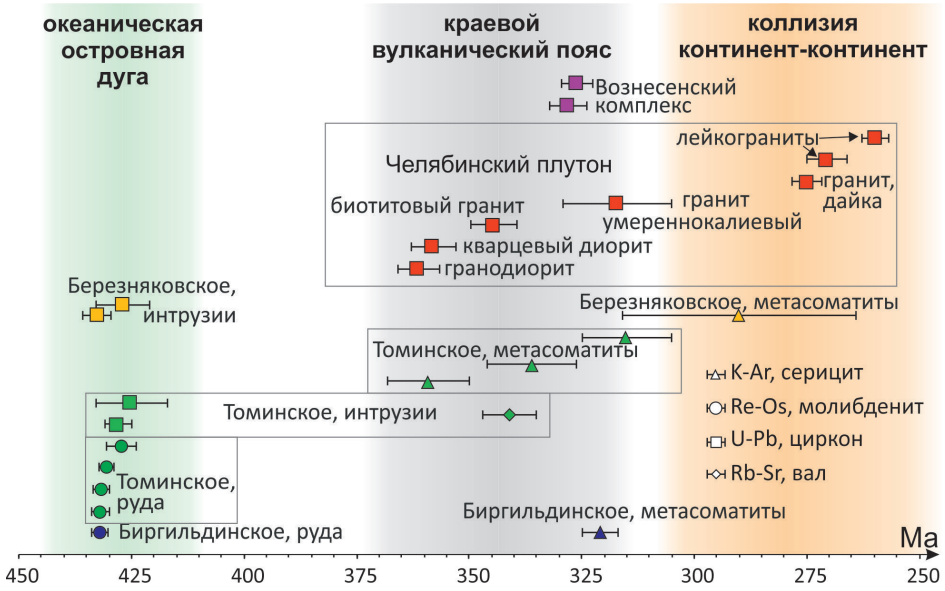


Рисунок. Обобщение геохронологических данных для территории Биргильдинско-Томинского рудного узла

ского месторождения (341 ± 6 Ma) был принят как D_3–C_1. Близкие и более молодые датировки (рис. 1) были получены K-Ar методом по серициту из метасоматитов месторождений Томинское, Биргильдинское и Березняковское (от 359 ± 9 до 290 ± 26 Ma) [3].

Позднее был получен U-Pb (SHRIMP-II) возраст цирконов из диоритов и диоритовых порфиритов Томинского и Березняковского месторождений от 432,6 ± 3,2 до 425 ± 8 Ma [2, 8], что соответствует силуру (венлок–лудлов). Близкие значения (от 427,1 ± 3,3 до 432 ± 1,7 Ma) были получены Re-Os методом по молибдениту месторождений Биргильдинское и Томинское [9 и др.], и это позволяет уверенно говорить о силурийском возрасте интрузий и порфировых руд БТРУ.

Причиной расхождений между ранее полученными возрастами и новыми данными является низкая температура закрытия K-Ar системы в мусковите – менее 300 °C [7]. K-Ar возраст мог быть переустановлен в результате поздних термальных событий, которые на территории БТУ, скорее всего, были вызваны внедрением двух основных фаз Челябинского плутона. Первая его фаза связана с субдукцией под Восточно-Уральский микроконтинент (см. рис. 1) и представлена крупными телами кварцевых диоритов, гранодиоритов и гранитов, U-Pb возраст которых составляет от 361 ± 5 до 344 ± 5 Ma [4]. Вторая фаза связана с коллизией Восточно-Европейского и Казахстанского континентов и представлена малыми телами гранитов и лейкогранитов, U-Pb возраст которых варьирует от 275 ± 3 Ma до 260 ± 3 Ma [4]. Минимальные оценки температур закрытия Re-Os системы в молибдените и U-Pb системы в цирконе составляют около 500 °C и 750 °C соответственно [7]. Они не были нарушены более поздними событиями, и это позволяет считать полученные по ним значения истинным возрастом образования порфировых систем.

Таким образом, территория БТРУ является фрагментом силурийской океанической островной дуги, и аналогичные фрагменты в пределах Восточно-Уральской мегазоны являются перспективными на порфировое и/или эпитермальное оруденение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Андреев А. В., Гирфанов М. М., Куликов Д. А. и др. Рудные районы с медно-порфировым оруденением –перспективная минерально-сырьевая база меди Южного Урала // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 3–17.
2. Грабежев А. И., Ронкин Ю. Л. U-Pb возраст цирконов из рудоносных гранитоидов медно-порфировых месторождений Южного Урала // Литосфера. – 2011. – № 3. – С. 104–116.
3. Грабежев А. И., Кузнецов Н. С., Пужаков Б. А. Рудно-метасоматическая зональность медно-порфировой колонны натриевого типа (парагонитсодержащие ореолы, Урал). – Екатеринбург : Изд-во УГГГА, 1998. – 172 с.

4. Каллистов Г. А. Длительность и возрастные этапы становления Челябинского гранитоидного батолита. Информационный сборник научных трудов ИГГ УрО РАН. Ежегодник-2013. – Екатеринбург : Изд-во ИГГ УрО РАН, 2014. – С. 343–349.
5. Кузнецов Н. С., Савельев В. П., Пужаков Б. А. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-41-VIII (Челябинск). Объяснительная записка. – М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. – 116 с.
6. Язева Р. Г., Бочкарев В. В. Силурийская островная дуга Урала: структура, развитие, геодинамика // Геотектоника. – 1995. – № 6. – С. 32–44.
7. Chiaradia M., Schaltegger U., Spikings R. [et al.] How accurately can we date the duration of magmatic-hydrothermal events in porphyry systems? – an invited paper // Economic Geology. − 2013. – V. 108. – № 4. – С. 565–584.
8. https://geochron-atlas.vsegei.ru/ − Геохронологический атлас-справочник (БД «Геохронология») − Последнее обращение 29/02/2024.
9. Plotinskaya O. Y., Abramova V. D., Groznova E. O. [et al.] Trace element geochemistry of molybdenite from porphyry Cu deposits of the Birgilda-Tomino ore cluster (South Urals, Russia) // Mineralogical Magazine. – 2018. – V. 82. – P. S281–S306.

Попов Ю. В. [1] (popov@sfedu,ru), Пустовит О. Е. [2] (olpustovit@mail.ru),
Серрат Перес М. А. [3], Чепурной Е. А. [1] (chepurnoi@sfedu.ru)
[1] ФГАОУ ВО ЮФУ, г. Ростов-на-Дону,
[2] ООО «ГеоБазисПроект», г. Ростов-на-Дону,
[3] UMoa, г. Моя, Республика Куба

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ ОФИОЛИТОВЫХ ГИПЕРБАЗИТОВ МАССИВОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА И МАО-БАРАКОА (КУБА)

Изучение состава акцессорных хромшпинелидов из серпентинитовых выходов в северо-западной части зоны Передового хребта Большого Кавказа указывает на их принадлежность к специфической низкотитанистой группе (с содержанием TiO_2 ниже 0,1 мас. %). Сходными особенностями обладают хромшпинелиды из гипербазитов мезозойских офиолитовых комплексов восточного сегмента Кубы в составе пояса Майари-Баракоа. Присутствие в гипербазитах низкотитанистых хромшпинелидов можно связывать, как это аргументировано для офиолитов пояса Майари-Баракоа, с взаимодействием протолита деплетированной мантии супрасубдукционной области с бонинитовыми расплавами. В таком случае значительные вариации составов хромшпинелидов в кавказских серпентинитах объясняются принадлежностью их протолита к разным уровням офиолитовой «мантийной колонны». Наиболее высокохромистые разности хромшпинелидов из изученных кавказских серпентинитов (со значением Cr# ~ 0,8) обнаруживают сходство с описанными в гипербазитовом массиве Майари-Кристал.

Ключевые слова: хромшпинелиды, офиолиты.

На Большом Кавказе фрагменты допозднепалеозойских офиолитов приурочены главным образом к структурно-тектонической зоне Передового хребта [3]. Рассматриваемые как фрагменты офиолитовой ассоциации тела серпентинитов тектонически ассоциируют с герцинскими покровами или приурочены к зонам крупных разломов, ограничивающих блоки герцинского кристаллиникума. Полученные в последние годы результаты прецизионных инструментальных исследований позволили выявить ряд особенностей минерального состава апогипербазитов, позволяющих аргументированно обсуждать формационную и геодинамическую принадлежность их протолита [1, 2]. В решении этих вопросов важное значение имеет сопоставление минералого-петрохимических данных с лучше изученными объектами, сохранившими черты первичного состава, при этом в нацело серпентинизированных породах наиболее информа-

тивным (а зачастую и единственным) минеральным индикатором особенностей протолита выступают хромшпинелиды.

Серпентиниты зоны Передового хребта в массивах, занимающих разную структурную позицию, изменяют состав от лизардит-хризотиловых до хризотил-антигоритовых [2], состав акцессорных хромшпинелидов изменяется от хромпикотитового до субферрихромитового и хромитового, отвечая известному тренду их изменения в офиолитовых гипербазитах. Нередко зерна зональные, состав ядер в таких хромшпинелидах от хромпикотит-алюмохромитового до алюмохромит-субферрихромитового; наиболее глиноземистые составы отвечают реликтовым участкам ядер зональных зерен (в Нижнетебердинском массиве), преобладают алюмохромовые составы. Оторочки ядер сложены преимущественно хроммагнетитами с магнетитовыми каемками, составы которых контролировались флюидным режимом в ходе корового метаморфизма.

Нередко в пространственно близких выходах составы значительно различаются, что указывает на значительную тектоническую неоднородность фрагментов офиолитов в современном структурном плане. Такая ситуация отмечается в северо-западной части Большого Кавказа: в составе небольших выходов пластин серпентинитов Кишинского массива хромшпинелиды имеют ядра алюмохромитового состава, среди алюмохромитов наблюдаются микроскопические реликтовые участки хромпикотитов (значения Cr# 0,48–0,72), Даховского выступа (контролируемого огранивающей с севера зону Передового хребта зоной разломов) – субферрихромитам-хромитам со значением Cr# ~ 0,8. При этом примечательной особенностью составов ядер в обоих выходах является низкое содержание титана, как правило, не выше 0,1 мас. %.

Сходные низкотитанистые хромшпинелиды (с содержанием TiO_2 порядка 0,2–0,3 мас. %) известны в офиолитовых мезозойских комплексах восточного сегмента Кубы в составе протяженного пояса Майари-Баракоа, объединяющего два крупных массива – Сьерра-де-Нипе-Кристал и Моа-Баракоа, в которых хорошо представлен комплекс ультраосновных низов офиолитового разреза – гарцбургиты, в подчиненном количестве – дуниты, полевошпатовые перидотиты, верлиты и пироксениты [5]. Хромшпинелиды из ультрабазитовых пород массива Моа-Баракоа характеризуются отсутствием зональности, которая бы могла свидетельствовать об эволюции субстрата в мантийно-коровых условиях. Однородные по химическому составу зерна, отвечающие первично-магматическим хромшпинелям, формируют компактную группу хромпикотитов-алюмохромитов с вариациями Cr# в общем случае от 0,41 до 0,58, а в хромитах входящего в пояс Майари-Баракоа массива Майари-Кристал этот показатель повышается до 0,72 до 0,86.

В современной дискуссии об условиях образования низкотитанистых хромшпинелей (известных как Low-Ti chromian spinels) [4] общим положением является связь их формирования с магмами, обедненными титаном и возникшими в результате частичного плавления деплетированной океанической литосферы в зоне субдукции. Предполагается, что такими «дериватами» являются бонинитовые расплавы, оказывающие реакционное воздействие на гарцбургиты в надсубдукционных обстановках [7]. Геодинамическая интерпретация особенностей офиолитов Майари-Баракоа объясняет различия в минералого-петрохимических особенностях массивов разными уровнями магмообразования в общей «мантийной колонне»: высокоглиноземистые хромшпинелиды образуются в условиях низкой степени плавления мантийного субстрата, а высокохромистые хромиты связывают с плавлением уже деплетированной мантии и взаимодействием с бонинитовыми расплавами в супрасубдукционных обстановках [6].

Принадлежность к супрасубдукционным обстановкам установлена и для рассматриваемых кавказских апогипербазитов [2], при этом составы хромшпинелидов Даховского поднятия в координатах Cr# – TiO_2 уверенно соответствуют полю бонинитовых расплавов, а кишинских – преддуговым перидотитам, связанным с деплетированной мантией [1]. Учитывая аргументированную для гипербазитов кубинских офиолитов со сходными минералого-петрохимическими особенностями геодинамическую модель, значительные вариации составов серпентинитов и связанных с ними хромшпинелидов (при сохранении общей особенности обеднения титаном) в выходах Большого Кавказа можно также связывать с принадлежностью их протолита к разным уровням «мантийной колонны». В структурно-парагенетическом ансамбле с герцинскими

тектоническими покровами, включающими фрагменты островодужных комплексов, распространены серпентиниты, образованные за счет типичного «субдукционного» протолита деплетированной мантии, а на периферии зоны Передового хребта локально присутствуют фрагменты мантийных пород (сходные с породами массива Майари-Кристал), несущих следы взаимодействия с бонинитовыми расплавами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Попов Ю. В., Пустовит О. Е. Тренды эволюции состава акцессорных хромшпинелидов из апогипербазитов беденского комплекса Большого Кавказа: формационная и геодинамическая интерпретация // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – М., 2022. – С. 185–188.
2. Попов Ю. В., Пустовит О. Е., Левченко С. В. Геодинамический комплекс апогипербазитов зоны Передового хребта Большого Кавказа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2022. – № 2 (214). – С. 85–92.
3. Хаин Е. В. Офиолиты и герцинская покровная структура Передового хребта Северного Кавказа. – М. : Наука, 1984. – 96 с.
4. Abu Anbar M. M., Gervilla F. Compositional variations and tectonic settings of podiform chromitites associated with ultramafic rocks of the Pan-African Proterozoic ophiolites from South Eastern desert, Egypt // Acta Geologica Sinica (English Edition). – 2020. – № 94 (supp.1). – P. 40–42.
5. Cobiella-Reguera J. L. Emplacement of Cuban Ophiolites // Geologica Acta. – 2005. – V. 3, № 3. – P. 273–294.
6. Rizeli M. E., Wang K. L. Multi-stage Evolution of the Mehmetalan Ophiolite: Cr-Spinel Characteristics of Podiform Chromitites // International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches. – 2023. – № 7 (5). – P. 61–66.
7. Yapici N., Ngbangandimbo G. C., Nurlu N. Geodynamic signifcance and genesis of chromitites from the Iskahiye ophiolite (Gaziantep, SE Anatolia) as constrained by platinum group element (PGE) compositions and mineral chemistry characteristics // Acta Geochimica. – 2022. – № 41 (5). – P. 741–752.

Попов И. В. (popov@tsnigri.ru), Алексеев Я. В. (alekseev@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ МСБ АБЦМ НА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА СЧЕТ СРЕДСТВ НЕДРОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Рассмотрены вопросы лицензирования и финансирования ГРР на АБЦМ на территории Арктической зоны РФ. Приведены сведения о запасах и добыче АБЦМ на территории АЗРФ. Отмечены основные риски для освоения МСБ АБЦМ в АЗРФ и перспективы ее дальнейшего развития.

Ключевые слова: Арктическая зона РФ, резидент, лицензии, финансирование, недропользователи, запасы, добыча, северный морской путь, минерально-сырьевая база, риски.

В целях обеспечения национальных интересов Российской Федерации в Арктике в 2014 г. Указом Президента РФ № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» были определены границы Арктической зоны РФ.

Актуальный состав сухопутных территорий Арктической зоны РФ определен федеральным законом № 193-ФЗ от 13.07.2020 г. «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне РФ».

Площадь сухопутной части Арктической зоны РФ – порядка 4,8 млн км^2, что составляет почти 28 % от сухопутной территории Российской Федерации. В состав АЗРФ полностью входят 4 субъекта РФ (Чукотский АО, Ямало-Ненецкий АО, Ненецкий АО, Мурманская область) и частично, отдельные муниципальные образования, 5 субъектов РФ (Республика Карелия, Рес-

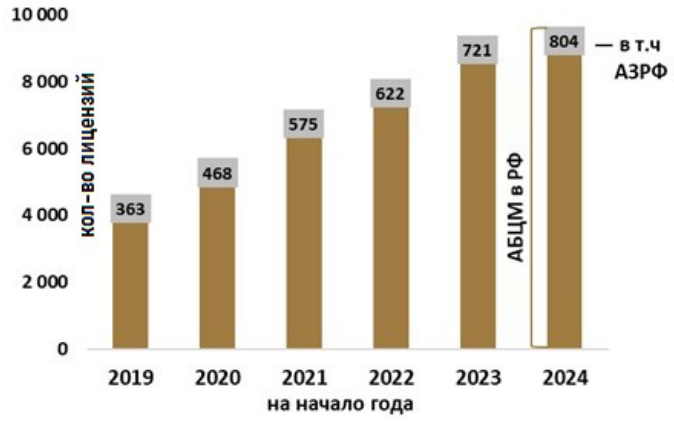


Рис. 1. Динамика лицензирования ГРР на АБЦМ в РФ, в том числе на территории АЗРФ

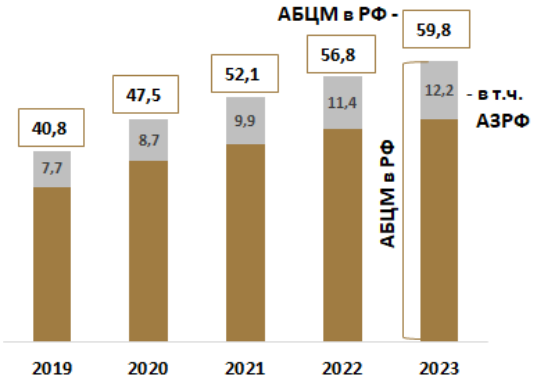


Рис. 2. Динамика финансирования ГРР на АБЦМ в РФ, в том числе в АЗРФ, млрд руб.

публика Коми, Архангельская область, Красноярский край, Республика Саха (Якутия)). На территории арктической зоны проживает более 2,5 млн человек.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) является крупнейшей особой экономической зоной в мире, где инвесторы имеют специальные режимы налогового и административного регулирования. Индивидуальные предприниматели или юридические лица имеют возможность получить статус резидента Арктической зоны, который дает возможность получать административные и налоговые преференции. Условие для получения статуса резидента – новые инвестиционные проекты на территории АЗРФ с объемом инвестиций более 1 млн руб. Региональные и муниципальные налоговые льготы установлены отдельно для каждого региона.

В части АБЦМ на конец 2023 г. статус резидента АЗРФ, согласно данным инвестиционного портала АЗРФ [2], имели 9 компаний с тридцатью объектами недропользования на территории пяти субъектов РФ (Мурманская и Архангельская области, Красноярский край, Республика Саха (Якутия) и Чукотский АО). Кроме того, на территории отдельных субъектов РФ действуют отдельные преференциальные режимы (ТОР).

По состоянию на начало 2024 г. на территории АЗРФ действовало 804 лицензии на АБЦМ (по основному виду ПИ в лицензии), что на 12 % больше показателя на начало 2023 г. [1]. При этом доля действующих лицензий на АБЦМ на территории АЗРФ на протяжении последних пяти лет составляет 8 % от действующих лицензий на АБЦМ на территории РФ (рис. 1). Наибольшее количество лицензий приходится на поисковые, почти 70 % (из них 95 % составляют лицензии «заявительного принципа»), далее следуют эксплуатационные, около 19 %, замыкают разведочные – 11 %. Среди видов ПИ значительная доля приходится на золото (78 %) и алмазы (11 %), на остальные виды АБЦМ – 11 %. Среди субъектов РФ, входящих в Арктическую зону РФ, 42 % лицензий учтены в Республике Саха (Якутия), 30 % в Чукотском АО, 17 % в Красноярском крае и 11 % расположены в остальных субъектах АЗРФ.

Финансирование ГРР на АБЦМ в Арктической зоне РФ в 2023 г. (предварительно) за счет средств недропользователей составило 12,2 млрд руб., что на 7 % больше, чем в 2022 г. За последние 5 лет ежегодный прирост объемов финансирования ГРР на АБЦМ в АЗРФ составляет 7–15 %. При этом доля затрат недропользователей, приходящихся на АЗРФ, в общем объеме затрат на ГРР на АБЦМ в РФ составляет 18–20 % (рис. 2). Наибольший объем финансирования ГРР на АБЦМ в АЗРФ в 2023 г. сформирован Дальневосточным ФО – 53 % и Сибирским ФО – 38 %. По группам ПИ значительные объемы финансирования ГРР на АБЦМ на территории АЗРФ приходятся на благородные металлы – 44 %, цветные металлы – 33 % и алмазы – 23 %. Планируемый в 2024 г. объем затрат в АЗРФ на АБЦМ составляет 17,7 млрд руб.

Количество проектов ГРР на АБЦМ на территории АЗРФ за последние 5 лет, имеющих срок начала работ не позднее 2019 г. и получивших положительное экспертное заключение, на конец 2023 г. составило около 570 единиц. Суммарный объем планируемых инвестиций по ним составил 92,8 млрд руб.

Динамика затрат на ГРР на за счет недропользователей и лицензирование позволяют прогнозировать усиление количественного потенциала МСБ АБЦМ в Арктической зоне РФ. В це-

Таблица. Состояние МСБ АБЦМ Арктической зоны РФ на 01.01.2023 г.

Вид ПИ	Ед. изм.	Запасы ($АВС_1 + С_2$)	% от РФ	Добыча (2022 г.)	% от Р
Золото (Au)	т	1762,6	10,7	29,719	7
Серебро (Ag)	т	24 315,2	19,8	231,8	8,9
МПГ	т	15 287,3	95,4	134,882	99,6
Алмазы (Di)	тыс. кар.	261 983,7	25	14 719,4	36
Свинец (Pb)	тыс. т	1074,5	6,2	0	0
Цинк (Zn)	тыс. т	2487,9	4,2	0	0
Медь (Cu)	тыс. т	40 550,3	39,6	431,5	38,6
Никель (Ni)	тыс. т	20 774,9	73,4	278,2	100
Кобальт (Co)	тыс. т	852,6	54,6	11,436	93,7

лях развития МСБ АБЦМ АЗРФ в дальнейшем необходимо не только удержание достигнутых показателей, но и обеспечение увеличения объемов ГРР.

Минерально-сырьевая база АБЦМ на территории Арктической зоны РФ представлена всеми видами (Таблица 1). Наиболее значимыми запасами, имеющими существенную долю в запасах РФ, располагают металлы платиновой группы, никель, кобальт, медь и алмазы. Согласно данным по добыче за 2022 г., весь никель в стране и почти все платиноиды добываются на территории АЗРФ, обеспечивается более 90 % выпуска кобальта (с учетом получения товарных продуктов из минерального сырья почти 100 %). Значимы объемы добычи меди и алмазов – более 30 % от РФ. Добыча свинца и цинка на территории АЗРФ пока не ведется.

Главными месторождениями АБЦМ в АЗРФ являются: Октябрьское (Ni, Co, Cu, МПГ, Au, Ag), Талнахское (Ni, Co, Cu, МПГ, Au, Ag), Норильск I (Ni, Co, Cu, МПГ, Au, Ag), Масловское (Ni, Co, Cu, МПГ, Au, Ag), Прогноз (Ag, Pb, Cu), Павловское (Pb, Zn, Ag), Ждановское (Ni, Co, Cu, МПГ, Au, Ag), Кючус (Au, Ag), Песчанка (Cu, Au, Ag), Майское (Au), трубка им. В. Гриба (Di), трубка Архангельская (Di), трубка им. Ломоносова, Верхне-Мунское (Di).

Ключевые недропользователи АЗРФ представлены крупными добывающими компаниями: ПАО «ГМК «Норильский никель», АО «Полиметалл», Группа Highland Gold, ГК «Росатом», ООО «Русская платина», ПАО «Селигдар», АО «АГД Даймондс», Группа АЛРОСА.

Большое значение для развития арктической зоны имеет Северный морской путь (СМП). Объем перевозок по СМП за 2023 г. превысил 36 млн т. Ожидается, что к 2035 г. объем грузоперевозок по СМП достигнет 160 млн т. [2] Наиболее значимые месторождения АБЦМ, которые могут внести вклад в увеличение объемов перевозок по СМП – Песчанка (Чукотский АО), Павловское (Архангельская обл.), Кючус (Якутия), а также месторождения Норильского рудного района (Черногорское, Норильск I южная часть и др.). Потенциальные объемы для транспортировки по СМП в отношении АБЦМ (товарные продукты) может превысить 3 млн т в перспективе 10–15 лет (экспертно).

Дальнейшие перспективы развития МСБ АБЦМ в АЗРФ. Состояние добычи никеля, кобальта и МПГ в АЗРФ главным образом определяется деятельностью ПАО «Норникель». По мере ввода в эксплуатацию месторождений Черногорское и южной части Норильск I значимым продуцентом этих металлов станет ООО «Русская платина». С вводом месторождения Песчанка изменится территориальная структура добычи меди, а в число значимых продуцентов войдет ООО «ГДК Баимская». Попутно на указанном месторождении будет вестись отработка запасов золота и серебра. Начало добычи свинца и цинка зависит от своевременности реализации проекта освоения Павловского месторождения (ГК «Росатом»). Значимым центром добычи серебра станет месторождение Прогноз (АО «Полиметалл»), до начала ввода собственной обогатительной фабрики, переработка руды будет вестись на Нежданинском ГОКе. Динамика добычи золота на собственных месторождениях определяется отработкой известных объектов Чукотского АО (Майское, Кекура и др.), а также началом эксплуатации после доразведки месторождения Кючус в Республике Саха (Якутия). Отдельно стоит отметить поставленное на учет в 2023 г. по результатам ГРР крупное месторождение рудного золота Совиное в Чукотском

АО. Суммарная добыча на указанных объектах позволит не только компенсировать выбытие мощностей (Купол, Морошка), но и нарастить показатели добычи золота в АЗРФ. Развитие алмазной промышленности Арктической зоны в основном определяется проектами АО «Севералмаз» – введение в эксплуатацию трубок им. Карпинского-2 (2028 г.) и Пионерская (2032 г.), трубки им. Ломоносова (2040 г.).

Представленные данные показывают, что основной интерес недропользователей в Арктической зоне РФ сосредоточен на наиболее ликвидных видах минерального сырья –алмазах, золоте, серебре, МПГ, никеле, кобальте и меди.

Риском для освоения МСБ АЗРФ являются сложные климатические и инфраструктурные условия, что влияет на сроки, стоимость и объемы работ. Ярко выражен сезонный характер для грузовых перевозок – ограниченный период навигации, использование автозимников. Для устойчивого освоения недр АЗРФ требуется своевременное создание обеспечивающей инфраструктуры – АЭС, включая малые, линий электропередач, причальных комплексов, автодорог, расширение ледокольного флота и судов арктического класса. К числу проблемных вопросов развития МСБ АЗРФ можно отнести сравнительно невысокий ресурсный потенциал АБЦМ на территории субъектов, входящих в АЗРФ. Для алмазов отмечается исчерпание запасов без должного уровня воспроизводства.

Отдельно необходимо отметить важность постоянной работы по совершенствованию нормативно-правовой базы в отношении недропользования в целом и на территории Арктической зоны. На регулярной основе осуществляется донастройка систем налоговых льгот и преференций, обеспечивающих экономическую эффективность геологоразведочных проектов в условиях Арктической зоны РФ.

Таким образом, основная цель реализуемых мероприятий на территории АЗРФ сводится к сохранению и удержанию заданных темпов по освоению и достаточному воспроизводству МСБ АБЦМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ФГИС «АСЛН» [Электронный ресурс]. – URL: https://asln.rosnedra.gov.ru/ (дата обращения 06.03.2024).
2. Инвестиционный портал Арктической зоны России [Электронный ресурс]. – URL: https://arctic-russia.ru/northsearoute/ (дата обращения 06.03.2024).
3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 7 июня 2021 г. N 388 «Об утверждении Программы геологического изучения участков недр на территории Арктической зоны Российской Федерации в целях формирования перспективной грузовой базы Северного морского пути на период до 2035 года».

Потанин А. С. [1] (alexander.potanin@nordgold.com),
Чварова Н. В. [1] (natalia.chvarova@nordgold.com),
Керцман В. М. [2] (info@geotechnologies.ru), Мойланен Е. В. [3] (moilanen@mail.ru)
[1] ООО «Нордголд Менеджмент», г. Москва,
[2] ООО «Геотехнологии», г. Москва,
[3] ИПУ РАН, г. Москва

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАДИЙНЫХ ПОИСКОВЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ОТКРЫТИИ НОВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Стадийность геолого-поисковых работ заключается в переходе от общих поисков и в случае положительных перспектив к крупномасштабным работам и заверочному бурению. Подчеркивается, что благодаря стадийности поиска, удалось избежать дополнительных издержек. Весь комплекс работ, от аэрогеофизики до получения заключения о запасах и постановке на баланс, занял около пяти лет. Работы завершились открытием очень крупного золотого месторождения Роман и выделением ряда перспективных участков для последующих назем-

ных заверочных работ специалистами компании Nordgold. Подтвержденные запасы золота составляют не менее 170 т.

Ключевые слова: аэрогеофизика, комплекс ЭКВАТОР, геохимия, буровые работы, месторождение Роман.

Введение. После обнаружения новых месторождений Таборное и Гросс, которые входят в золотодобывающий кластер в Олекминском районе Республики Саха (Якутия), были предприняты попытки найти объекты-аналоги. Однако, буровые работы на участке Усинский и других, находящихся к востоку от месторождений, в сходных геологических условиях, успеха не принесли. Затем были проведены стадийные поисковые работы западнее месторождения Таборное в породах Архейского фундамента.

В настоящей статье обсуждаются вопросы эффективности стадийных поисковых геолого-геофизических работ при открытии новых золоторудных месторождений, выполненных компанией Nordgold.

Геология района работ. Рудовмещающими породами известных месторождений Таборное и Гросс являются метасоматически измененные красноцветные песчаники. Возраст оруденения – поздняя юра, около 140 млн лет, совпадает со временем активизации Алданского щита. Основными рудоконтролирующими структурами района являются: субмеридиональный Токкинский (Т) и субширотный Кондинский (К) региональные зоны разломов (рис. 1.1, 1.2).

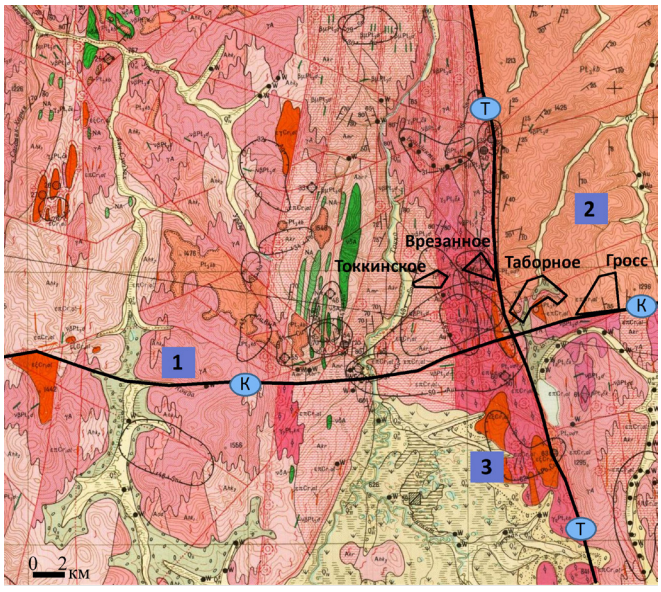
Целевые объекты приурочены к мощной тектонической зоне брекчирования. Генезис объектов – гидротермально-метасоматический. Рудоносными являются породы с ярко выраженной калиевой специализацией. На геологической карте и в результатах электроразведочной и магнитной съемки выделены дайкообразные тела основного состава.

Опираясь на составленную прогнозно-поисковую модель, были проведены поисковые работы западнее месторождения Таборное, в породах Архейского фундамента, где также присутствуют признаки, благоприятные для обнаружения новых месторождений.

В таблице 1 приведена программа стадийности геологоразведочных работ, успешно опробованная на лицензионных участках.

О методике аэрогеофизических работ. Одной из первых была изучена площадь западнее месторождения Таборное, где была выполнена аэрогеофизическая съемка комплексом ЭКВАТОР, который содержит каналы аэроэлектроразведки, аэромагниторазведки и аэрогамма-спектрометрии.

На этой территории выполнялась аэроэлектроразведка методом переходных процессов (МПП) и измерения в частотной области [1]. Шаг электрического зондирования геологического разреза вдоль профиля составил 5–7 метров. Результаты измерений после обработки во временном и частотном форматах были оформлены в виде карт и разрезов удельных сопротивлений [3, 5] (рис. 2–4).



Условные обозначения к геологической карте:

1 Породы Архейского фундамента

2 Песчаники Протерозойского грабена

3 Щелочные интрузивные породы Мезозойского возраста

Региональные зоны разломов:
Т – Токкинский
К – Кондинской

Контуры месторождений и рудопроявлений

Рис. 1.1 Обзорная геологическая карта района работ

Рис. 1.2 Условные обозначения к рис. 1.1

Таблица. Программа геологоразведочных работ

	Содержание и сроки работ
0. Выбор участка для поисковых работ	изучение фондовых материалов и геологических отчетов прошлых лет
	выбор площади с использованием составленной прогнозно-поисковой модели
	аэрогеофизические исследования (электроразведка, гамма-спектрометрия и магнитометрия)
1. Площадные поисковые наземные работы	геохимические поиски по первичным и вторичным ореолам рассеяния
	геологические маршруты
	наземные геофизические работы (1-й год)
2. Заверка выявленных перспективных участков (Стадия открытия)	заверочные горнопроходческие работы (канавы)
	RC-бурения на участках, перекрытых чехлом четвертичных отложений
	бурения единичных колонковых скважин с целью получения промышленных сечений (2-й год)
3. Оценка выявленных объектов бурением	колонковое бурение по редкой сети для оконтуривания выявленного оруденения в плане и оценки его на глубину, доступную для открытой отработки
	оценка ресурсного потенциала объекта, а также минералогические исследования
	предварительная технологическая оценка руд и первый расчет инвестиционной привлекательности выявленного объекта (3-й год)

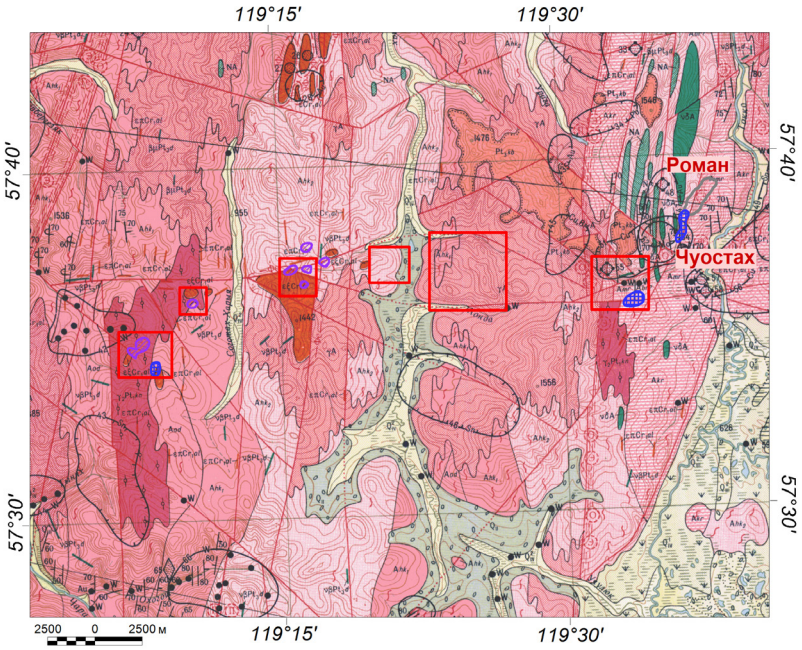


Рис. 2. Геологическая карта района работ

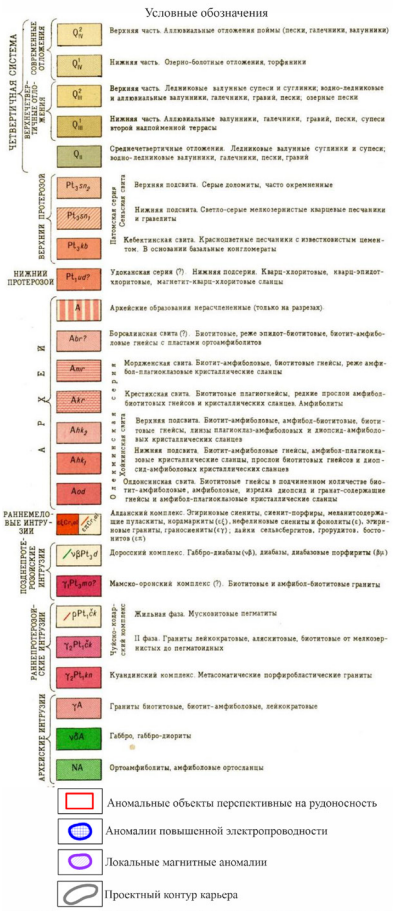


Рис. 3. Условные обозначения к рисункам 2–5

Карты удельного электрического сопротивления и локальной составляющей аномального магнитного поля (рис. 4, 5) имеют ярко выраженные аномалии и позволяют сделать ряд важных выводов по тектонической обстановке изучаемой площади.

На рис. 4 приведена карта удельных сопротивлений для интервала глубин 0–300 м. В целом площадь характеризуется высокими удельными сопротивлениями, их среднестатистическое значение составляет 4000 Ом·м, а максимумы достигают 10 000 и более Ом·м. Минимальными значениями удельных сопротивлений 100–200 Ом·м характеризуются зоны тектонических нарушений и зоны максимальной гидротермальной проработки, а также области развития четвертичных отложений.

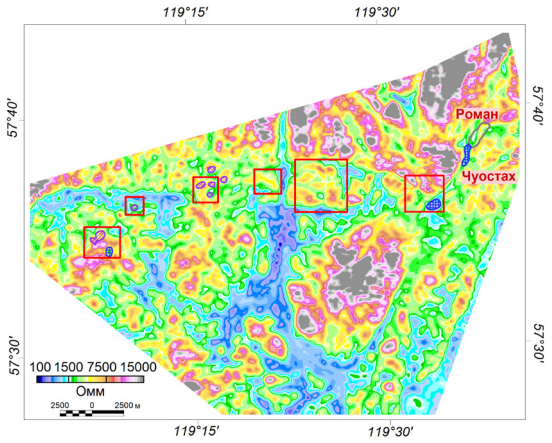


Рис. 4. Карта удельных электрических сопротивлений для интервала глубин 0–300 м

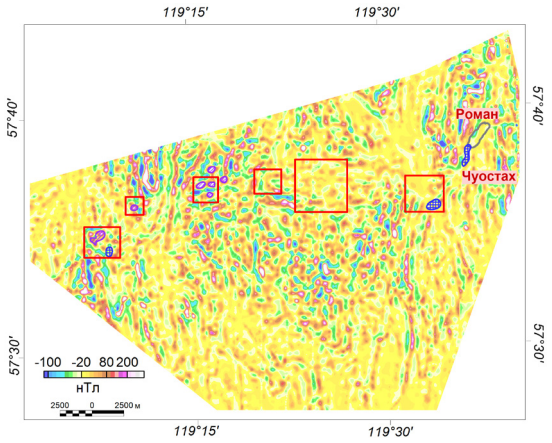


Рис. 5. Карта локальной составляющей аномального магнитного поля (фильтр Керцмана, ширина 700 м)

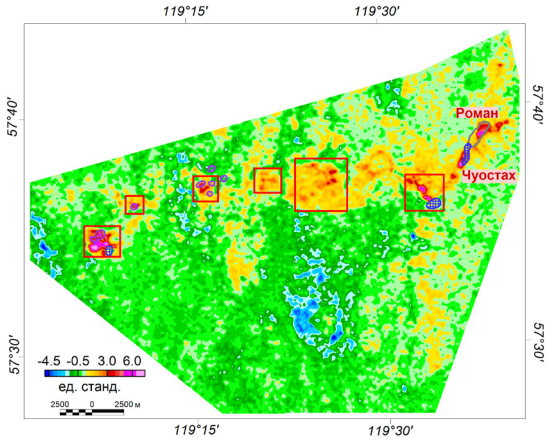


Рис. 6. Карта разности центрированных и нормированных величин калия и тория с учетом генетических типов ландшафта

Локальные магнитные аномалии, представленные на рис. 5, создаются, вероятно, выходящими на поверхность и слепыми интрузиями основного состава и возможно приповерхностными объектами.

Важно отметить, что для площади аэрогамма-спектрометрических исследований в целом характерен высокий коэффициент корреляции между торием и калием (> 0,8). Большой интерес представляют участки с явным отклонением от линии корреляции как в сторону тория, так и в сторону калия. Для обнаружения таких участков использовалась карта разности центрированных и нормированных величин калия и тория [4].

На карте разности центрированных и нормированных величин калия и тория четко проявлено противоповедение того или другого элемента, геологическую природу которого предстоит установить последующими геохимическими и горно-буровыми работами. Было проведено ландшафтное районирование (рис. 6).

В результате анализа цифровой модели рельефа были выбраны участки для различных типов ландшафта: аккумулятивный, аллювиально-аккумулятивный, трансэлювиальный, элювиально-автономный [2]. Наиболее интересны трансэлювиальный и аллювиально-аккумулятивный ландшафты. Исходные гистограммы (рис. 7) мономодальны и средние соответствуют «кларковым» значениям. В то же время разность центрированных и нормированных величин калия и тория бимодальна с ярко выраженной доминантой калия в правой части (рис. 8). Возможно, там находятся самые интересные выходы калиевых метасоматитов.

К западу от месторождения «Роман» выделены перспективные участки с аналогичными геофизическими характеристиками, на которых в настоящее время выполняются работы 1 и 2 стадий.

Заключение. В 2014 г. было защищено ТЭО ПК и запасы месторождения Гросс в количестве 171 т золота. ТЭО ВК месторождений Врезанное и Токкинское получено в 2020 г. В 2023 г. прошла экспертиза в ГКЗ ТЭО ВК по участку Роман с суммарными запасами не менее 170 т золота.

На примере полученных эталонных объектов (Врезанный и Токкинское) удалось за короткое время, с небольшими затратами, с помощью аэрогеофизики комплексом ЭКВАТОР провести поисковые работы на большой территории, выделить на ней перспективные площади. При

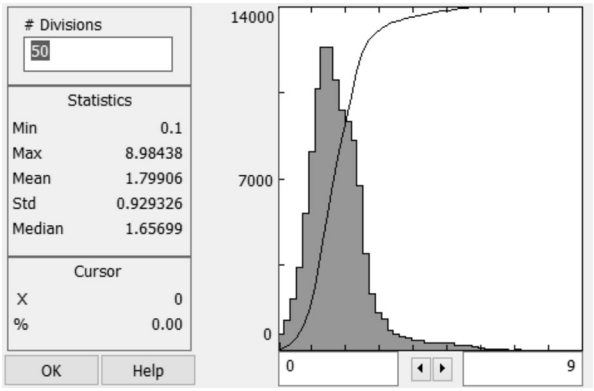


Рис. 7. Статистика и гистограмма распределений концентраций калия для аллювиально-аккумулятивной формы ландшафта

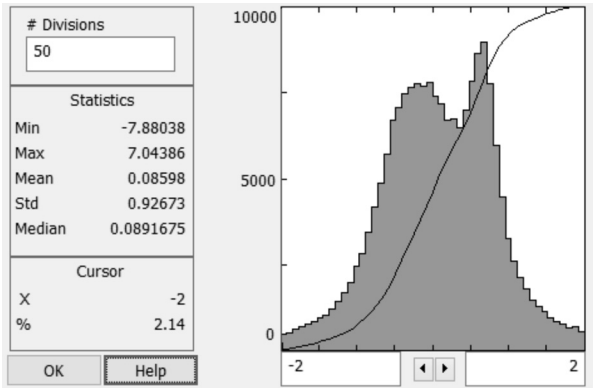


Рис. 8. Статистика и гистограмма распределений центрированной нормированной разности калия и тория для трансэлювиальной формы ландшафта

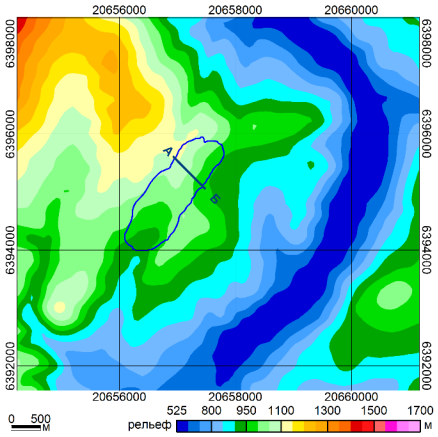


Рис. 9.1 Карта разности центрированных и нормированных величин калия и тория с учетом генетических типов ландшафта в районе проектного контура карьера

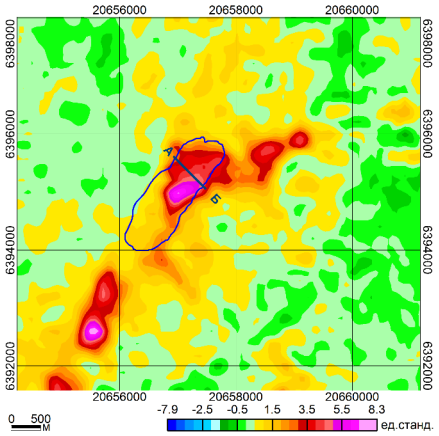


Рис. 9.2 Цифровая модель рельефа в районе проектного контура карьера

проведении поисковых работ уже найдено уникальное месторождение «Роман» и несколько рудопроявлений (Чуостах, Надежда, Пограничный и др.), что открывает широкие перспективы для новых поисковых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волковицкий А. К., Каршаков Е. В., Мойланен Е. В. Новая вертолетная электроразведочная система ЭКВАТОР для метода АМПП // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2010. – № 2. – С. 27–29.
2. Добровольский В. В. Геохимия почв и ландшафтов. Т. 2. – М. : Научный мир, 2020. – 752 с.
3. Керцман В. М., Мойланен Е. В., Подмогов Ю. Г. Возможности аэрогеофизики при поисках золоторудных месторождений различного типа // Геофизика, МОО ЕАГО. – 2019. – № 4. – С. 52–59.
4. Островский Э. Я. Методические указания по аэрогамма-спектрометрической съемке с кодовым прибором АГС-4К. – М. : М-во геологии СССР, 1974. – 135 с.
5. Karshakov E. Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion // Exploration Geophysics. – 2020. – № 51(1). – P. 66–73. – DOI: 10.1080/08123985.2019.1593790.

Поцелуев А. А. [1, 2], **(poceluevaa52@mail.ru), Ананьев Ю. С.** [2], **(ananyevys@tpu.ru), Житков В. Г.** [2, 3], **(vlgitkov@yandex.ru), Хабибулин М. Ш.** [4], **(khabibulin@me.com)**

[1] ООО «КосмоГеопро», г. Томск,

[2] НИ ТПУ, г. Томск,

[3] НИ ТГУ, г. Томск,

[4] АО «Компания Вольфрам», г. Томск

СТРУКТУРЫ РАЙОНА И РУДОГЕНЕЗ КАЛГУТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Изучены структуры Калгутинского района по космоматериалам LandsatETM+ и цифровой модели рельефа по данным SRTM, что позволило выявить широкое развитие крупных структур линейной и кольцевой морфологии. Исследованы особенности развития магматических комплексов, вещественного состава оруденения и стадийности минералообразования. Показана связь выявленных структур линейной и кольцевой морфологии с многоэтапным характером развития Калгутинской рудно-магматической системы, что подтверждается особенностями геологического строения и комплексным составом руд месторождения.

Ключевые слова: Калгутинское редкометалльное месторождение, Горный Алтай, материалы космических съемок, геологические структуры, магматизм, рудогенез.

Калгутинское редкометалльное месторождение изучается с 1930-х гг., и в настоящее время это единственный детально разведанный объект в регионе. Месторождение является комплексным. Наряду с основными промышленными компонентами – W и Mo – в рудах оценены запасы Cu, Bi и Be. Основной геологической структурой Калгутинского района является одноименная вулкано-тектоническая депрессия, сложенная образованиями аксайской свиты (D_{1-2}). В центре депрессии расположен собственно Калгутинский редкометалльный интрузивный массив, с различными этапами развития которого парагенетически связывается формирование комплексного гидротермального оруденения. Космоструктурная характеристика Калгутинского рудного района изучена [6, 7] по материалам мультиспектральной космической съемки системой Landsat ETM+ и цифровой модели рельефа по данным SRTM. Установлено, что в районе широко развиты крупные структуры линейной и кольцевой формы (рис. 1). В районе дешифрированы и откартированы 20 кольцевых структур (КС) и их дуговых фрагментов.

В целях анализа КС был создан модуль для ГИС ARCVIEW, позволяющий определять их размеры и координаты центроидов (рис. 2). Диаметр КС меняется в значительном пределе от 5 до 50 км. При этом в северо-восточном углу площади выделяется фрагмент КС еще большего размера, но основная ее часть находится за пределами изученной площади. По размерам, особенностям пространственного положения, взаимоотношению все КС разделены на две группы. Первая группа – это основная КС, охватывающая весь район Калгутинского месторождения, в которую закономерно «вложены» (телескопированы) КС меньшего размера. При этом от большей структуры к меньшей происходит закономерная локализация площади, в центре которой находится Калгутинский массив и собственно месторождение. При явной телескопированности КС они характеризуются выраженной эксцентричностью – их центроиды смещаются в запад–северо-западном направлении. Ко второй группе отнесены шесть малых КС (диаметр не более 15…20 км), выделяющихся двумя-тремя кольцами. Они не обнаруживают видимой связи с Калгутинским массивом, располагаются по периферии района, но основная их часть сосредоточена в южной–юго-восточной части района.

Важной характеристикой КС являются положение ее центроида и глубина заложения очага, с которым связано их образование. В соответствии с представлениями [4 и др.] видимый диаметр структур на современной поверхности в 2…4 раза больше, чем глубина очага. Таким образом, глубина формирования КС Калгутинского района последовательно от КС большего размера к меньшему уменьшается от 15,8 до 5,1 км (относительно современного эрозионного среза). Принимая во внимание, что развитие процесса шло по восходящей, а положение центроидов в плане соответствует области очага, последовательное соединение центроидов показывает траекторию (проекция на горизонтальную плоскость) пульсационного развития эндогенной системы (см. рис. 2). Полученная таким образом траектория указывает на то, что в целом при

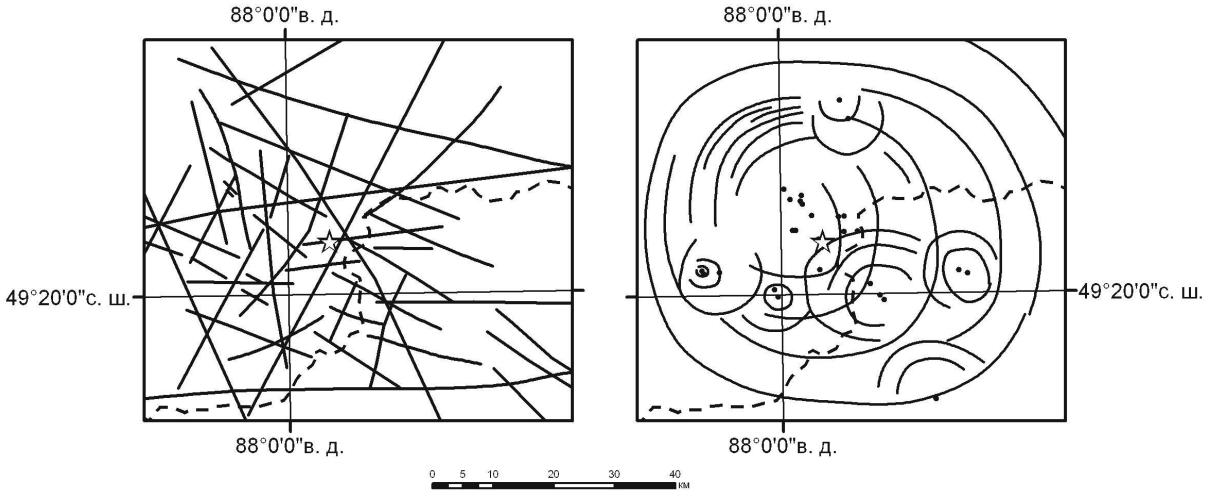


Рис. 1. Схема линеаментов и кольцевых структур (черными точками показаны центроиды КС) района Калгутинского месторождения (показано звездочкой):
пунктирной линией здесь и далее показана граница РФ

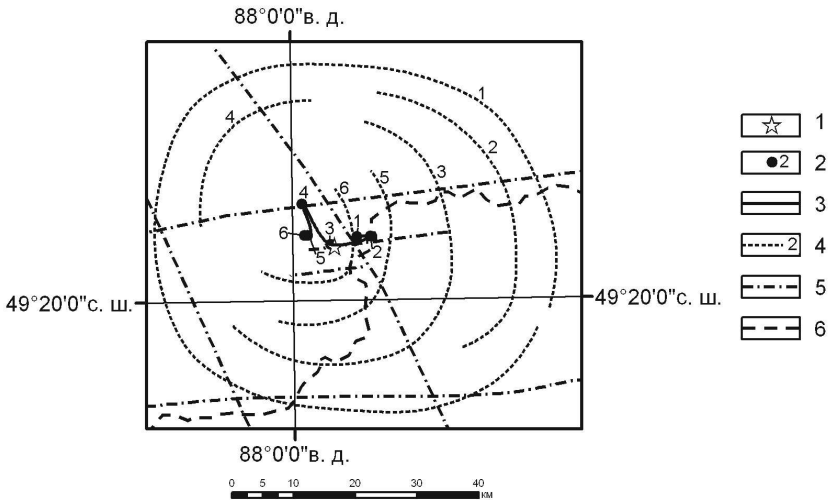


Рис. 2. Космоструктурная модель района Калгутинского месторождения:
1 – основные кольцевые структуры и их номера; 2 – центроиды кольцевых структур и их номера; 3 – проекция на дневную поверхность траектории изменения положения очага Калгутинской рудно-магматической системы (РМС); 4 – главные линеаменты района

подъеме очага к поверхности он смещался с востока–юго-востока на запад–северо-запад. Но на отдельных участках траектория «контролировалась» разломными структурами то субширотного, то северо-западного направления.

Таким образом, район Калгутинского месторождения локализован внутри крупной изометричной кольцевой структуры, размер которой оценивается как минимум в 50 км. Структура приурочена к узлу пересечения трех зон разломов северо-западного (около 330°), северо-восточного (30°) и северо-восточного – субширотного (около 80°) направления. Район характеризуется телескопированным эксцентричным характером расположения колец основной структуры с проявленными автономными локальными структурами (вторая группа), преимущественно сосредоточенными в юго-восточной части района. Само Калгутинское месторождение находится во внутренней части основной кольцевой структуры. Характер расположения центроидов колец основной кольцевой структуры позволяет восстановить характер и траекторию перемещения очага, формирующего данные структуры. Возможно, это была серия последовательно сформировавшихся очагов, которые имели генетическую или парагенетическую связь и, возможно, длительное время развивались одновременно. При подъеме очага к поверхности он смещался с востока–юго-востока на запад–северо-запад. Иначе говоря, структура, контро-

лирующая развитие Калгутинской рудно-магматической системы погружается с запад–северо-запада на восток–юго-восток. Такой вывод подтверждается результатами геолого-геофизического моделирования [2]. Их анализ показывает наличие в центральной части интрузивного массива глубокозалегающей «ножки» шириной 1–2 км, погружающейся на юго-восток под углом 45–60°.

Первопричиной образования КС могут являться глубинные взрывы огромной мощности, обусловленные импульсивным подъемом флюидов (сопровождающихся внедрением порций глубинных расплавов и/или приводящих к расплавлению вмещающих пород) к земной поверхности.

К признакам проявления взрывных процессов в развитии Калгутинской системы можно отнести следующие факты:

• наличие на месторождении эксплозивных брекчий, слагающих изометричные трубообразные тела («Мо-шток 2»), названные Дашкевичем и др. [5] «трубками взрыва». Также известны тела брекчий уплощенной дугообразной формы;

• шарообразная форма в плане и на разрезе тел «Мо-шток 1 и 2». Их морфология указывает на то, что они образовались в участках пространства, подвергшегося резкому (взрывообразному) воздействию, сопровождающемуся разрушением пород в изометричном объеме, на форму которого существенно не влияла неоднородность геологического субстрата. Иначе говоря, если образование трубообразных тел можно связать с длительным процессом в зоне пересечения разноориентированных разрывных нарушений, то шарообразные тела формировались импульсно и динамично, практически равнозначно во всех направлениях.

На природу эндогенных взрывов существуют разные точки зрения, при этом важнейшим является вопрос их энергетического источника. Представляется, что при формировании Калгутинской РМС могли быть реализованы различные механизмы, приводящие к возникновению процессов взрывного характера [8 и др.].

Исследование флюидных включений рудоносных кварцев месторождения показало присутствие в их составе большого числа взрывоспособных газов, в первую очередь к ним относятся угарный газ, водород и различные углеводороды (от легких до тяжелых). Их концентрация различна в разных телах Калгутинского месторождения, но общим является то, что с глубиной содержание их увеличивается, а воды значительно снижается [8]. Различными исследованиями показано, что в мантийных потоках метастабильных тяжелых углеводородов может происходить детонация, сопровождающаяся резким повышением давления (до 210 кбар) и температуры (до 4800 °С). Эти процессы идут на значительных глубинах (от 30 до 90 км) и, следовательно, могут играть основную роль на начальных этапах развития флюидно-магматической системы.

В верхних частях земной коры, собственно в области рудообразования, в систему поступает кислород (источником могли являться вмещающие породы, подвергающиеся кислотному выщелачиванию – «протонированию»), что приводило к окислению флюида. Эти реакции также сопровождались значительным выделением энергии. При этом появляющаяся в системе вода играла роль катализатора, способного ускорять взаимодействие веществ в тысячу и более раз. Такие взрывы приводили к возникновению камер сжатия, а затем зон дробления и трещинообразования. Очевидно, что этот механизм мог быть реализован на заключительном собственно гидротермальном рудообразующем этапе развития системы, на небольшой глубине и сопровождался образованием округлых структур малого диаметра. Возможно, с этими явлениями в начале гидротермального этапа связано формирование штокообразных рудных тел.

Независимо от природы эндогенных взрывов локализация района Калгутинского месторождения внутри крупной (диаметр более 50 км) кольцевой структуры, имеющей сложное телескопированное эксцентричное строение, указывает на длительный многоэтапный (многоимпульсный) характер ее развития. Это согласуется с результатами изучения магматических и гидротермально-метасоматических (собственно рудоносных) образований Калгутинского интрузивного массива и собственно месторождения.

В строении Калгутинского массива выделяются два интрузивных ритма (комплекса). Ранний ритм (калгутинский комплекс) представлен гранитами главной фазы (90 %), лейкогранитами фазы дополнительных интрузий и заключительной фазой – жилами и дайками аплитов,

аплитовидных гранитов, гранит-порфиров и аплито-пегматитов. Возраст гранит-лейкогранитов раннего интрузивного ритма равен 215–210 млн лет. Поздний ритм (воточно-калгутинский комплекс) представлен дайковым поясом гранит-порфиров повышенной редкометалльности, а также ультраредкометалльными апатитсодержащими эльванами и онгонитами. Возраст пород дайкового пояса – 205–190 млн лет [3].

Выделяются несколько главных этапов формирования промышленного оруденения Калгутинского месторождения [1]. К раннему этапу относится формирование «кварц-молибденитового ядра», залегающего среди пегматитизированных гранитов в центральной части месторождения. На втором этапе образовались многочисленные и относительно маломощные жилы кварц-вольфрамит-молибденитового (+, -) -висмутинового (+, -) составов с оторочками грейзенов. Жилы этого этапа секут, а в некоторых случаях и пересекаются дайками эльванов и онгонитов, которые по сути являются внутрирудными. К третьему продуктивному этапу отнесено формирование грейзенов и грейзенизированных микрогранитов флюидно-эксплозивной брекчии «Молибденовый шток», несущей Cu-W-Mo минерализацию. Эти образования пересекаются рудными жилами четвертого этапа. С четвертым этапом связано образование главных рудных жил, несущих в своем составе вольфрамит, молибденит, висмутин, халькопирит и берилл. Здесь также отмечаются сложные взаимоотношения с внутрирудными дайками эльванов и онгонитов.

С восстановленным, богатым и слабодифференцированным по составу глубинным металлоносным флюидом связан комплексный характер промышленного оруденения и богатый геохимический спектр геологических образований месторождения, включающий группы лито-, халько- и сидерофильных элементов [8]. Этим объясняется минералогическое разнообразие и присутствие в составе руд благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd, Os, Rh) и самородных минералов золота, висмута, меди, углерода (графит и аморфные разности).

Таким образом, очевиден сложный характер связи структур Калгутинского рудного района с длительным и многоэтапным характером развития магматизма и гидротермального рудогенеза собственно Калгутинского комплексного месторождения. Функционирование Калгутинской рудно-магматической системы обусловлено энергетическим и вещественным воздействием мантийного источника в позднем палеозое–раннем мезозое. Формирование рудовмещающих гранитов, даек редкометалльных эльванов и онгонитов, грейзенов, рудоносных штокообразных и жильных тел – это результат развития сложного, но объединенного общим глубинным источником, процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Анникова И. Ю. Главные этапы рудообразования и их связь с магматизмом на Калгутинском редкометально-молибдено-вольфрамовом месторождении (Горный Алтай) // Актуальные вопросы геологии и минерагении юга Сибири. – Новосибирск : ИГиЛ СО РАН, 2001. – С. 202–208.
2. Анникова И. Ю., Владимиров А. Г., Выставной С. А., Василевский А. Н., Витте Л. В., Мороз Е. Н. Геолого-геофизическая модель формирования Калгутинской рудно-магматической системы (Южный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307, № 4. – С. 38–42.
3. Анникова И. Ю., Владимиров А. Г., Выставной С. А. и др. U-Pb, Ar39/ Ar40 датирование и Sm-Nd, Pb-Pb изотопное исследование Калгутинской молибден-вольфрамовой рудно-магматической системы, Южный Алтай // Петрология. – 2006. – Т.14, № 1. – С. 90–108.
4. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А. В. Перцова. – СПб. : Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. – 316 с.
5. Дашкевич Г. Э., Морцев Н. К., Боровиков А. А. Эксплозивные брекчии на Калгутинском месторождении (Горный Алтай) // Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных комплексов юга Сибири. – Новосибирск : ОИГГМ СО РАН, 1991. – С. 44–49.
6. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Анникова И. Ю. Космоструктурная модель района Калгутинского редкометалльного месторождения (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 45–53.

7. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г. Дистанционные методы геологических исследований, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых : учебное пособие для вузов / под ред. докт. г.-м.н. А. А. Поцелуева. – 3-е изд. – Томск: 2019. – 192 с.
8. Поцелуев А. А., Рихванов Л. П., Владимиров А. Г., Анникова И. Ю., Бабкин Д. И., Никифоров А. Ю., Котегов В. И. Калгутинское редкометалльное месторождение (Горный Алтай) : магматизм и рудогенез. – Томск : STT, 2008. – 226 с.

Просекин С. Н. [1, 2] (pros.sergey@igc.irk.ru), БлиновА. В. [1, 2] (ablinov@igc.irk.ru), БарановаС. А. [1, 2] (s.baranova@igc.irk.ru)
[1] ФГБУН ИГХ СО РАН, г. Иркутск,
[2] ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ РАБОТ: КОНЦЕПЦИЯ, РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ

В работе рассматривается геоинформационный подход для управления данными геолого-поисковых работ. Предложено решение оптимизации процессов сбора, обработки и представления данных и автоматизации сложных расчетов и рутинных процессов картопостроения, способствующих сокращению временных и трудовых затрат.

Ключевые слова: геоинформационные системы, геологоразведочные работы, автоматизация, базы данных.

Уже долгие годы геоинформационные системы являются мощным инструментом при проведении работ в сфере недропользования. Наиболее актуальной задачей является проведение геолого-поисковых работ максимально продуктивно и с минимальными затратами по времени, тем самым минимизируя финансовые затраты. В настоящей работе рассматривается геоинформационный подход, способный решить данные задачи на всех стадиях работ, путем оптимизации процессов сбора, обработки и представления данных с элементами автоматизации конкретных задач.

Рассматриваемый подход, как и большинство подобных, основан на интеграции различных систем и программных средств в единую информационную систему (ИС), объединяющую их функциональные возможности [3]. Данную тенденцию диктуют разнородные данные геологических, геофизических, геохимических и горно-буровых методов и широкий круг выполняемых задач [7]. Но в отличие от других рассматриваемый подход имеет ряд преимуществ с точки зрения обработки и представления пространственных данных. Далее приводится описание предлагаемого геоинформационного решения, затрагивающего все этапы геолого-поисковых работ.

Основу любых поисковых работ формируют данные об объекте изучения, что требует создания системы хранения (базы данных – БД) и структурированного ГИС проекта, на основе всей доступной информации [4, 7]. Поэтому в рамках рассматриваемого подхода предполагается создание унифицированной «шаблонной» структуры БД, учитывающей все специфические для применяемых методов работ виды и типы данных. То есть наполнение базы производится по заранее спланированному алгоритму, и ГИС-специалисту необходимо только следовать ему. Это необходимо для правильного выполнения дальнейших алгоритмов автоматизированных обработок и контроля поступающей информации. Разработанные алгоритмы контроля и обработки данных подразумевают использование с самого начала полевых работ для наполнения и использования экспортированной на полевые рабочие станции БД, которая позднее импортируется обратно в сетевое хранилище, что позволяет избежать дублирования слоев и таблиц.

На этапе полевых геолого-поисковых работ для сбора полевой информации на базе защищенных смартфонов используются электронные журналы, заполняемые непосредственно в процессе ведения маршрута, данные из которых после каждого трудового дня переносятся в БД.

После этого используются специальные алгоритмы проверки правильности занесения данных, дублирования, разрешенных расстояниях отбора проб и т. п., что позволяет повысить эффективность и оптимизацию контроля поступающей информации в реальном времени. Неоспоримым преимуществом такого подхода ведения полевых работ является возможность автоматизированной оценки и проверки первичных данных непосредственно в процессе полевых работ, что позволяет своевременно обнаружить и исправить какие-либо ошибки и недочеты. Тем самым экономится время за счет устранения регулярного ручного переноса бумажной версии в цифровую и исключается возможность появления возникающих при этом ошибок и опечаток.

На камеральном этапе большинства геолого-поисковых работ в обязательном порядке присутствует обработка данных по принятым методикам [5, 6], которая превращается для ГИС специалистов в рутинный процесс. В случае проведения геолого-геохимических работ, практически во все договоры в обработку включен статистический анализ аналитических данных по первичным и (или) вторичным ореолам рассеяния, на основе которого выполняется построение большого количества карт для каждого проанализированного элемента (карты разносок, изолиний абсолютных и стандартизированных содержаний, многомерные карты и др.). В результате только для данных геохимического опробования строится порядка 120–170 различных карт. Рассматриваемый подход предполагает использование средств автоматизации некоторых процессов обработки, путем использования авторского программного обеспечения (ПО) в виде дополнительного модуля для QGIS. Модуль отвечает за сбор аналитических протоколов в единую таблицу, готовую для дальнейших расчетов, проведение оценки и контроля качества химико-аналитических исследований, а также расчет статистических показателей. Кроме того, он позволяет в автоматизированном режиме оформлять слои данных, создавать макеты карт в соответствии со всеми необходимыми требованиями к картографическим материалам с учетом статистических показателей.

Преимущество такого решения к проведению геолого-поисковых работ заключается в сокращении временных затрат на проведение рутинных операций на всех этапах проведения работ, кроме того, от конечного пользователя не требуется глубоких знаний геоинформационных систем, что позволяет работать специалистам с базовыми знаниями ГИС. Потому что все сложные алгоритмы реализованы либо в виде дополнительного авторского ПО, либо в виде готовых шаблонных запросов интегрированных в структуру БД, которая также адаптирована под различные виды работ и является гибкой и унифицированной.

Данный подход уже зарекомендовал себя при проведении геолого-геохимических работ на площадях Бодайбинского района, Забайкальского края и Магаданской области [1, 2, 4]. Он позволил оптимизировать трудо- и времязатраты на всех этапах геолого-поисковых работ с самых ранних и до конца проекта. Автоматизированы многие сложные расчеты и рутинные процессы картопостроения, разработана структура БД, позволяющая оптимизировать систему хранения данных, а также привнести дополнительную функциональность в работе конечному потребителю.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.130.3.1 (№0284-2021-0001). Работа осуществлена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск). Подготовка материала проведена на анализаторе фрагментов микроструктуры твердых тел Минерал С7 с линией пробоподготовки в МНОЦ «Байкал».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Блинов А. В., Просекин С. Н., Чачанагова О. И., Будяк А. Е., Конев И. П. Комплексная геолого-геохимическая оценка площадей на твердые полезные ископаемые с применением открытых ГИС // Инженерная и рудная геофизика 2022 : сб. материалов 18-ой науч.-практич. конф. и выставки. – 2022. – С. 168–174.
2. Ефремов С. В., Горячев Н. А., Будяк А. Е., Скузоватов С. Ю., Блинов А. В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты // Геодинамическая эволюция литосфе-

ры Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы науч. конф. – 2023. – С. 100–102.
3. Маммедов А. А., Мусаев Ш. Д., Пошивайло Я. Г., Федотов Г. С. Геоинформационное обеспечение геологоразведки месторождений руд цветных металлов // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий : материалы междунар. конф. – М. : Изд-во Московского университета. – 2020. – Т. 26. – Ч. 2. – С. 120–136.
4. Паршин А. В., Аузина Л. И., Просекин С. Н., Блинов А. В., Костерев А. Н., Лоншаков Г. С. [и др.]. Геоинформационный подход к оценке ресурсной перспективности площадей (на примере месторождений подземных вод Восточной Сибири) // Геоинформатика. – 2017. – № 1. – С. 11–20.
5. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : Недра, 1985. – 294 с.
6. Соколов, С. В., Марченко А. Г. Оптимизация сети и плотности опробования при проведении площадных геохимических работ как фактор повышения надежности прогноза // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 8. – С. 19 – 28.
7. Didero Takodjou Wambo J., Tanni Quinter W. GIS and Database Management for Mining Exploration. GIS and Spatial Analysis // IntechOpen. – 2023. – P. 115–140.

Проскурнин В. Ф. [1] (Vasily_Proskurnin@vsegei.ru), Проскурнина М. А. [1],
Курапов М. Ю. [2], Гавриш А. В. [1], Брусницын А. И. [2],
Шатов В. В. [1] (Vitaly_Shatov@vsegei.ru)
[1] ФГБУ «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург,
[2] Институт наук о Земле, ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург

ВЕРХНЕТАРЕЙСКИЙ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАЙМЫРА

При проведении мелкомасштабных геологосъемочных (2014 г.), ревизионно-поисковых (2021 г.) работ на Центральном Таймыре из состава Тарейского золото-сурьмяно-ртутно-мышьякового потенциального рудного района выделен Верхнетарейский потенциальный рудный узел с золото-медно-порфировым оруденением. В пределах Верхнетарейского сиенит-монцогранитового штока выявлена золото-медно-порфировая минерализация штокверкового и скарнового типов. Для рудоносных монцогранит-порфиров получен конкордантный возраст 233 ± 1 млн лет, индикативные геохимические параметры циркона PIZ свидетельствуют о принадлежности их к высокопродуктивным Au-Cu-порфировым системам. Прогнозные ресурсы категории P_3 для Верхнетарейского потенциального рудного узла составили для Cu – 877 тыс. т, Au – 73 т.

Ключевые слова: Центральный Таймыр, гранитоиды латитового ряда, золото-халькопирит-пиритовая минерализация, золото, медь, порфировая система.

В пределах Таймыро-Североземельской складчатой области выделяются три складчатые системы [5]: Северотаймыро-Североземельская (как часть арктид, относящаяся к Северо-Карскому геоблоку), Таймырская (таймыриды) и Восточнотаймырско-Оленекская (как часть верхоянид). Первая заложена на Северо-Карском энсиалическом основании докембрия, Таймырская и Восточнотаймырско-Оленекская складчатые системы имеют активноокраинное Сибирское энсиматическое основание.

Северотаймыро-Североземельской и Таймырской складчатым системам отвечают одноименные минерагенические системы, составляющие в целом Таймыро-Североземельскую минерагеническую провинцию. Центрально-Арктический золотосодержащий медно-молибден-порфировый пояс [5] приурочен к границе минерагенических систем, протягиваясь на расстояние более 900 км и достигая ширины 80 км на п-ве Челюскин. Ведущую роль в его формировании

играют позднепалеозойско-раннемезозойские гипабиссальные умереннощелочные гранит-порфировые и монцонит-граносиенит-порфировые рудоносные интрузии.

Интрузии пестрого состава раннемезозойского возраста образуют двенадцать ареалов развития вне зависимости от тектонического строения территории [6]. Их состав меняется от шрисгеймитов, шонкинитов, монцогаббро до умереннощелочных и щелочных сиенитов, граносиенитов и гранит-порфиров, от калиевых лампрофиров, лампроитов до альнеитов и лампрофиров камптонит-мончикитового ряда.

Золото-молибден-медно-порфировое оруденение связано с раннемезозойскими кольцевыми интрузиями шошонит-латитового ряда и установлено на Западном Таймыре – в Моржовско-Убойнинском и Нижнепясинском ареалах, на Центральном Таймыре – в Верхнетарейском ареале. Геологическое строение интрузий Верхнетарейского ареала в бассейне р. Извилистой впервые описано М. Г. Равичем и Л. А. Чайкой [8], впоследствии наиболее детально охарактеризовано при производстве АЭФГК и ГГК-200 (В. В. Беззубцев, 1979ф; [1]). Н. Н. Нагайцевой и В. Ф. Проскурниным [3] этот ареал интрузий, приуроченный к Тарейскому валу [4], выделен в самостоятельный интрузивный комплекс из состава раннемезозойского фтанито-салического интрузивного комплекса.

В пределах Верхнетарейского ареала интрузий комплекс образует пояс дайковых тел гранит-граносиенит- и кварцевых порфиров в бассейне рек Вента, Извилистая до верховьев ручьев Мутный, Шумный и узел из небольших штоков в верховьях рек Тарея (район высоты 516 м), Шара и Белая. Они прорывают терригенно-карбонатные углеродистые отложения позднекембрийско-ордовикского возраста. Дайки лампрофиров развиты на всей территории ареала. В бассейне р. Извилистая дайковый линейный ареал гранит-порфиров в сводовой части антиклинальной структуры включает более десяти тел, наиболее крупное из которых обладает мощностью до 37 м и прослеженную длину до одного километра.

На юге гряды Геологическая (район высоты 516 м), в междуречье Шара и Белая, верхнетарейские интрузии представлены штоками площадью до 5 км^2 и дайками мощностью 10–30 м, протяженностью до 2 км. Они прорывают карбонатные отложения венда и терригенно-карбонатные углеродистые отложения кембрия–силура. Комплекс характеризуется пестрым и неустойчивым составом пород с многочисленными фазо-фациальными переходами. В штокообразных телах выделяется до четырех фаз [1]: в раннюю фазу внедрялись монцогаббро, монцогаббродиориты, в главную – монцониты и сиениты, в третью – граносиениты, граносиенит-порфиры, монцогранит-порфиры, кварцевые порфиры, в заключительную – лампрофиры керсантитового и камптонит-мончикитового рядов. В этих же массивах наблюдались фазовые взаимоотношения: монцогаббро прорываются дайками монцонитов, а те в свою очередь – монцогранит-порфирами.

С целью уточнения возраста пород верхнетарейского комплекса были отобраны и датированы U-Pb методом SIMS SHRIMP II цирконы [2] из монцогранит-порфиров верховьев р. Тарея (проявление Верхнетарейское) и джаспероидов горы Геологическая (рудопроявление Извилистое). Из первых получен конкордантный возраст по десяти точкам 233 ± 1 млн лет, из джаспероидов – по восьми точкам – 234 ± 2,0 млн лет, отвечающий низам карнийского века позднего триаса. В пределах Тарейского потенциального рудного района наиболее известны рудопроявления золото-сурьмяно-ртутно-мышьяковой формации [1, 2]. Самые крупные из них: Извилистое, ручьи Рудный и Мутный, р. Узкая, которые совместно с геохимическими аномалиями объединяются в Извилистый (800 км^2) и Аятуркинский (400 км^2) потенциальные рудные узлы. Верхнетарейское золото-медно-порфировое проявление обнаружено В. Ф. Проскурниным и М. А. Проскурниной в 2014 г. при создании Госгеолкарты-1000/3, лист S-46 [2] на водоразделе верховьев рек Тарея и Шара. Дополнительно изучалось в 2021 г. при поисковых маршрутах совместно с М. Ю. Кураповым.

Верхнетарейский потенциальный рудный узел (ПРУ) объединяет северо-восточную группу интрузий Верхнетарейского ареала интрузий средне-позднетриасового возраста. Верхнетарейское и выявленное дополнительно Апофизное проявления располагаются на юге гряды Геологическая на небольшой сопке (район высоты 516 м) в верховьях руч. Проворного, и приуроче-

ны к трем массивам сиенит-монцогранит-порфирового состава площадью 1–1,5 км^2. Площадь трех сближенных массивов с охватом их экзоконтактовых образований составляет 4 км^2.

Южный (собственно рудоносный) изученный массив штокообразной формы, сложен с юга на север сменяющими друг друга последовательно к центру массива диопсид-амфиболовыми крупнозернистыми монцогаббродиоритами (1 фаза), биотит-амфиболовыми порфировидными и порфировыми разностями сиенитов (2 фаза) и монцогранит-порфирами (3 фаза). Плагиоклаз зональный, олигоклаз-андезинового состава; калишпат – существенно калиевый, с примесями BaO, FeO; амфибол по составу соответствует паргаситу и эденитy; биотит плеохроирует в коричневых тонах, по составу существенно магниевый ($Flog_{49–55}Ann_{26–29}$); из вторичных минералов развиты альбит, хлорит, серицит; акцессорные минералы представлены апатитом, магнетитом, титанитом, перовскитом, цирконом, ильменитом. По химическому составу гранит-порфиры и кварцевые сиенит-порфиры умереннощелочные, калиевого и калиево-натриевого типов щелочности (K_2O/Na_2O = 0,8–1,7), низкотитанистые (0,1–0,4 % TiO_2), по содержанию K_2O относятся к высококалиевым и шошонит-латитовым породам, являются металюминиевыми по индексу Шенда и магнезиальными по соотношению $FeO_{общ}/(FeO_{общ} + MgO)$. Характер распределения РЗЭ в породах по отношению к хондриту – выраженно фракционированный $(La/Lu)_n$=12–19, с обогащением легкими редкими землями и слабо выраженной Eu-аномалией, сходный с распределением РЗЭ в базальтах океанических островов. Распределение элементов на спайдерграмме отличается повышенными значениями крупноионных элементов (Rb, Ba, Th, U, K), присутствием Ti-Ta-Nb аномалии. Отрицательная величина εNd (-8,5÷-9,6) в породах свидетельствует о значительной роли контаминации родоначальных магм коровым материалом. По петрогеохимическим характеристикам породы принадлежат геохимическому типу гранитоидов латитового ряда, по Л. В. Таусону (1977).

Вмещающими породами являются нерасчлененные карбонатные отложения верхнего венда–среднего кембрия, которые скарнированы и мраморизованы. Экзоконтактовые образования мощностью до 50 м представлены силикатно-карбонатными образованиями скарнового типа: тремолит-ферроактинолит-диопсидовыми, диопсидовыми, диопсид-кальцитовыми, тремолит-волластонитовыми, скаполит-форстерит-флогопитовыми, кварц-кальцитовыми разновидностями. С ними ассоциируют также мрамора и контактово-метасоматические кальцифиры слюдисто-форстеритовые. Второстепенные минералы – флогопит, тальк, серпентин, доломит, барит; акцессорные минералы – фторапатит, циркон, магнетит.

Оруденение представлено двумя типами: собственно медно-порфировым, приуроченным к центральной части штока к границе 2 и 3 фаз, и скарновому, в северо-западном экзоконтакте. Все минерализованные породы характеризуются наличием сульфидной минерализации, которая представлена халькопиритом, пиритом и пирротином. Халькопирит является наиболее распространенным сульфидом в изученных породах. Он может формировать зернистые агрегаты, рассеянные в общей массе породы, а также образует агрегаты с диопсидом и амфиболом, которые образовались в ходе перекристаллизации. Для таких агрегатов характерно наличие гетитовой оторочки зерен. Также халькопирит может заполнять трещины и полости в породе. Антлерит-брошантит-малахитовая зелень развита как по скарнам, так и по брекчированным граносиенитам. Рудные минералы представлены халькопиритом, пиритом, пирротином, ковеллином, халькозином, галенитом, сфалеритом, молибденитом, реальгаром; гипергенные минералы – гетит, лимонит, брошантит, малахит, антлерит, азурит.

Первый тип оруденения прослежен по элювиально-делювиальным развалам на протяжении не менее 150 м с широтным простиранием и ширине не менее 20 м. В редких глыбах в минерализованной зоне встречаются скарнированные карбонатные породы. Минерализованные граносиенит-порфиры и скарноиды интенсивно калишпатизированы, окварцованы, серицитизированы и сульфидизированы. На поверхности пород широко развиты охры окислов Fe, а также брошантитовая, малахитовая зелень и азуритовая синь. Рудная минерализация распределена неравномерно и характеризуется вкрапленным, жильно-брекчиевым и прожилково-вкрапленным проявлением. Содержания элементов в штуфных пробах составили: Cu – 1,4–3,8 %, Mo – 0,01 %, Zn – 0,02 %, Ag – 12–18 г/т, Bi – 21–436 г/т (ISP-MS), Au – 0,11–0,13 г/т (атомная адсорбция).

Таблица. Индикативные показатели цирконов (PIZs)

Индикативные показатели цирконов (PIZs)					
Ce/Nd	Eu/Eu*	(Ce/Nd)/Y	Dy/Yb	(10000xEu/Eu*)/Y	Th/U
> 1	> 0,4	> 0,01	< 0,3	> 1	0,1–1,0
Показатели цирконов из гранитоидов верхнетарейского комплекса					
21,0	0,53	0,011	0,23	3,7	0,56

Скарновый тип оруденения отмечен на протяжении 400 м вдоль контакта монцогранит-порфиров с вендскими известняками при ширине выходов элювиальных развалов от 20 до 40 м. По рудоносной зоне скарнов на протяжении 400 м в 15 штуфных пробах получены содержания элементов: Cu – 1 %, Ag – 6,82 г/т, Bi – 11,6 г/т, Mo – 0,0033 %. Содержания Mo достигают 0,0164 %, Au встречено в трех пробах с содержанием 0,043–0,069 г/т. Отмечаются повышенные содержания Pd – 0,024 г/т. По данным 2021 г., содержания элементов в трех протолочках из «медных руд» составили: Cu – 0,9–2,61 %, Mo – 0,0084–0,016 %, Zn – до 0,017 %, Ag – до 13,7 г/т, Bi – до 28,7 г/т (ICP-MS), Hg – до 0,32 г/т, Au – до 0,07 г/т (атомная адсорбция).

Индикативные геохимические параметры циркона PIZs (Porphyry Indicator Zircons), отвечающие за потенциальную рудоносность магматических пород на порфировое оруденение для верхнетарейского комплекса, указывают на принадлежность их к высокопродуктивной медно-порфировой системе [9, 10] (таблица).

Прогнозные ресурсы проявления Верхнетарейское категории P_3 (прямой расчет) при площади скарнированных пород 92 000 м^2 (по двум интрузиям), среднем содержании Cu – 1,48 %, Au – 0,5 г/т и глубине прогноза 200 м составили для Cu – 246 тыс. т, Au – 6,2 т.

Прогнозные ресурсы категории P_3 в целом для Верхнетарейского ПРУ, оконтуренного по ареалу развития интрузий с признаками оруденения медно-порфирового типа площадью 135 км^2 и объектом-аналогом – Быстринский медно-свинцово-вольфрамово-золоторудный узел, составили для Cu – 877 тыс. т, Au – 73 т (коэффициент сходства прогнозируемого и эталонного объектов – 0,5).

Верхнетарейский ПРУ с золото-медно-порфировым оруденением рекомендуется под постановку поисковых работ на медь и золото.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Таймырская. Листы: S-46-VII–VIII (р. Непонятная, S-46-IX–X (исток р. Шренк), S-46-XI–XII (р. Тихая), S-46-XIII–XIV (оз. Сожаления), S-46-XV–XVI (гр. Геологическая). Объяснительная записка / В. В. Беззубцев, И. И. Курбатов, О. А. Невьянцев. – М., 1998. – 207 с.
2. Государственная геологическая карта Российской федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Таймыро-Североземельская. Лист S-46 – Тарея. Объяснительная записка / Отв. ред. Н. Н. Нагайцева. – Спб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 490 с.
3. Нагайцева Н. Н., Проскурнин В. Ф. Интрузивные образования / Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист S – 44-46 – Усть-Тарея. Объяснительная записка. – Спб. : ВСЕГЕИ, 2000. – С. 124–164.
4. Кузьмин В. Г., Проскурнин В. Ф., Фокин В. И. Стратифицированное оруденение Северной Земли / Геология, литодинамика и россыпеобразование в прибрежных зонах Арктики. – Л. : Севморгеология, 1990. – С. 19–25.
5. Погребицкий Ю. Е. Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. – Л. : Недра, 1971. – 248 с.
6. Проскурнин В. Ф., Петров О. В., Романов А. П., Курбатов И. И., Гавриш А. В., Проскурнина М. А. Центрально-Арктический золотосодержащий медно-молибден-порфировый пояс // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 85. – С. 31–49.
7. Проскурнина М. А., Проскурнин В. Ф., Ремизов Д. Н., Ларионов А. Н. Кольцевые интрузивы Беспамятнинского ареала: проявления шошонит-латитового магматизма на Северном Таймыре // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 79. – С. 5–22.

8. Равич М. Г., Чайка Л. А. Малые интрузии хребта Быррранга (Таймырский полуостров) // Тр. НИИГА. Т. 88. – Л. : Недра, 1959. – 147 с.
9. Lu Y. J., Loucks R. R., Fiorentini M. L., McCuaig T. C., Evans N. J., Yang Z., Hou Z., Kirkland Ch. L., Parra-Avila L. A., Kobussen A. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu ± Mo ± Au Deposits // Society Econ. Geology Special Publication. – 2016. – № 19. – P. 329–347.
10. Pizarro H., Campos E., Bouzari F., Rousse S., Bissig T., Gregoire M., Riquelme R. Porphyry indicator zircons (PIZs): Application to exploration of porphyry copper deposits // Ore Geology Reviews. – 2020. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103771.

Прусакова Н. А. (prusakova@tsnigri.ru), Громцев К. В. (gromtsev@tsnigri.ru), Нумалов А. С. (numalov@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ЛОКАЛИЗАЦИЯ АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛОК НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Показаны результаты апробации разработанного ФГБУ «ЦНИГРИ» комплекса геолого-геофизических предпосылок при локализации на территории северо-востока Сибирской платформы перспективных на коренную алмазоносность площадей. В результате на данной территории с использованием комплекса глубинных геофизических предпосылок была выделена Оленекская алмазоперспективная область (площадью порядка 84 тыс. км^2), в границах которой с наибольшей вероятностью можно ожидать проявления именно промышленно алмазоносного магматизма. В пределах Оленекской алмазоперспективной области была выделена Сололийская площадь (площадью около 7 тыс. км^2), рекомендуемая для дальнейшего изучения в целях локализации здесь меньших по размерам площадей под постановку алмазопоисковых работ.

Ключевые слова: россыпи, коренные месторождения алмазов, промышленно алмазоносные поля, алмазоперспективные площади, поиски, глубинные геофизические предпосылки, северо-восток Сибирской платформы.

На протяжении нескольких десятков лет одним из приоритетных направлений исследований специалистов ЦНИГРИ (в настоящее время ФГБУ «ЦНИГРИ») является разработка методики прогнозирования площадей, перспективных на коренную алмазоносность. При этом акцент делается на выделении алмазоперспективных площадей, в пределах которых целесообразно проводить непосредственно поисковые работы, направленные на вскрытие коренных месторождений алмазов. Размеры подобных площадей, как правило, составляют от первых сотен до первых тысяч км^2. В ходе проведения этих исследований специалистами ЦНИГРИ было показано, что на первоначальном этапе работ по прогнозированию алмазоперспективных площадей целесообразно использовать комплекс геолого-геофизических предпосылок – косвенных факторов (критериев). Это позволяет (без проведения дополнительных, часто дорогостоящих, полевых работ, на базе геолого-геофизических материалов, находящихся в широком доступе) предварительно определить не только позицию, но и, что самое главное, границы прогнозируемых площадей. Окончательная же степень перспективности (заверка) выделенных таким образом алмазоперспективных площадей определяется по наличию минералогических признаков (прямых факторов) в виде россыпей алмазов, ореолов минералов-индикаторов кимберлитов, связанных с заверяемыми площадями.

Комплексы индикационных геолого-геофизических предпосылок и методика локализации с их использованием перспективных на коренную алмазоносность площадей были разработаны (с учетом разработок в этом направлении других организаций и специалистов) на основе эмпирических сопоставлений (эмпирическим путем) при изучении закономерностей размещения в системе различных физико-геологических неоднородностей литосферы и в аномальных особенностях геофизических полей разновозрастных алмазоносных (в том числе и промышленно

алмазоносных) полей кимберлитового и родственного ему магматизма, занимающих различную структурно-тектоническую позицию в различных регионах Мира. Результаты этих работ отражены в «Методических рекомендациях по поискам коренных месторождений алмазов на «закрытых» территориях», разработанных ФГБУ «ЦНИГРИ» (издание планируется в 2024 г.) и в публикациях [2]. В докладе приводятся результаты апробации разработанного комплекса геолого-геофизических предпосылок и методики локализации с их использованием перспективных на коренную алмазоносность площадей, проведенной ФГБУ «ЦНИГРИ» применительно к территории северо-востока Сибирской платформы в рамках выполнения опытно-методических работ по Госзаданию.

Северо-восток Сибирской платформы является одним из регионов РФ, где возможно открытие крупных коренных месторождений алмазов. Здесь на территории Лено-Анабарского междуречья вскрыты многочисленные проявления убогоалмазоносного и неалмазоносного кимберлитового магматизма среднепалеозойского и мезозойского возрастов (сгруппированные в 15 полей), открыто около сотни россыпей и россыпных проявлений алмазов. Запасы многих россыпей – уникальны. Согласно мнению исследователей [1], алмазы в этих россыпях представляют собой полигенную смесь, где наряду с алмазами из известных типов коренных источников (кимберлитового, связанного с невскрытыми кимберлитами среднепалеозойского возраста и импактного, связанного с Попигайской астроблемой) присутствуют алмазы из неизвестных пока типов коренных источников. Вопрос о типе и возрасте неизвестных коренных источников остается до сих пор дискуссионным и открытым. Проводимые в пределах данного региона поиски коренных месторождений алмазов не дали положительных результатов: промышленно алмазоносные объекты – коренные источники россыпей – не были найдены. В сложившейся ситуации актуальной стала задача по оценке перспектив северо-востока Сибирской платформы на выявление коренных месторождений алмазов, а в случае положительного результата и по выделению площадей, наиболее перспективных для их обнаружения.

Исследования на северо-востоке Сибирской платформы в этом направлении были начаты ФГБУ «ЦНИГРИ» в 2020–2023 гг. Для изучения была выбрана территория, включающая Оленекское поднятие и его обрамление. На первоначальном этапе исследований этой территории был выделен и задействован комплекс региональных глубинных геофизических предпосылок, таких как области (размером до сотен тыс. км^2) с повышенными мощностями литосферы (более 130–150 км) и кристаллической коры (более 38–40 км), с относительно пониженными значениями поверхностного теплового потока (менее 45 мВт/м^2), с относительно повышенными значениями поля силы тяжести (редукция Буге). Результаты изучения закономерностей локализации алмазоносных полей в различных регионах Мира [2] показали, что подобные региональные предпосылки являются «сквозными, устойчивыми», т. к. в большинстве случаев участвуют в контроле локализации региональных площадей (размером десятки–первые сотни км^2), вмещающих алмазоносные, в том числе и промышленно алмазоносные, поля независимо от их тектонической позиции и возраста проявленного алмазоносного магматизма. Исходя из этого, эти предпосылки наилучшим образом адаптированы к обстановкам северо-востока Сибирской платформы (изученности и обеспеченности территории материалами глубинных геофизических съемок, отмеченной выше неопределенности коренных источников россыпей алмазов данного региона, его структурно-тектоническим особенностям). Они позволили уже на начальном этапе исследований, проводимых на рассматриваемой территории Оленекского поднятия и его обрамления, выделить региональную (размером порядка 84 тыс. км^2) алмазоперспективную площадь, названную нами Оленекская алмазоперспективная область, где с наибольшей вероятностью можно ожидать проявления именно промышленно алмазоносного магматизма, и, следовательно, в пределах которой проводились и проводятся в настоящее время более детальные исследования (в том числе и минералогические), направленные на выделение площадей непосредственно под поиски коренных месторождений алмазов.

Оленекская алмазоперспективная область включает центральную часть одноименного сводового поднятия и приурочена к узлу пересечения Далдыно-Оленекской и Молодо-Попигайской кимберлитоконтролирующих зон. На крайнем юге алмазоперспективной области и южнее ее расположены Нижнеоленекский, Молодо и Моторчунский россыпные промышленно

алмазоносные районы. В пределах самой Оленекской алмазоперспективной области имеются многочисленные прямые признаки алмазоносности в виде ореолов минералов-индикаторов кимберлитов (МИК), россыпепроявлений алмазов. Здесь же расположены пять известных убогоалмазоносных и неалмазоносных кимберлитовых полей среднепалеозойского и мезозойского возрастов – Хорбусонское, Куойско-Молодинское (большая его часть), Толуопское, Мерчимденское и Келимярское. В контур алмазоперспективной области попадают две прогнозируемые на коренную алмазоносность площади (Кютюнгдинская полностью, Эекитская частично), выделенные ранее различными организациями, для которых проведена оценка прогнозных ресурсов алмазов категорий Р3.

При проведении в пределах Оленекской алмазоперспективной области более детальных исследований, направленных на локализацию алмазопоисковых площадей, был задействован комплекс более локальных глубинных геофизических предпосылок. В общем виде локальные предпосылки по сути являются отражением в различных геофизических материалах области преобразования мантийно-коровой толщи, обусловленной развитием здесь гетерогенной кимберлитообразующей системы. Благоприятной обстановкой для формирования такой области является тектонический узел, образованный пересечением дизъюнктивных элементов, выделяемых в составе кимберлитоконтролирующих зон или одной минерагенической зоны, с секущими зонами тектоно-магматической активизации. При выделении локальных предпосылок нами проводилось следующее: обработка и интерпретация (с использованием различных компьютерных технологий) потенциальных (гравитационного, магнитного) геофизических полей, включая геолого-геофизическое моделирование глубинного строения земной коры; анализ особенностей сейсмических разрезов вдоль фрагментов региональных сейсмических профилей ГСЗ «Горизонт» (Воркута – Тикси) и «Шпат» (р. Кеть – Тикси), пересекающих территорию Оленекского поднятия и его обрамления. В результате в разрезе земной коры изучаемой территории была выделена интегрированная транскоровая неоднородность с аномальными (по отношению к вмещающей толще) сейсмическими и петрофизическими (плотностными и магнитными) параметрами. По результатам сопоставления с глубинными особенностями земной коры площадей с промышленно алмазоносными кимберлитовыми полями других регионов, в том числе и Якутии, сделано предположение, что выделенная транскоровая неоднородность – ее проекция на дневную поверхность, может определять позицию алмазоперспективной площади, названной нами Сололийской. Данная алмазоперспективная площадь расположена в пределах одноименного поднятия. Ее размеры составляют порядка 7 тыс. км^2. Выполненный к настоящему времени анализ особенностей распределения алмазов и ореолов рассеяния МИК, известных в пределах и ближайшем окружении Сололийской площади, позволяет предполагать их снос непосредственно с этой территории. Однако для более полного обоснования перспектив на коренную алмазоносность выделенной с использованием глубинных геофизических предпосылок Сололийской площади и для выделения в ее пределах меньших по размерам площадей под постановку алмазопоисковых работ требуется проведение дополнительных исследований, в том числе с полевыми работами.

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. – 2011. – Т. 52, № 3. – С. 335–353.
2. Прусакова Н. А., Громцев К. В., Лаптев М. М. Геолого-геофизические предпосылки выделения перспективных площадей для постановки поисковых работ на коренные месторождения алмазов // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 22–45.

Пшеничкин А. Я. (paya@tpu.ru)
ФГАУО ВО НИ ТПУ, г. Томск

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПИРИТА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Изучены пириты золоторудных месторождений Алтае-Саянской складчатой области. Показано, что форма кристаллов, элементы примеси и термо-ЭДС пирита закономерно изменяются по падению и вкрест простирания рудных тел и месторождений. Предложен критерий оценки их на глубину и фланги по типоморфным свойствам пирита.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, типоморфизм пирита, кристалломорфология, элементы-примеси, термо-ЭДС.

Эффективное проведение геологоразведочных работ в настоящее время невозможно без использования минералого-геохимических методов прогнозирования, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых.

Проведенные комплексные исследования пирита золоторудных месторождений различных генетических типов показали, что минерал является одним из самых распространенных и информативных сульфидов золоторудных месторождений. Его свойства – кристалломорфология, элементы-примеси, термо-ЭДС и др. закономерно изменяются в зависимости от условий формирования месторождений. Правильно прочитанная информация, закодированная в минерале, дает возможность не только расшифровать условия кристаллизации пирита, установить его типоморфные свойства, но и расшифровать генезис месторождения в целом [1, 5].

Комплексное изучение морфологии, состава и физических свойств пирита золоторудных месторождений Алтае-Саянской складчатой области и других регионов позволило выделить три наиболее информативные типоморфные признака пирита: форму кристаллов, химический состав и термоэлектрические свойства, которые закономерно меняются в пространстве и во времени. На основе этих типоморфных признаков обосновывается минералогический критерий поисков и оценки золоторудной минерализации [2–4, 6, 8].

Форма кристаллов пирита – один из ярко выраженных типоморфных признаков различных формационных типов золоторудных месторождений, который изменяется в зависимости от условий формирования месторождения. Для каждого месторождения характерны свои индивидуальные морфологические особенности кристаллов пирита. Так, пириты месторождений золотокварцевой формации имеют преимущественно кубический габитус кристаллов. При этом в высокотемпературных минеральных ассоциациях редко встречаются кристаллы в виде простых форм – {100}, {210} и {111}, а встречаются в виде их комбинаций (месторождения Масловское, Голец Подлунный, Константиновское); в среднетемпературных золото-сульфидных ассоциациях кристаллы пирита чаще образуют гексаэдры (Балахчинское, Кузнецовское, Знаменитинское, Медвежье месторождения), а в средне- и низкотемпературных ассоциациях – в виде гексаэдров или пентагондодекаэдров (Лысогорское, Саралинское месторождения). Пириты золотоскарновых месторождений характеризуются октаэдрическим габитусом кристаллов (Калиостровское, Тарданское, Синюхинское месторождения) [3, 4]. Для пиритов золоторудных месторождений в черносланцевых толщах характерны кубический, куб-пентагондодекаэдрический и пентагондодекаэдрический габитусы кристаллов пирита (Бакырчикское, Миалинское, Боко-Васильевское месторождения) [7]. По падению и простиранию рудных тел установлено закономерное изменение морфологии пирита во всех изученных месторождениях. При этом наибольшая морфологическая изменчивость и наименьшая комбинационная устойчивость наблюдается в рудных столбах.

Химический состав – второй наиболее характерный типоморфный признак пиритов золоторудных месторождений [2]. В сравнении с пиритами других генетических типов пириты золоторудных месторождений отличаются наибольшим разбросом статистических параметров распределения (среднее, дисперсия, коэффициент вариации) элементов- примесей. Это особенно характерно для комплекса элементов, свойственных золоторудным месторождениям – Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Ni, Co, Cr и др.

Установлено зональное (чаще волнообразное) распределение элементов-примесей в пиритах с глубиной рудных тел, заключающееся в преимущественной концентрации Hg, Ag, Sb, иногда As в пиритах верхних частей рудных тел и из надрудных ореолов; пириты средних частей рудных тел резко обогащены Au, As, Cu, Pb, Zn, а пириты прикорневых частей рудных тел накапливают Ni, Co, Cr.

Термоэлектрические свойства являются третьим характерным типоморфным признаком пирита [6]. Пириты рудных тел и околорудных метасоматитов золоторудных месторождений Алтае-Саянской складчатой области характеризуются определенными параметрами термо-ЭДС, обусловленными особенностями их формирования, и имеют, в основном, смешанную, электронную или дырочную проводимость. Для большинства месторождений установлена закономерная смена типа проводимости пирита с электронной на электронно-дырочную и дырочную от ранних высокотемпературных ассоциаций к заключительным этапам формирования месторождений. Термо-ЭДМ пирита изменяется и в пространстве: по падению тел наблюдается смена дырочной проводимости на электронно-дырочную и электронную. При этом пириты продуктивных минеральных ассоциаций и наиболее обогащенных золотом участков рудных тел обладают, как правило, смешанным типом проводимости.

Закономерное изменение типоморфных свойств пирита согласуется с минералогической и геохимической зональностью рудных тел и месторождений и позволяет проводить оценку уровня их эрозионного среза, перспективности и протяженности оруденения на глубину и фланги, а также выявлять слепые рудные тела. Поэтому пирит можно использовать как минералогический критерий при поисково-оценочных работах на золото.

На основе выявленных закономерностей проявления типоморфных признаков пирита различных генетических типов месторождений золота предлагается технология поисков и локального прогноза золоторудных месторождений по типоморфным свойствам пирита, которая включает:

• на стадии геолого-съемочных работ (масштаб 1 : 50 000–1 : 200 000) по результатам шлиховой съемки дается общая характеристика морфологии кристаллов пирита района. При этом участки с повышенным содержанием пирита в шлихах и особенно присутствие в них кристаллов сложных морфологических типов можно считать (с учетом расстояния и направления сноса) перспективными на обнаружение коренных источников золота;

• на стадии поисковых работ (масштаб 1 : 25 000–1 : 10 000) необходимо проводить отбор проб с пиритом всех выявленных зон гидротермальной проработки по легким горным выработкам и керну скважин. Задачей пиритометрических исследований этого этапа является установление положительных на золото пиритометрических ореолов, выявление по ним потенциальных рудных тел и месторождений и предварительная оценка их уровня эрозионного среза и перспективности на глубину;

• на стадии геологоразведочных и эксплуатационных работ (масштаб 1 : 5 000–1 : 500) должно проводиться систематическое изучение пирита из всех выявленных рудных тел и околорудных метасоматитов вкрест простирания и по падению рудных залежей. По результатам пиритометрического опробования выявляется минералогическая, геохимическая и термоэлектрическая зональность как отдельных рудных тел, так и месторождений и рудных полей в целом, проводится оценка уровней эрозионного среза, оценивается перспективность и протяженность оруденения на глубину и фланги, выявляются перспективные на золото рудные тела.

На основе разработанной технологии по типоморфным свойствам пирита дана перспективная оценка на глубину и фланги ряда рудных полей и месторождений: Коммунаровское, Балахчинское, Саралинское, Ольховско-Чибижекское (Алтае-Саянская складчатая область), Боко-Васильевкое, Эспинское, Акжальское, Миалинское (Западная Калба), Тарданское (Тыва), Любавинское (Забайкалье), Нежданинское, Бадранское (Якутия) [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Коробейников А. Ф. Нарсеев В. А., Пшеничкин А. Я., Ревякин П. С., Арифулов Ч. Х. Пириты золоторудных месторождений (свойства, зональность, практическое применение). – М. : ЦНИГРИ, 1993. – 213 с.

2. Коробейников А. Ф. Пшеничкин А. Я. Геохимические особенности пирита золоторудных месторождений // Геохимия. – 1985. – № 1. – С. 93–104.
3. Пшеничкин А. Я. Использование кристалломорфологии пирита при минералогическом картировании золоторудных месторождений Алтае-Саянской складчатой области / Минералогическое картирование рудоносных территорий. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1985. – С. 60–71.
4. Пшеничкин А. Я. Кристалломорфология пирита и ее использование в практике пиосковоразведочных работ на золото // Геология и геофизика. – 1989. – № 11. – С. 65–75.
5. Пшеничкин А. Я., Рихванов Л. П. Морфологические и геохимические особенности пиритов магматогенно-гидротермального и метаморфогенного генезиса // Проблемы метаморфизма и рудообразования Забайкалья. – Новосибирск : Наука, 1985. – С. 124–129.
6. Пшеничкин А. Я. Термоэлектрические свойства пиритов некоторых золоторудных месторождений различных типов // Известия Томского политехнического института. – 1977. – Т. 247. – С. 74–78.
7. Пшеничкин А. Я., Ананьев Ю. С. Типоморфные особенности и поисковое значение пиритов и арсенопиритов золоторудных месторождений черносланцевых толщ / Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых. – Томск : Изд-во ТПУ, 2005. – С. 129–136.
8. Пшеничкин А. Я., Ананьев Ю. С. Критерии прогноза и оценки перспектив золоторудных месторождений на основе типоморфных свойств пирита / Актуальные проблемы геологии, геофизики и металлогении : Мат. научно-технич. конф., посвящ. 80-летию создания института геологии и геофизики и 105-летию со дня рожд. акад. Х. М. Абдуллаева. – Ташкент : ГП «ИМР», 2017. – № 3. – С. 270–273.

Раков Л. Т. [1] (rakolt@mail.ru), Прокофьев В. Ю. [1] (vpr2004@rambler.ru),
Киселева Г. Д. [1] (kis60@rambler.ru), Зорина Л. Д. [2] (irazor@rambler.ru)
[1] ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва,
[2] ФГБУН ИГХ СО РАН, г. Иркутск

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ И ПОИСКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИМЕСИ АЛЮМИНИЯ В КВАРЦЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрено использование закономерностей распределения примеси Al в кварце при решении генетических и поисковых задач. Показано, что информативными являются содержание, форма нахождения и характер взаимосвязи Al с другими примесями в кварце. Приведены примеры применения разработанных методик для выяснения условий формирования месторождений золота и прогнозно-оценочной разбраковки рудных тел.

Ключевые слова: кварц, примесь Al, генетический критерий, месторождения золота.

Алюминий является наиболее распространенной примесью в кварце. Его содержание в ряде случаев превышает суммарную концентрацию всех остальных примесей в минерале. Результаты изучения кварца показывают, что примесь Al может занимать в кристаллической структуре несколько положений [7]. Каждая из них отражает специфику внедрения примеси Al в минерал, обусловленную условиями минералообразования. Изучение закономерностей распределения примеси по структурным позициям дает возможность получать важную генетическую информацию.

Примером практического использования в геологических исследованиях может служить изоморфная форма примеси алюминия в кварце. Ее возникновение обусловлено вхождением ионов Al^{3+} в кристаллическую структуру минерала вместо ионов Si^{4+}. При этом электрическая нейтральность образованных дефектов обеспечивается ионами-компенсаторами H^+, Li^+ или Na^+. Радиационное облучение кварца переводит такие дефекты в парамагнитное состояние и создает условия для регистрации их методом ЭПР. Это позволяет проводить количественные измерения содержаний изоморфной примеси в кварце и использовать их в качестве генетического или поискового критерия. Подобные рекомендации приводятся в ряде публикаций.

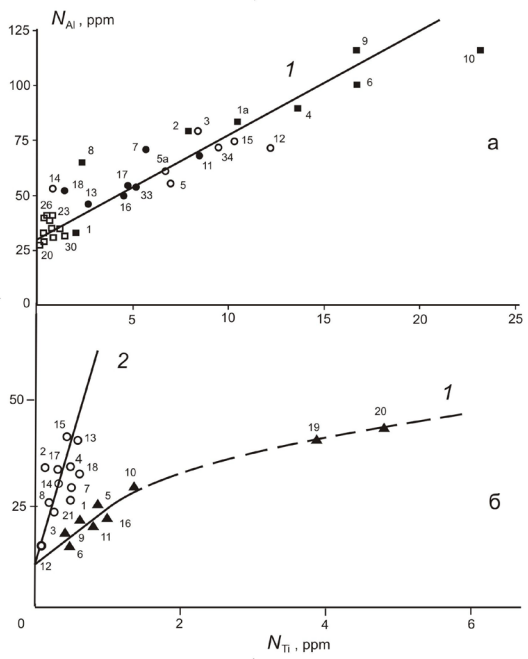


Рис. 1. Графики зависимостей N_{Al} (N_{Ti}) для месторождений золота Бугдаинское (а) и Дарасун (б). Различные маркеры на фрагменте (а) отвечают разным стадиям рудообразования

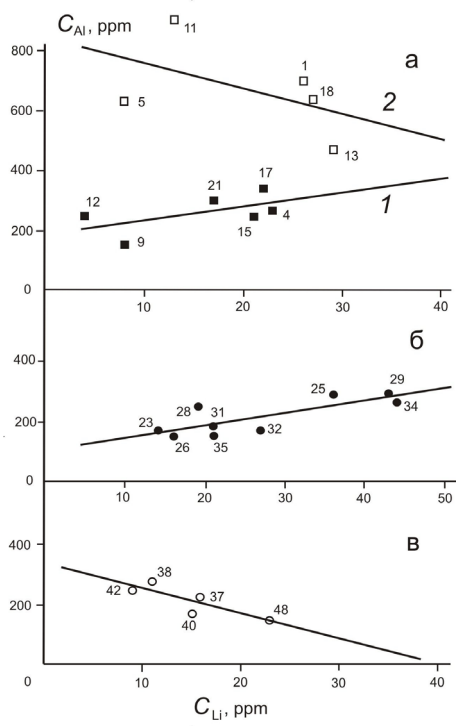


Рис. 2. Графики зависимостей C_{Al} (C_{Li}) для месторождений золота Дарасун (а), Теремкинское (б) и рудной зоны № 3 месторождения Талатуй (в)

В работе [5] они обосновываются результатами изучения кварца проявления золота Синильга (Приполярный Урал). Авторами было показано, что для золоторудных кварцевых жил характерны более высокие концентрации изоморфного Al, чем для незолоторудных. Аналогичная картина наблюдалась для кварца месторождения золота Мурунтау, что было заложено в основу методики проведения прогнозно-оценочной разбраковки рудных тел [1].

Нами разработан новый подход к использованию концентрации изоморфной примеси алюминия (N_{Al}) в кварце в качестве генетического критерия. Он предполагает применение значения N_{Al} в комплексе с содержаниями изоморфных примесей титана (N_{Ti}) и германия (N_{Ge}) в кварце. Было обнаружено, что при формировании минерала между этими концентрациями устанавливается взаимосвязь, вид которой позволяет судить об этапах и стадиях рудообразования, температуре кристаллизации кварца, процессах его переотложения и других особенностях минералообразования [4]. В частности, количество линий на графиках зависимости $N_{Al}(N_{Ti})$ указывает на число этапов рудообразования [2]. Рис. 1 демонстрирует применение этой закономерности для определения количества этапов рудообразования на месторождениях золота Бугдаинское и Дарасун (Восточное Забайкалье). Видно, что формирование первого месторождения проходило в один этап, а второго – в два этапа. Дополнительный анализ графика зависимости $N_{Ge}(N_{Ti})$ дал возможность изучить стадийность рудообразования на месторождении Бугдаинское.

Последние исследования показали, что в кварце рудных месторождений примесь Al может присутствовать в виде сложных алюминиевых комплексов [3]. Каждый из них состоит из трех ионов Al^{3+} и одного иона-компенсатора H^+ или Li^+. Сложные алюминиевые комплексы возникают в кварце при кристаллизации, а при рекристаллизации могут распадаться. Оценить исходную концентрацию этих комплексов в образцах кварца можно по значениям содержаний алюминия (C_{Al}) и лития (C_{Li}), измеряемых методом LA-ICP-MS. Для этого анализируют график зависимости C_{Al} (C_{Li}) и по длине отрезка, отсекаемого графиком на оси ординат, оценивают искомую величину $(C_{Al})^0$. Ее повышенные значения отвечают кристаллизации кварца из рудообразующих растворов с высокой концентрацией ионов металлов.

Графики C_{Al} (C_{Li}) имеют вид прямых линий с положительными или отрицательными углами наклона (рис. 2). Иногда они состоят из комбинации таких линий. Для золоторудных месторождений Дарасун, Теремкинское и Талатуй установлена связь между их масштабом и зна-

чениями $(C_{Al})^0$ в кварце. Для крупного месторождения Дарасун, запасы которого в настоящее время составляют 100 т, значение $(C_{Al})^0$ может превышать 800 ppm. Среднее по запасам месторождение Талатуй (около 30 т) характеризуется величиной $(C_{Al})^0$, близкой к 350 ppm. Наконец, для кварца мелкого месторождения золота Теремкинское (10 т) значение $(C_{Al})^0 \approx 100$ ppm.

Ранее отмечалось, что месторождения Дарасун, Талатуй и Теремкинское представляют собой единую рудообразующую систему [6]. Возможно, что разная металлоносность рудообразующих растворов контролирует масштаб месторождений золота дарасунского типа.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дерский Л. ЭПР-характеристики кварца золоторудного месторождения Мурунтау (Узбекистан) // Минералогический сборник. – 2015. – Т. 65, № 2. – С. 93–98.
2. Раков Л. Т., Киселева Г. Д., Коваленкер В. А. Генетический анализ кварца золотоносного W-Mo-порфирового месторождения Бугдаинское (Восточное Забайкалье, Россия) на основе изучения методом ЭПР // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 2. – С. 63–75.
3. Раков Л. Т., Прокофьев В. Ю., Минервина Е. А., Зорина Л. Д. Формы нахождения, взаимосвязь и генетическое значение примесей Al и Li в кварце месторождений золота Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье, Россия) // Литосфера. – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 209–224.
4. Раков Л. Т., Шурига Т. Н. Структурно-динамическое состояние как генетический критерий кварца // Геохимия. – 2009. – № 10. – С. 1086–1102.
5. Сокерина Н. В., Котова Е. Н., Шанина С. Н., Голубев Е. А. Особенности формирования золоторудных и незолоторудных кварцевых жил проявления Синильга, Приполярный Урал // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ центра УрО РАН. – 2008. – № 3. – С. 7–10.
6. Prokofiev V. Yu., Bortnikov N. S., Kovalenker V. A., Zorina L. D., Baksheev I. A., Grichuk D. V., Krasnov A. N., Selector S. L. Vertical mineralogical-geochemical zoning of Mesozoic Transbaikalia fluid-magmatic gold systems // Large igneos Provinces of Asia. Mantle Plumes and Metallogeny. Abstracts of the international symposium. – Novosibirsk, 2009. – С. 251–254.
7. Weil J.A. A review of electron spin spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz // Physics and Chemistry of Minerals. – 1984. – V. 10, № 4. – P. 149–165.

Русак А. А.[1] (aleks7975@yandex.ru), Щекина Т. И.[2] (t-shchekina@mail.ru)
[1] ГЕОХИ РАН, г. Москва,
[2] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ КРИОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ГРАНИТОВ УЛУГ-ТАНЗЕКСКОГО, ЗАШИХИНСКОГО И КАТУГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СРАВНЕНИИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ ПО ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ

Проведено сравнительное изучение химического состава пород и минералов редкометальных криолитсодержащих гранитов Восточной Сибири − Улуг-Танзекского, Зашихинского и Катугинского месторождений – с полученными в эксперименте составами алюмосиликатных расплавов. По диаграмме TAS точки составов гранитов Улуг-Танзекского месторождения попадают в область щелочных и умеренно-щелочных гранитов, Зашихинского месторождения − щелочных и умеренно-щелочных лейкогранитов, Катугинского месторождения − щелочных лейкогранитов. Граниты богаты фтором и литием. Месторождения концентрируют большинство несовместимых элементов (REE, Zr, Hf, Ta, Th, U, Y). Показано, что составы редкометалльных криолитсодержащих гранитов сопоставимы с составами стекол, полученных при экспериментах в гранитной системе с фтором и литием в диапазоне температур 500−800 °C и давлении 1 кбар. Подобно природным гранитам в системе кристаллизуется криолит как из алюмосиликатного, так и из сосуществующего с ним алюмофторидного солевого расплавов.

Ключевые слова: редкометалльные месторождения, криолит, рудные минералы, фтор, редкоземельные элементы, криолитсодержащие граниты, солевой расплав.

В настоящее время остается актуальным вопрос о рудопроявлениях криолита. Криолит первоначально использовался для получения каустическо соды, затем в качестве руды для получения алюминия. Криолит используют как электролит для получения алюминия по методу электролиза Геру и Холла, применяют как флюс при сварке алюминия, а также при производстве стекла и эмалей в керамической промышленности, иногда, как катализатор. В настоящее время чаще применяют не природный криолит, а синтетический. Первые находки криолита были сделаны на месторождении Ивигтут (Гренландия). Всего известно около 20 рудопроявлений криолита. Наиболее известными месторождениями в России являются Улуг-Танзекское, Катугинское и Зашихинское. Нами были изучены представительные образцы криолитсодержащих гранитов этих месторождений. Образцы были отобраны из коллекции Т. Н. Шуриги и В. В. Архангельской музея ВИМС и изучались на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-IT500 (Jeol, Япония) с энерго-дисперсионным спектрометром Oxford X-MaxN (Oxford Instrument Ltd., Великобритания) при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе 0,7 нА в МГУ им. М.В. Ломоносова.

На диаграмме TAS точки составов криолитсодержащих редкометалльных гранитов Улуг-Танзекского месторождения попадают в область щелочных и умеренно-щелочных гранитов, точки составов гранитов Зашихинского месторождения попадают в область щелочных и умеренно-щелочных лейкогранитов, а точки составов гранитов Катугинского месторождения – в область щелочных лейкогранитов. Для исследуемых гранитов отмечается уменьшение содержания суммы $Na_2O + K_2O$ с увеличением содержания SiO_2. Граниты имеют низкие содержания магния и кальция, но высокую железистость. Для редкометалльных криолитсодержащих гранитов характерны высокие концентрации фтора и лития. Это подтверждается наличием фторсодержащих минеральных фаз: криолита, пирохлора, литиевой слюды (полилитионита и циннвальдита), гагаринита и др. Для криолитсодержащих гранитов характерно широкое разнообразие рудных минералов, которые концентрируют несовместимые элементы, такие как тантал, ниобий, цирконий, гафний, торий, уран, редкоземельные элементы. Но они бедны скандием, европием, барием, стронцием. Все это позволяет их отнести к гранитам А-типа по классификации гранитоидов.

Были проведены эксперименты на установке «газовая бомба» в ИЭМ РАН в модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H при температуре 500–800 °С и 1 кбар с содержанием воды от 2 до 50 мас. %, моделирующие составы и условия образования редкометалльных гранитов. Показано, что при 800 °С и 1 кбар в системе сосуществуют два несмешивающихся расплава: алюмосиликатный и солевой щелочно-алюмофторидный, а также водный флюид при концентрации воды в системе более 10 мас. %. При понижении температуры до 700 °С из солевого расплава начинает кристаллизоваться криолит и образуются закалочные фториды редкоземельных элементов и лития. При 600 °С из остаточного солевого расплава кристаллизуется как NaK-криолит, так и KNa-криолит, а из алюмосиликатного расплава кристаллизуются кварц и полилитионит, а также ортоклаз при подходе к равновесию «снизу». При 500 °С наблюдаются такие же парагенезисы, что и при 600 °С, но обнаружена кристаллизация криолита в кварце, что говорит о магматической природе криолита. Кристаллизация криолита происходит как в солевом, так и в алюмосиликатном расплаве. В солевых глобулях наблюдается остаточный расплав, насыщенный редкоземельными элементами и литием.

Результаты, полученные в эксперименте, сопоставимы с парагенезисами природных образцов криолитсодержащих гранитов, что подтверждает магматическую природу криолита. Он кристаллизуется из расплава в примерном диапазоне температур 500–700 °С при 1 кбар, соответствующем условиям для земной коры на глубине примерно 3 км. При гидротермально-метасоматических преобразованиях гранитов возможно образование криолита при более низких температурах и давлениях.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ГЕОХИ РАН.

Саблуков С. М. (sablukoff@rambler.ru), Саблукова Л. И.
ООО ИНПК «РУСГЕО», г. Москва

НЕКОТОРЫЕ «ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ» МАГМАТИЗМА ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО КИМБЕРЛИТОВОГО РАЙОНА (XXI ВЕК, ПЕРВАЯ ЧЕТВЕРТЬ)

В 1980–1990 годы было установлено, что разнообразные по составу проявления позднедевонского магматизма Зимнебережного района образуют закономерную систему, в которую входят две полные серии кимберлитовых пород (глиноземистая и железо-титанистая) и базальты. Открытые в XXI веке новые магматические тела добавили важные «штрихи» к уже известным особенностям геологического строения и вещественного состава магматических объектов.

Ключевые слова: кимберлиты, пикриты, лампрофиры венда, система магматизма, Зимний Берег.

Первая кимберлитовая трубка в Зимнебережном районе (трубка Поморская) была открыта в 1980 г., и уже в 1987–1990 гг. было установлено, что разнообразные по составу проявления позднедевонского [2] магматизма района образуют четкую, закономерную систему, в которую входят две серии кимберлитовых пород (глиноземистая и железо-титанистая) и базальты [3]. Внутри каждой из двух серий (Al-серии и Fe-Ti-серии) кимберлитовые породы образуют закономерные дифференцированные ряды по уменьшению степени ультраосновности от кимберлитов до мелилититов и пикритов (что для кимберлитов Южной Африки отметил еще А. Л. Дю Тойт, 1954). Использование закономерностей этой системы раннегерцинского магматизма Зимнего Берега позволяет не только корректно проводить оперативную диагностику и оценку потенциальной алмазоносности выявленных пород, но и прогнозировать существование еще не открытых типов кимберлитовых пород. Так, если ряд выявленных кимберлитовых пород Al-серии Зимнего Берега изначально был законченным, «полным» (от беспироксеновых оливиновых мелилититов Ижмы до алмазоносных кимберлитов Золотицы), то ряд кимберлитовых пород Fe-Ti-серии был «неполным», в нем отсутствовали породы самой ультраосновной его части – алмазоносные кимберлиты. Это позволило нам рекомендовать к поискам, прежде всего, именно этот тип пород – кимберлиты Fe-Ti-серии (с пикроильменитом, как в Якутии), с туффизитами в жерле и с мощной кратерной частью). Именно такой трубкой, завершающей и ряд пород Fe-Ti-серии, и общую систему раннегерцинского магматизма Зимнего Берега, стала трубка им. В. Гриба [1]. И именно открытием этой трубки закончился так называемый «трубкопад», когда открывались по несколько трубок разного состава в год (за 16 лет было открыто около 60 магматических объектов), причем строение этих трубок было стандартным, близким к классическому. Открытые после этого (уже в XXI веке) магматические тела лишь добавляли некоторые «штрихи» к уже известным особенностям строения и вещественного состава магматических объектов – но очень яркие и важные «штрихи». Перечисление некоторых из этих необычных, дополнительных особенностей см. ниже.

1. В 2006 г. открытием трубки Рождественская в систему кимберлитового магматизма Зимнего Берега был добавлен новый, крайний тип кимберлитовых пород Fe-Ti-серии с наименьшей степенью ультраосновности – нефелиновые пикриты (рис. 1, А) с широким развитием нефелина в основной массе автолитов (в отсутствие мелилита), необычно высоким содержанием натрия (Na_2O до 2,03 %) и резким преобладанием натрия над калием.

2. В многоуровневых комплексах силлов кимберлитов установлены запесоченные породы типа туфопесчаников и глинистых песчаников с крупными зернами пикроильменита (см. рис. 1, Б): сильно газонасыщенные расплавы не смогли прорваться на поверхность и образовать трубку взрыва. Поэтому сформировали межпластовые тела (силлы) пород петрографически близких к ксенотуфобрекчиям трубок (Ан-748, Ан-687, Ан-734 и др.).

3. В жерловой фации трубки Ан-746б обнаружена новая для района текстурная разновидность кимберлитовых пород Fe-Ti-серии – порфировые кимберлиты с элементами шаровой текстуры (см. рис. 1, В).

4. В южной части района обнаружены трубки Летняя и Озерная, идентичные трубке Ижма, при этом в трубке Озерная присутствует отдельная полноценная фаза внедрения витро-ли-

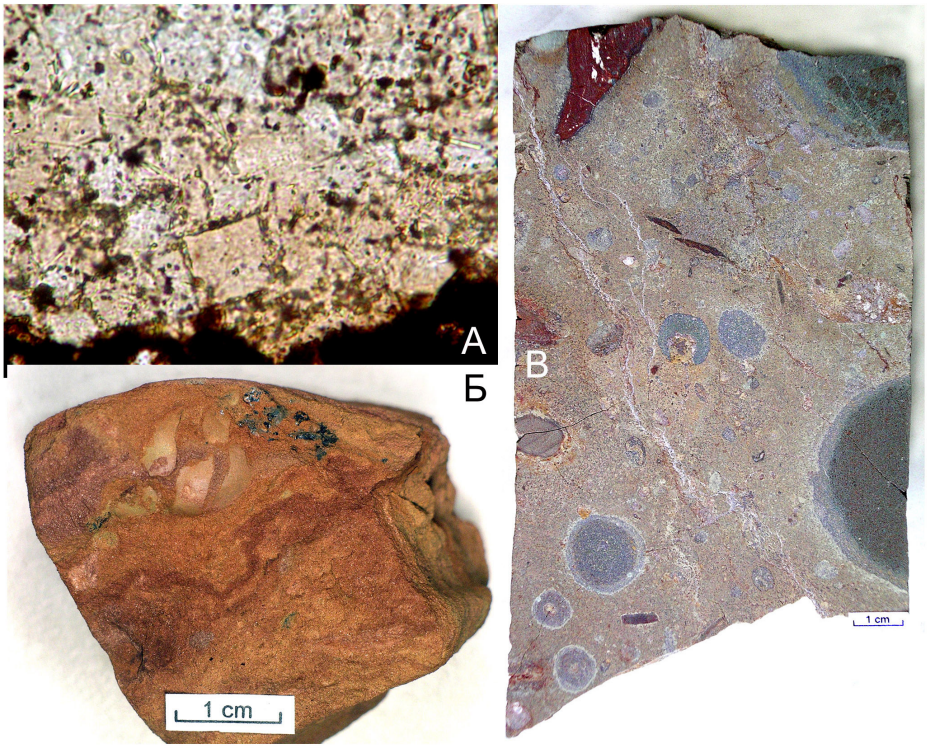


Рис. 1. Некоторые необычные особенности строения кимберлитовых пород Зимнего Берега:
А – трубка Рождественская, Б – силл Ан-748н, В – трубка Ан-746б; пояснения в тексте

токластических туффизитов беспироксеновых оливиновых мелилититов, ранее встреченная в трубке Ижма лишь в виде небольшого блока. Здесь же проявляется четкая корреляция между тектонической позицией расположения трубок и особенностями вещественного состава трубок: между сближенными в пространстве, но резко различающимися по составу трубками Весенняя и Апрельская проходит тектоническая граница между Архангельским выступом (с трубками Весенняя, Летняя, Ижма, Озерная) и Керецким грабеном (с трубками Апрельская и Чидвинская).

5. В трубке ЦНИГРИ-Архангельская (Ан-К3а или Ан-697б) отмечается широкое распространение мантийных ксенолитов катаклазированных гранатовых перидотитов, что крайне необычно для кимберлитов Зимнебережного района.

6. Рядом с трубкой Юрасская обнаружен силл Ан-ТА34, образованный слюдистыми мелкопорфировыми кимпикритами Fe-Ti-серии, характерной особенностью которых является широкое развитие бесцветного бариевого флогопита (переходной разности между флогопитом и киноситалитом) с содержанием BaO до 9,91 %.

7. Выявлено сложное и необычное строение новых трубок Fe-Ti-серии, отличающихся по строению от «классических» трубок района 1980-х годов (трубки Пачугского куста Ан-751а и Ан-751д с широким развитием агломератовых брекчий и «плавающих рифов» пород ордовика (рис. 2), а также трубка Ан-746б).

8. На некоторых кимберлитовых трубках (им. В. Гриба, Ан-746б, Северная и др.) и силлах (Ан-751, 748, 734), а также трубках базальтов отмечаются зрелые коры выветривания, вплоть до развития зоны конечного окисления и конечного гидролиза, что напрямую влияет на особенности набора, содержания и морфологии минералов-спутников алмаза в промежуточных коллекторах.

9. Открытие нового для Зимнего Берега (2001 г.) и Онежского полуострова (2009 г.) типа магматизма – субаэральных и субаквальных покровов лав и туфов известково-щелочных лампрофиров (типа минетт) поздневендского возраста (570 млн лет по циркону) – выявило более разнообразный и сложный характер магматизма Зимнебережного района и подтвердило существование северо-восточной рифтогенной вендской «Архангельской зоны», выделенной В. П. Грибом.

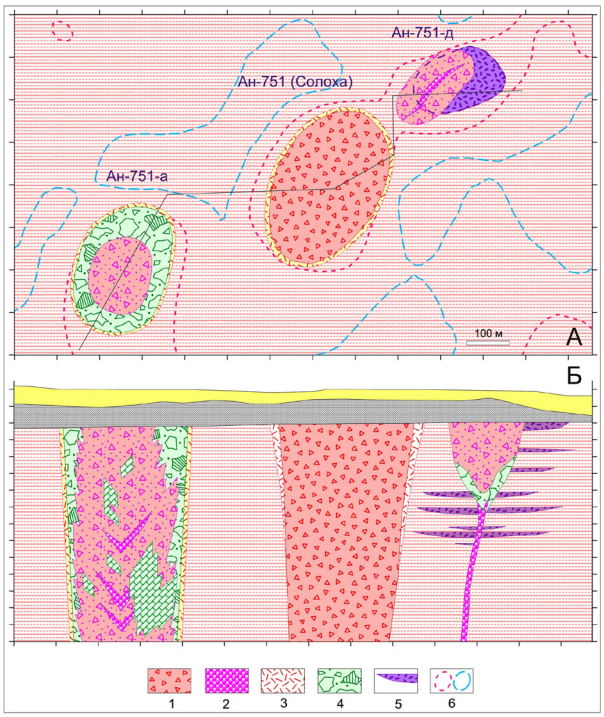


Рис. 2. Необычное строение новых трубок Пачугского куста (Ан-751а, Ан-751д) наряду с «классической» трубкой Ан-751 (Солоха). Схематические план (А) и разрез (Б):
1–4 – породы кимберлитовых трубок: 1 – ксенотуфопесчаники, 2 – ксенотуфы, 3 – приконтактовые брекчии вмещающих пород венда, 4 – агломератовые гетерогенные брекчии и «плавающие рифы» пород ордовика; 5 – силлы кимберлитов, 6 – контуры положительных и отрицательных магнитных аномалий

Несмотря на открытие в XXI веке магматических объектов в основном с необычными особенностями геологического строения и состава пород, вряд ли можно безоговорочно утверждать, что все «классические» трубки в Зимнебережном кимберлитовом районе уже открыты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Веричев Е. М., Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Журавлев Д. З. Новый тип алмазоносных кимберлитов Зимнего Берега (Архангельская алмазоносная провинция) // Докл. РАН. – 1999. – Т. 368, № 2. – С. 226–229.
2. Саблуков С. М. О возрасте трубок взрыва ультраосновных пород // Труды ЦНИГРИ. – 1987. – Вып. 218. – С. 24–27.
3. Саблуков С. М. О петрохимических сериях кимберлитовых пород // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 313, № 4. – С. 935–939.

Савельев Д. А. (danila_savelyev@inbox.ru), Айтпаева Д. Б. (diana.abuzyarova.01@mail.ru)
НИТУ «МИСиС», г. Москва

ИМПЛИЦИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ БЛОКОВ: ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ

В горной индустрии вопрос оптимизации производственных процессов, эффективного управления ресурсами и прогнозирования результатов добычи играет ключевую роль. Одним из инновационных подходов, обладающих большим потенциалом в горнодобывающей отрасли, является имплицитное моделирование эксплуатационных блоков. Рассмотрены возможности и перспективы применения имплицитного моделирования и его влияние на краткосрочное планирование.

Ключевые слова: имплицитное моделирование, краткосрочное планирование, эксплуатационные блоки, горное дело, планирование горных работ, добыча полезных ископаемых.

Имплицитное моделирование в контексте горного дела представляет собой методологию, позволяющую строить сложные математические модели, учитывающие множество взаимосвязей и нелинейных зависимостей между параметрами эксплуатационных блоков без явных предположений о структуре данных заранее. Этот подход обладает способностью учитывать различные геологические и горно-технические факторы, что делает его привлекательным для оптимизации процессов добычи полезных ископаемых [1].

Потенциал применения имплицитного моделирования для построения эксплуатационных блоков при краткосрочном планировании можно выразить следующими пунктами:

1. Прогнозирование среднесуточной добычи: условное (имплицитное) моделирование позволяет учитывать геологические характеристики и технологические параметры эксплуатационных блоков, что помогает оптимизировать стратегии добычи и планировать работы по максимизации добычи полезных ископаемых с заданным параметром содержания для обеспечения обогатительных фабрик рудой требуемого качества.

2. Оптимизация распределения ресурсов: оперативное создание моделей позволяет эффективно распределять ресурсы и технику, учитывая геологическую структуру месторождений и технологические особенности добычи, что в свою очередь приводит к снижению операционных затрат и повышению производительности предприятия [2].

3. Управление рисками: моделирование различных сценариев добычных процессов позволяет выявлять потенциальные риски и оперативно принимать меры по их предотвращению.

4. Обеспечение устойчивого развития: применение высоко детализированных моделей помогает учитывать экологические аспекты добычи, осуществлять мониторинг воздействия на окружающую среду и принимать меры по их минимизации.

Если рассматривать перспективы разбираемого процесса, то можно отметить, что с текущим темпом развития вычислительных технологий, внедрением методов искусственного интеллекта и глубокого машинного обучения, условное моделирование в горном деле будет иметь все большее значение. Дальнейшее совершенствование методов анализа данных, повышение точности прогнозов и создание инновационных подходов к управлению ресурсами позволит оптимизировать добычу полезных ископаемых и сделать горную промышленность более устойчивой и безопасной.

В целом имплицитное моделирование эксплуатационных блоков при краткосрочном планировании горных работ представляет собой перспективный инструмент для оптимизации добычи ресурсов, управления рисками, обеспечения безопасности работ и соблюдения экологических стандартов. Развитие данного подхода будет способствовать повышению эффективности и прибыльности горнодобывающих предприятий и улучшению управления горными ресурсами с учетом современных требований к устойчивому развитию промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мальцев Е. Н. Современные подходы к созданию геологических моделей для успешного прохождения государственной экспертизы утверждения запасов [Электронный ресурс] // Деловой журнал недропользователя «Глобус». URL: https://www.vnedra.ru/tehnologii/informacionnye-tekhnologii/sovremennye-podhody-k-sozdaniyu-geologicheskih-modelej-dlya-uspeshnogo-prohozhdeniya-gosudarstvennoj-ekspertizy-utverzhdeniya-zapasov-13693/ (дата обращения: 20.02.2024).
2. Festivalnauki.ru [Электронный ресурс]. URL: https://festivalnauki.ru/program/archive/osnovnye-podkhody-k-sozdaniyu-geologicheskikh-modeley-s-pomoshchyu-tekhnologiya-implitsitnogo-modeli-230918161231/ (дата обращения: 20.02.2024).

Сачарысов А. С. [1] (SacharysovAS@alrosa.ru), Тихонова А. В. [1] (TikhonovaAV@alrosa.ru), Федоров Д. Н. [1] (FedorovDN@alrosa.ru), Гончаров Е. М. [1] (GoncharovEM@alrosa.ru), Адаров Т. Д.[2] (atdsakha@rambler.ru)

[1] АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный,

[2] РНГ, г. Мирный

3D-ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ

Специалистами ВГРЭ разработана оптимальная методика проведения 3D-электротомографии, которая может быть применена при поисках рудных тел. Предлагаемая методика применима при детализационных работах и разбраковке аномалий перспективных на обнаружение кимберлитовых трубок, выделенных площадными геофизическими методами (электропрофилирование, наземная магниторазведка, комплексная аэрогеофизическая съемка, аэромагниторазведка).

Ключевые слова: 3D-электротомография, электротомография, кимберлитовые трубки, алмазы, геофизические методы, электроразведка, ZondRes3D, Скала64К15Е, моделирование, дипольная установка, трехэлектродная установка, методы на постоянном токе.

В 2023 г. Вилюйская геологоразведочная экспедиция провела электроразведочные работы методом 3D-электротомографии на известных кимберлитовых телах с целью определения возможностей метода при картировании кимберлитовых тел. Перед началом работ проведено моделирование в программе Zondres3D. По результатам моделирования в открытом поле трубки выделяются уверенно. Пространственное положение и размеры трубок восстанавливаются с достаточно хорошей точностью. Опытно-методические исследования проводились с помощью многоканальной аппаратуры «Скала64К15Е» с двумя коммутаторами (СКАЛА64К15+), что позволило одновременно проводить исследования 192 электродами. Для оптимизации проведения полевых работ была спроектирована схема измерений из 3 параллельных профилей по 64 электрода. Впервые в России проведена высокоплотная 3D-электротомография на кимберлитовых телах. По результатам проведенных исследований кимберлитовые трубки уверенно выделяются по данным 3D-электротомографии.

Главная задача метода при картировании кимберлитовых тел – определение форм и размеров, разбраковка аномалий. Полевые работы проведены на Далдынском кимберлитовом поле, расположенном в северо-восточной части одноименного Далдыно-Алакитского алмазоносного района в 25 км от Алакит-Мархинского поля, и включает около 60 трубочных тел (рис. 1).

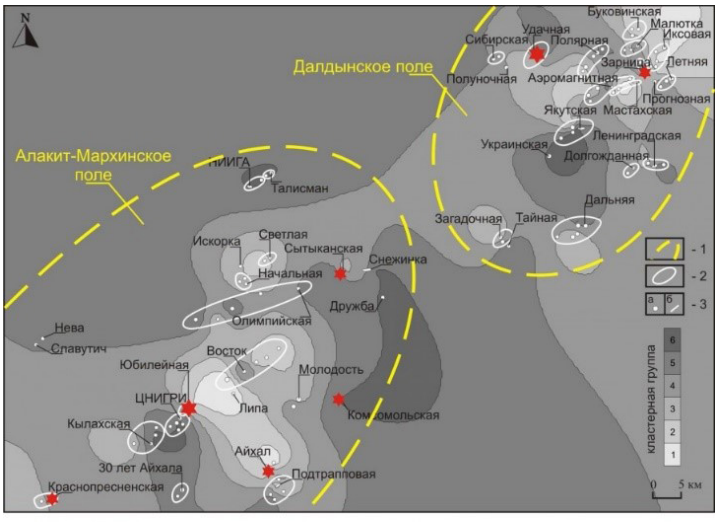


Схема распределения кластерных групп Далдыно-Алакитского района
(приведены названия наиболее крупных трубок в кусте и одиночных тел).

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1 - кимберлитовые поля; 2 - кусты кимберлитовых тел; 3 - кимберлитовые тела: а - трубки, б - дайки

- месторождения алмазов

- месторождения алмазов с балансовыми запасами на 01.01.2014 г более 100 млн. карат

Рис. 1. Схема размещения кимберлитовых тел в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе [3]

Объектами исследования являются 2 кимберлитовые трубки Далдынского кимберлитового поля: трубка Чебурашка 15 × 15 м и трубка Саратовская 50 × 100 м. Кимберлитовые тела выходят на дневную поверхность. Вмещающими породами на уровне современного эрозионного среза являются отложения моркокинской, онхойюряхской и олдондинской свит (сложены известняками, доломитами и их глинистыми, алевритистыми и песчанистыми разностями, мергелями и аргиллитами). Взаимоотношение кимберлитовых тел с вмещающими породами – секущее. Обычно в приконтактовых зонах кимберлитовых пород отмечается увеличение содержания обломков вмещающих пород. Залегание вмещающих карбонатных пород в зоне экзоконтакта близкое к горизонтальному. Непосредственно у контактов с кимберлитами отмечаются задиры пластов с углами падения 5–40°. Нередко вдоль контактов вокруг трубок во вмещающих породах развиты зоны интенсивной трещиноватости и дробления с образованием приконтактовых карбонатных брекчий. Мощность зон дробления колеблется в пределах 0,2–5 м. Зачастую отмечаются зеркала скольжения. Приконтактовые изменения вмещающих пород выражаются в их незначительной закалке, серпентинизации, кальцитизации и ожелезнении. Конфигурация кимберлитовых тел в вертикальном разрезе также довольно разнообразна и нередко характеризуется большой изменчивостью углов падения контактов с вмещающими породами, при этом пологое и наклонное падение подводящих каналов отмечается как в верхних частях, так и на глубине.

Перед началом работ проведено моделирование в программе Zondres3D. Модель измерения со 192 электродами: электроды расположены по профильно, на каждом профиле по 64 электрода, расстояние между электродами 10 м, между профилями 100 м. Кимберлитовые трубки преимущественно близвертикальные тела в форме трубки или столбообразные тела, вытянутые вдоль рудоконтролирующего разлома. В качестве моделей были выбраны трубочные тела размерами 20 × 20 м и вытянутое трубочное тело с размерами 60 × 100 м. Параметры геологической среды: сопротивление вмещающих карбонатных отложений 1500 Ом·м, кимберлитов – 200 Ом·м.

Опытно-методические исследования проводились с помощью многоканальной аппаратуры «Скала64К15Е» с двумя коммутаторами (СКАЛА64К15+), что позволило одновременно проводить исследования 192 электродами. Для оптимизации проведения полевых работ была спроектирована схема измерений из 3 параллельных профилей по 64 электрода (рис. 2). Расстояние между электродами составляло 10 м. В зависимости от размеров тел расстояние между профилями составляло 50 или 100 м. В программном комплексе Ertlab были созданы наиболее оптимальные протоколы измерения, включающие дипольную и трехэлектродную прямую и обратную установки. Максимальный геометрический коэффициент составил 15 000. Комбинирование трехэлектродной и дипольной установок повышает итоговую разрешающую способность и качество воспроизведения исходной модели относительно результатов индивидуальных инверсий [1]. Симметричная установка не была включена в протокол измерения из-за увеличения на порядок длительности измерения.

Единичное измерение включало электроды, которые расположены как вдоль одного профиля, так и на разных профилях (рис. 3), что позволило провести полноценную 3D-электротомографию [2, 4]. Всего протокол измерения включал 13 699 измерений, и с измерением параметра вызванной поляризации продолжительность съемки составила около 2,5 часов. В отличие от расположения электродов «змейкой», аппаратура СКАЛА64К15Е позволяет расположить электроды по вышеуказанной схеме, которая обладает существенным преимуществом перед расположением электродов по традиционной схеме. Полученный протокол измерения позволил проводить измерения по регулярной сети.

На трубке Чебурашка 3D-электротомография выполнена по четырем профилям длиной 630 м, расстояние между профилями 50 м (рис. 4). Всего выполнено два планшета: первый планшет – 1, 2 и 3 профили, второй планшет – 2, 3 и 4 профили. На срезах УЭС выделяется локальная относительно низкоомная аномалия (400–1000 Ом·м) при сопротивлении вмещающих пород до 17 000 Ом·м. Размеры ее составляют 30 × 30 метров. На плане сопротивлений на глубине 20 метров контур аномалии совпадает с контуром кимберлитового тела Чебурашка, выделенного предшествующими работами, и отмечается в центральной части профиля № 9. С глуби-

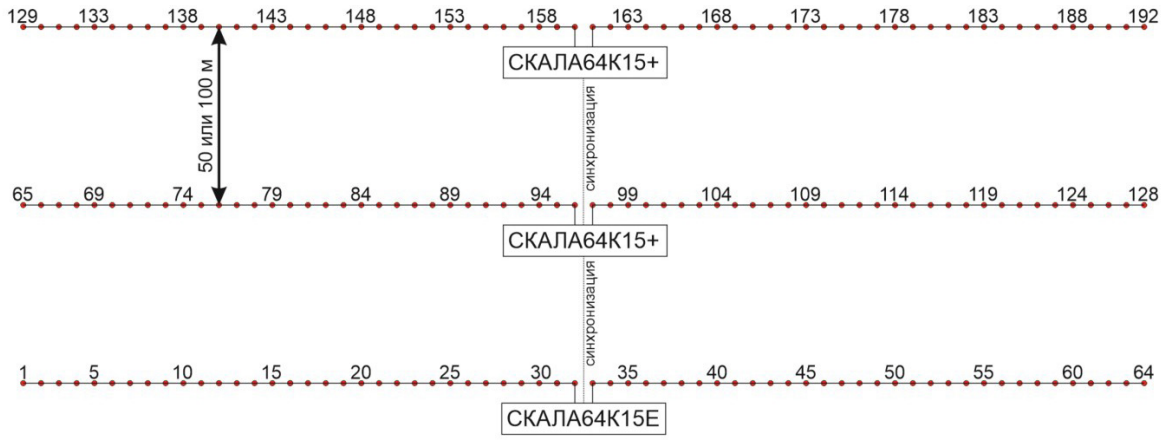


Рис. 2. Схема расположения электродов

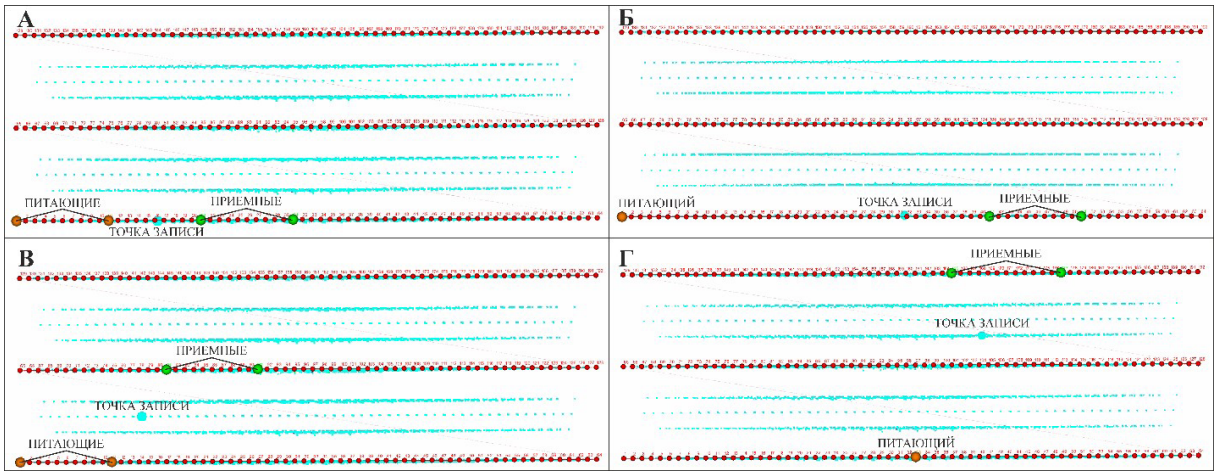


Рис. 3. Измерения дипольной (А, В) и трехэлектродной (Б, Г) установками:
А – вдоль профиля, В – между профилями; Б – вдоль профиля, Г – между профилями

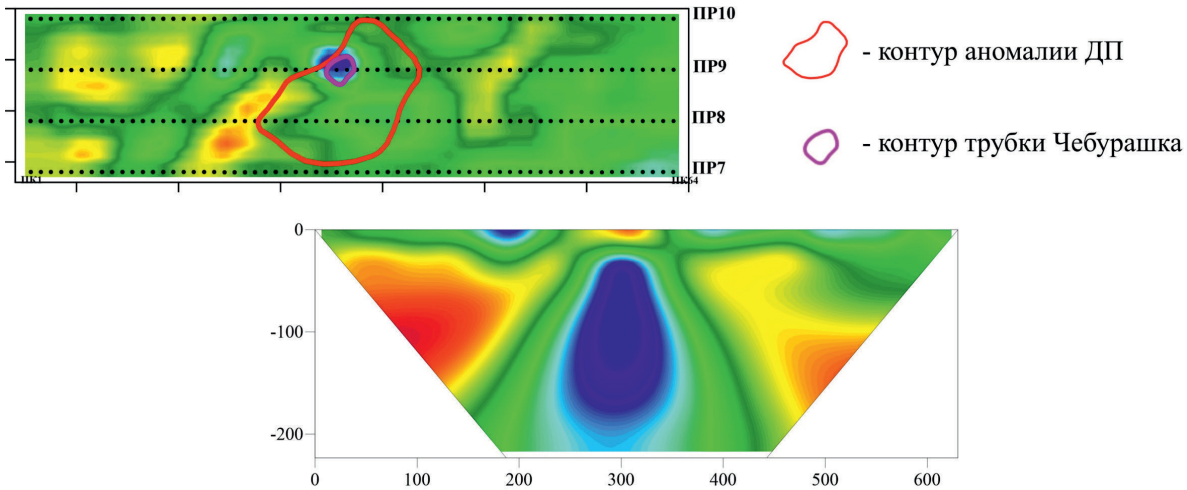


Рис. 4. Результаты исследований на тр. Чебурашка. Срез на глубине 20 м и разрез по профилю 9

ной аномалия расширяется до 100 м. Верхняя часть разреза обладает сопротивлениями до 500 Ом·м. Вмещающие карбонатные породы обладают сопротивлениями до 2500 Ом·м.

На трубке Саратовская исследования выполнялись по четырем профилям длиной 950 м (рис. 5). По результатам инверсии уверенно выделяется вертикальная проводящая конусообразная аномалия. В верхней части аномалия имеет размеры 50 × 100 метров, с глубиной ано-

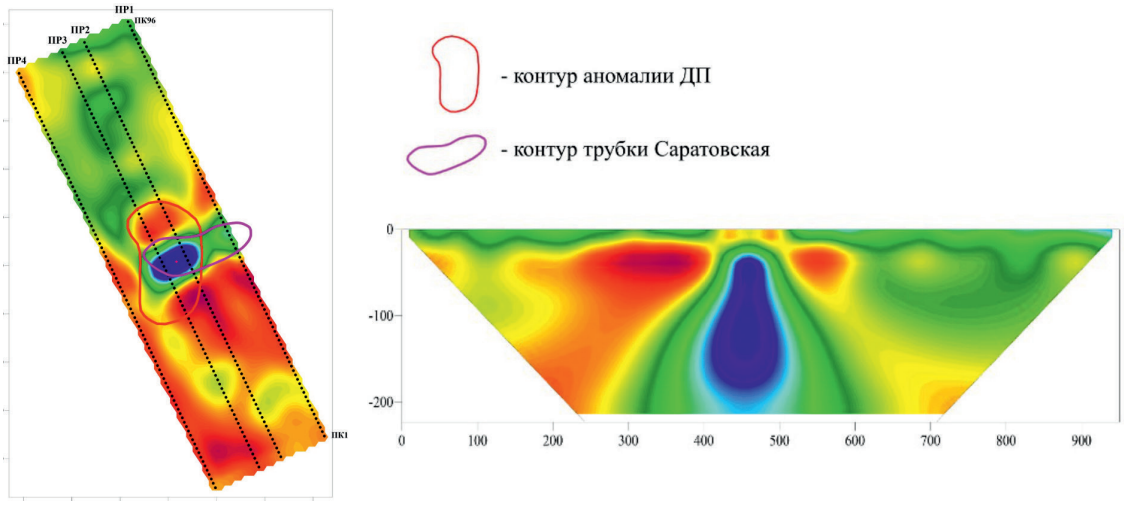


Рис. 5. Результаты исследований на тр. Саратовская. Срез на глубине 45 м и разрез по профилю 2

малия увеличивается до 80 × 150 метров. Характер аномалии полностью соответствует ранее проведенному моделированию кимберлитовой трубки в поле данных электротомографии для этого региона. Эпицентр аномалии расположен на профиле № 2 ПК 46.

Выводы. Впервые в России проведена высокоплотная 3D-электротомография на кимберлитовых телах. По результатам проведенных исследований кимберлитовые трубки уверенно выделяются по данным 3D-электротомографии. Специалистами ВГРЭ разработана оптимальная методика проведения 3D-электротомографии, которая может быть применена при поисках рудных тел. Предлагаемая методика применима при детализационных работах и разбраковке аномалий, перспективных на обнаружение кимберлитовых трубок, выделенных площадными геофизическими методами (электропрофилирование, наземная магниторазведка, комплексная аэрогеофизическая съемка, аэромагниторазведка).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Балков Е. В., Панин Г. Л., Манштейн Ю. А., Манштейн А. К., Белобородов В. А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения
2. [Электронный ресурс]. – URL: https://geoinfo.ru/products-pdf/ehlektrotomografiya-apparatura-metodika-i-opyt-primeneniya.pdf (дата обращения 12.03.2024)
3. Большаков Д. К., Ефремов К. Д., Модин И. Н. Методика и технология получения трехмерных данных методом электротомографии // www.gece.moscow
4. Каргин А. В., Голубева Ю. Ю., Кононова В. А. Закономерности пространственного распределения вещественных характеристик кимберлитов Далдыно-Алакитского района (Якутия) // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008.
5. Павлова А. М., Шевнин В. А. 3D-электротомография при исследованиях ледниковых отложений // Тезисы докладов на конференции «Инженерная геофизика – 2013», 22–26 апреля. – Геленджик, 2013.

Секерина Д. Д. (sekerinadar@mail.ru)
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ КРИТЕРИЕВ РУДОНОСНОСТИ ЗМЕИНОГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Змеиногорский рудный район характеризуется высокой степенью геолого-геофизической изученности и является перспективным объектом исследований на выявление скрытого и сла-

бо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения. В данной работе поставлена задача составления прогнозной схемы исследуемой площади с использованием эталонных объектов. Для этого был сформирован рабочий банк данных, предложена методика обработки и интерпретации разнотипных геолого-геофизических данных с обоснованием нестандартных критериев рудоносности. На основе параметров гравитационного и магнитного полей выполнен прогноз по двум эталонным рудопроявлениям в пределах Змеиногорского рудного района. Результирующая схема отражает наиболее перспективные зоны для проведения детальных исследований, нацеленных на выявление скрытого колчеданно-полиметаллического оруденения.

Ключевые слова: потенциальные поля, колчеданно-полиметаллическое оруденение, Змеиногорский рудный район, прогноз.

Введение. В последние десятилетия особый интерес к минерагеническому потенциалу Рудного Алтая прикован в связи с решением задачи поиска скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения [1, 4, 5]. Данный регион характеризуется богатой фактологической основой, включающей разномасштабные геологические карты, цифровые модели гравитационного и магнитного полей, космоснимки, прогнозные и геохимические схемы, сейсморазведочные разрезы и др. [5, 7, 8].

Опираясь на опыт прогнозно-минерагенических исследований потенциала Змеиногорского рудного района [3, 5, 8], расположенного в центральной зоне девонского рифтогенного прогиба Рудного Алтая, поставлена задача формирования прогнозной схемы на основе нестандартных критериев рудоносности.

Методы. Для решения поставленной задачи была разработана методическая схема, включающая четыре стадии: создание рабочего банка данных, обработку геолого-геофизических данных, геотектоническую интерпретацию и прогноз на основе выявленных нестандартных критериев [9].

На первой стадии сформирован банк данных, включающий разнотипные материалы среднемасштабной и детальной изученности региона на площади, а также глубинные геолого-геофизические разрезы [1, 5]. Основная задача – увязка всех материалов в единой системе условных обозначений.

На второй стадии выполнена обработка гравитационного и магнитного полей, включающая преобразование геоданных (спектральное разложение потенциальных полей, расчет направленных фильтраций и др.) [2, 9, 15]. Решены инверсионные задачи и построены псевдоразрезы по опорному профилю. Основная задача – усиление полезного сигнала, выявление наиболее контрастных трансформант для вовлечения в прогноз.

На третьей стадии проведена комплексная геотектоническая интерпретация, включающая построение структурно-вещественной схемы Змеиногорского рудного района с привлечением результатов безэталонной классификации потенциальных полей и глубинных моделей развития региона, характеризующих закономерности рудоформирования. Основная задача – выделение главных структурных элементов (блоков, межблоковых зон, разрывных нарушений) и обоснование оптимальных прогнозных критериев [6, 9, 10].

На четвертой стадии реализован прогноз по методу М. Б. Штокаленко [11]. В качестве исходных материалов задействованы матрицы гравитационного и магнитного полей. В их пределах заданы контуры известных эталонных объектов (1 и 2). На основе сопоставления аномальных значений задаваемых контуров с распределением параметров поля по всей площади, построены результирующие модели. Основная задача – оценка информативности задаваемых признаков и составление прогнозной схемы.

Результаты. На основе комплексной интерпретации в качестве наиболее информативных геофизических критериев задействованы исходные матрицы гравитационного и магнитного полей, а также их трансформанты. В результате решения прогнозной задачи составлена схема возможного распределения ареалов аномальных параметров исходных гравитационного и магнитного полей (рис. 1).

На основе полученных схем выполнена оценка распределения веса по эталонным объектам в зависимости от глубины (рис. 2).

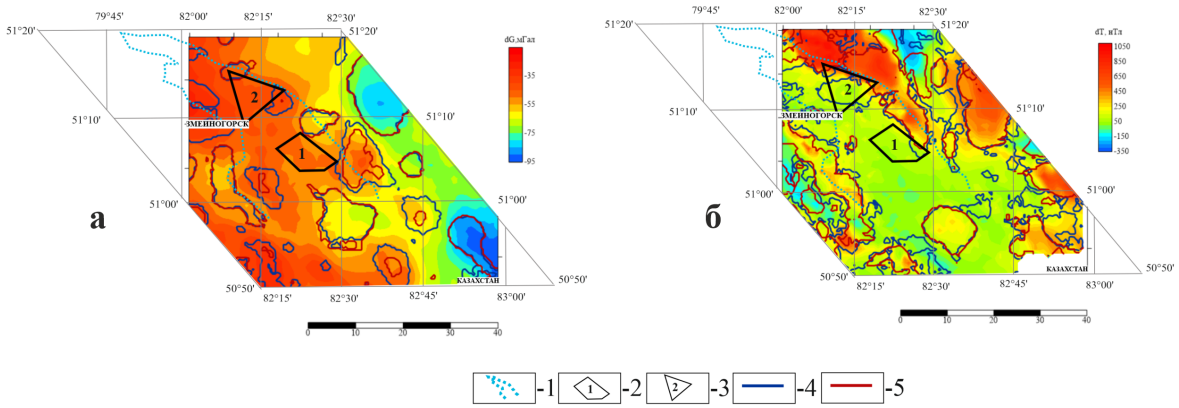


Рис. 1. Прогнозные схемы, построенные по гравитационному (а) и магнитному (б) полям на основе сопоставления геофизических параметров с контурами эталонных объектов:
1–3 – контур: 1 – Змеиногорского рудного района, 2 – первого эталонного рудопроявления, 3 – второго эталонного рудопроявления; 4–5 – результат прогноза: 4 – для первого эталона и 5 – для второго эталона

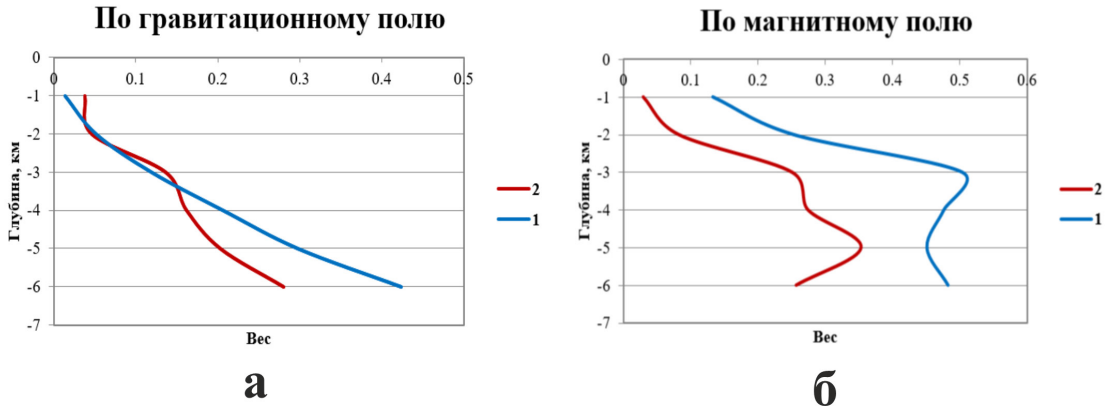


Рис. 2. Графики зависимости веса прогнозных признаков по двум эталонным объектам для гравитационного (а) и магнитного полей (б)

Заключение. В результате комплексной обработки и интерпретации геолого-геофизических данных обоснованы наиболее информативные геофизические критерии, вовлекаемые в решение прогнозной задачи. Полученные прогнозные схемы затрагивают достаточно обширные ареалы распространения возможных рудопроявлений. Исходя из чего, можно сделать вывод о необходимости привлечения дополнительных частотных составляющих геофизических полей и геолого-структурных (тектонических), минерагенических и геохимических критериев рудоносности для составления оптимальных прогнозных схем Змеиногорского рудного района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гусев Г. С., Межеловский Н. В., Морозов А. Ф., Килипко В. А., Сироткина О. Н. Обь-Зайсанская, Алтае-Саянская и Восточносаяно-Енисейская покровно-складчатые области: основные особенности тектонического развития // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 72. – С. 26–41.
2. Долгаль А. С. Гравиметрия и магнитометрия: трансформации геопотенциальных полей: учебное пособие // Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2022. – 140 с.
3. Калинин Д. Ф., Овсов М. К. Многоальтернативный вероятностный прогноз минерагенических объектов с использованием структурного анализа геофизических данных (Часть 1 и 2) // Геофизика. – 2013. – № 2–4. – С. 45–50, 8–14.
4. Кашин С. В., Молчанов А. В., Шатов В. В. Гидротермально-метасоматические формации регионального распространения и их использование для прогнозирования скрытого колче-

данно-полиметаллического оруднения (на примере Змеиногорского рудного района, Рудный Алтай) // Региональная геология и металлогения. – 2013. – Т. 56. – С. 65–77.
5. 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» (2–5 апреля 2019 г., г. Москва). – М. : РГГРУ, 2019. – Т. 2. – С. 173–176.
6. Петров А. В. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД 3D и практические результаты / А. В. Петров, Г. В. Демура, С. В. Зиновкин // Недропользование – XXI век. – 2017. – № 1. – С. 46–61.
7. 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. – DOI: 10.24411/0869-5997-2018-10002.
8. Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К. Особенности вещественного состава вмещающих пород и руд Лазурского рудного поля (Змеиногорский рудный район, Рудноалтайская минерагеническая зона) // Отечественная геология. – 2021. – № 3–4. – С.36-47. – DOI: 10.47765/0869-7175-2021-10020.
9. Секерина Д. Д., Дергилева Е. А., Егоров А. С. Закономерности локализации структур каледонского и герцинского орогенеза Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2023. – 93. – С. 52–62. – DOI: 10.52349/0869-7892_2023_93_52-62.
10. Чекалин В.М., Дьячков Б.А. Рудноалтайский полиметаллический пояс: закономерности распределения колчеданного оруденения //Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. 6.С. 513-532. DOI: 10.7868/S0016777013060026.
11. Shtokalenko M.B., Alekseev S.G., Veshev S.A., Voroshilov N.A., Putikov O.F. Development of geoelectrochemical technologies and their complex use in hydrocarbon prospecting // Journal of Mining Institute. 2008. Vol. 176. p. 136-141.

Сенкевич В. С. (sink777@mail.ru)
КФ АО «Полиметалл УК», г. Красноярск

МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ ПОЛИМЕТАЛЛОВ И ЗОЛОТА В ПРЕДЕЛАХ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ ЗОНЫ И ИСАКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА

Енисейский кряж – одна из ведущих минерально-сырьевых провинций России с большим разнообразием полезных ископаемых (Au, Ag, Pb, Zn, Fe, Mn, Sb и др.). На сегодняшний день выявлены и зарегистрированы 44 свинцово-цинковых объекта в статусе месторождений и рудопроявлений, а также более 200 пунктов полиметаллической минерализации. Для обнаружения новых объектов необходимо переосмысление ретроспективного материала и применение глубинных геохимических поисковых методов в совокупности с современными геофизическими исследованиями.

Ключевые слова: Енисейский кряж, прогноз, поиски, полиметаллы, золото.

Енисейский кряж – одна из ведущих минерально-сырьевых провинций России с большим разнообразием полезных ископаемых (Au, Ag, Pb, Zn, Fe, Mn, Sb и др.). С открытием в 1956 г. Горевского свинцово-цинкового месторождения, его последующим изучением и освоением Енисейский кряж начинает рассматриваться как потенциально крупная полиметаллическая провинция. На сегодняшний день выявлены и зарегистрированы 44 свинцово-цинковых объекта в статусе месторождений и рудопроявлений, а также более 200 пунктов полиметаллической минерализации.

Медно-колчеданная в силикатных породах (цинк-медноколчеданная) субформация представлена Глотихинским, Хариузихинским, Солохинским, Исаковским, Николаевским, Кийским,

Киликейским и Тягловым проявлениями, которые тяготеют к вулканитам основного и кислого составов (Приенисейская зона и Исаковский террейн). Рудные тела линзовидные, малой мощности (первые метры). Контакты рудных тел с вмещающими породами часто нерезкие из-за присутствия в последних вкрапленного и прожилково-вкрапленного оруденения. Руды преимущественно массивные, иногда густовкрапленные, сложены пиритом (до 30–80 %), халькопиритом (до 10 %), сфалеритом (0,1–6 %). В виде незначительной примеси отмечаются пирротин, галенит, магнетит, золото. Породные минералы – кварц, серицит, хлорит, альбит, биотит, кальцит, сидерит, барит. На площадях развития медно-колчеданного оруденения в вулканитах основного состава нередко устанавливается вкрапленная и прожилково-вкрапленная существенно медная минерализация. Содержание Cu и Zn в таких породах местами достигает 0,3–1,5 %. В некоторых случаях особенности оруденения по облику и геологической позиции близки к медно-порфировому, эпитермальному типам, что остается неясным и требует изучения и подтверждения.

Известные месторождения рудных благородных и цветных металлов Енисейского кряжа преимущественно расположены на водоразделах, являющихся обычно наиболее обнаженными, – обломки пород часто образуют высыпки, развалы и визуально устанавливается проявление гидротермально-метасоматических процессов. Однако Приенисейская зона и Исаковский террейн характеризуются преобладанием «закрытых» ландшафтов – залесенных, задернованных и заболоченных «моховых» склонов. В связи с чем «легкими» методами получить геологическую информацию по значительной части территории не представляется возможным. Именно поэтому необходимо менять традиционную методику поисков.

Для оптимизации рационального получения положительного итога, обязательное условие результативности – это переосмысление ретроспективного материала предшествующих металлогенических исследований площадей и применение последних с глубинными геохимическими поисками в совокупности с современными геофизическими исследованиями.

Серавина Т. В. (seravina@tsnigri.ru), Кузнецов В. В., Петухов А. А.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ НА СВИНЕЦ И ЦИНК 2019–2024 гг.: ОТ ПРОГНОЗА К ОЦЕНКЕ

Основу минерально-сырьевой базы свинца и цинка Российской Федерации составляют месторождения типов SEDEX, MVT и VMS. Основные месторождения этих металлов расположены в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Задачи по воспроизводству МСБ свинца и цинка могут быть решены путем проведения прогнозно-минерагенических исследований, по результатам которых будут выполнены поисковые и оценочные работы. Первостепенным является укрепление сырьевой базы действующих предприятий в старых горнодобывающих регионах. Перспективными для выявления новых объектов являются Рудноалтайская (Алтайский край), Приаргунская (Забайкальский край) и Ангаро-Большепитской (Красноярский край) минерагенические зоны (МЗ), в пределах которых в период с 2019 по 2024 г. был проведен ряд поисковых и оценочных работ.

Ключевые слова: Рудноалтайская минерагеническая зона, Приаргунская минерагеническая зона, Ангаро-Большепитская минерагеническая зона, свинец, цинк.

Свинец и цинк относятся к стратегическим видам минерального сырья, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены активными запасами. Основу минерально-сырьевой базы свинца и цинка Российской Федерации составляют следующие главные геолого-промышленные типы месторождений: колчеданно-полиметаллический в терригенных и карбонатно-терригенных формациях (SEDEX), колчеданно-полиметаллический в вулканогенных формациях (VMS) и свинцово-цинковый в карбонатных формациях (MVT). По суммар-

ной добыче свинца и цинка месторождения распределяются следующим образом (%): 49 – месторождения типа MVT, 30 – VMS, 16 – жильные месторождения, 5 – скарновые. Крупнейшее Холоднинское месторождение, которое относится к типу SEDEX, расположено в Центральной экологической зоне Байкальской природоохранной территории и по этой причине не может быть вовлечено в освоение [4].

Основные месторождения свинца и цинка расположены в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Наиболее крупные месторождения находятся в Иркутской (Олокитская МЗ, Прибайкальская МЗ), Архангельской (Центрально-Новоземельская МЗ) и Кемеровской (Салаирская МЗ) областях; Красноярском (Ангаро-Большепитская МЗ), Алтайском (Рудноалтайская МЗ) и Забайкальском (Приаргунская МЗ) краях; в республиках Саха (Якутия) (Кыллахская МЗ), Бурятия (Удино-Витимская МЗ) и Тыва (Улугойская МЗ). Все перечисленные регионы характеризуются развитой инфраструктурой, и в их пределах возможно выявление новых объектов [1].

Стратегией развития минерально-сырьевой базы РФ до 2035 г. предусматриваются специализированные прогнозно-минерагенические исследования и геологоразведочные работы поисковой стадии на высоколиквидное минеральное сырье (в том числе на свинец и цинк) в перспективных районах для создания новых минерально-сырьевых центров [3].

Одними из наиболее перспективных регионов РФ по развитию минерально-сырьевой базы полиметаллических руд являются Алтайский (Рудноалтайская МЗ), Забайкальский (Приаргунская МЗ) и Красноярский (Ангаро-Большепитская МЗ) края. В этих регионах в период с 2019 по 2024 гг. АО «Росгеология», АО «УГСЭ» совместно с ФГБУ «ЦНИГРИ» был проведен ряд работ.

В 2009–2012 гг. в пределах Рудноалтайской минерагенической зоны (российская часть) были проведены опережающие геолого-геофизические работы, которые были аналогом прогнозно-минерагенических исследований. В результате этих работ были выделены перспективные площади для проведения поисковых работ. В настоящее время заканчивается опоискование перспективных площадей первой очереди (в пределах Змеиногорского рудного района) и встал вопрос о проведении повторных прогнозно-минерагенических исследований на территории рудных районов и узлов [2]. Поэтому в 2023 г. начаты прогнозно-ревизионные работы в Золотушинском рудном район.

Также в пределах Рудноалтайской МЗ в последние годы были проведены поисковые работы на Холодной, Новоникольской и Шумаковской площадях.

В результате проведения поисковых работ на территории Холодной площади (2018–2021 гг.) на Масленско-Пихтовском участке были оценены прогнозные ресурсы цветных и благородных металлов, локализованные в пределах трех зон медно-колчеданной, колчеданно-полиметаллической минерализации, и оконтурено в шесть рудных тел.

По результатам выполненных полевых, лабораторных и камеральных работ на Новоникольской площади (2020–2022 гг.) на Тушканихинском участке было вскрыто колчеданно-полиметаллическое оруденение, локализованное в пачках туфов кислого состава, туффитах, алевролитах, туфобрекчиях и в их метасоматически измененных разностях. Оруденение вкрапленного типа с неравномерным распределением рудных минералов с содержаниями меди до 3,06 %, свинца – до 1,49 %, цинка – до 5,5 %, золота – от 0,11 до 1 г/т и более.

В пределах Шумаковской площади (2021–2023 гг.) было выделено четыре перспективных участка с одноименными рудопроявлениями – Зайцевский, Рязановский, Каменский и Белоглинский. По результатам поисковых работ на Зайцевском участке был выявлен ряд рудных пересечений, оконтурено шесть маломощных линзовидных рудных тел. По минеральному составу руды преимущественно медно-свинцово-цинковые при соотношении металлов Cu : Pb : Zn = 1,0 : 1,67 : 13,73.

В 2024 г. планируется начать оценочные работы на Западно-Захаровской площади, которая была выделена по результатам работ в пределах Краснореченской площади (2017–2019 гг.), и провести подсчет и оценку запасов меди, свинца и цинка с попутными золотом и серебром.

В рамках проекта по оценке перспектив золото-полиметаллического оруденения основных рудных районов и узлов Приаргунской МЗ были выделены перспективные площади для поста-

новки поисковых работ, на которых были проведены поисковые и оценочные работы [3]. Работы на Шилкинско-Заводской и Маньковской площадях были успешно завершены, а на Воздвиженской и Ивановской площадях проводятся в настоящее время.

В пределах Шилкинско-Заводской площади (2020–2022 гг.) по результатам проведенных поисковых работ на участке Екатерининский были выделены две рудных залежи разных морфологических типов. Минералого-петрографическими исследованиями вскрытые руды охарактеризованы как колчеданно-полиметаллические, их текстуры – массивные, брекчиевидные, прожилково-вкрапленные, пятнистые. Содержания ценных компонентов составили: цинка – 0,4 %, свинца – 1,68 %, серебра – 56,56 г/т, золота – 1,05 г/т.

В результате выполненных геолого-геофизических, геохимических, горных и буровых работ на Маньковской площади (2021–2023 гг.) было выявлено Андреевское золото-медное рудопроявление, которое представлено двумя рудными телами жильно-штокверковой и пластовой морфологии (средние содержания: медь – 0,27 %, золото – 0,27 г/т). В пределах выявленного рудопроявления планируется провести оценочные работы.

В 2024 г. будут начаты поисковые работы по выявлению пологозалегающего стратифицированного серебросодержащего полиметаллического оруденения в пределах Чашинской площади Нерчинско-Заводского рудного района.

На Воздвиженской и Ивановской площадях с 2022 по 2024 г. проводятся оценочные работы. По результатам выполненных геологоразведочных работ было проведено оконтуривание минерализованных зон и начата разработка ТЭО кондиций. В пределах Воздвиженской площади установлены содержания благородных металлов в полиметаллических рудах. Главными рудными минералами являются пирит, галенит и халькопирит. На Ивановской площади выделены три рудных тела, средние содержания ценных компонентов в которых составляют: свинец – 1,95 %, цинк – 4,18 %, серебро – 213 г/т и золото – 1,8 г/т.

В пределах Ангаро-Большепитской МЗ с 2017 по 2019 г. были проведены работы на Морянихинской площади, которые могут считаться аналогом прогнозно-минерагенических исследований [3]. В результате выполненных работ было выявлено Сухопитское проявление, где выделены три зоны развития минерализованных пород с соотношением цинка к свинцу 1 : 5,5. Также на Токминском проявлении были выявлены новые тела сульфидных руд.

Также с 2021 по 2023 г. поисковые работы проводились в пределах Верхнерудиковской площади. По результатам выполненного комплекса работ были выделены рудопроявления Крутое, которое относится к типу MVT, и Северо-Восточное, относящееся к типу SEDEX. Руды проявления Крутое относятся к галенит-сфалерит-пиритовому минеральному типу и сложены продуктивной галенит-сфалерит-пиритовой минеральной ассоциацией. На Северо-Восточном проявлении вскрыто оруденение сфалерит-пиритового минерального типа. Кроме главных рудных минералов в составе ассоциации отмечаются редкие выделения галенита, арсенопирита, блеклой руды, халькопирита, буланжерита и пентландита.

В 2024 г. планируется начать поисковые работы для локализации перспективных участков со свинцово-цинковым оруденением в пределах Тенегинского рудного узла Большепитского рудного района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Методика поисков коренных месторождений свинца и цинка в вулканогенных ассоциациях на закрытых территориях, основанная на опыте работ ФГБУ «ЦНИГРИ» 2010–2022 гг. // Труды научно-практической конференции «Актуальные проблемы поисковой геологии». – М., 2023. – С. 159–166.
2. Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Опыт и результаты поисковых работ 2009–2019 гг. и возможность выявления новых колчеданно-полиметаллических месторождений в пределах Рудного Алтая // Материалы рабочего совещания «Большой Алтай – уникальная редкометально-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии». – Алматы, 2019. – С. 29–33.
3. 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.
4. Kuznetsov V. V., Seravina T. V. VMS and SEDEX (+MVT) deposits of the Russian Federation // Геология и охрана недр. – 2020. – № 3. – С. 27–33.

Серов И. В. (SerovIV@alrosa.ru), Мальков А. А. (MalkovAA@alrosa.ru),
Шахурдина Н. К. (ShakhurdinaNK@alrosa.ru)
АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

ОЦЕНОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ (ПОИСКОВЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

Анализируется история открытий и развития минерально-сырьевой базы (МСБ) алмазов, современное состояние МСБ коренных алмазов Группы АЛРОСА, текущие результаты геологоразведочных работ. Проведен анализ выборки кимберлитовых тел с низким уровнем алмазоносности, некоторые из которых могут стать основой МСБ в будущем. Как с ними работать, на какие параметры обращать внимание, какие мероприятия необходимы для скорейшего вовлечения их в отработку – вопросы, предложенные к обсуждению.

Ключевые слова: поиски, оценка, кимберлиты, беднотоварное месторождение алмазов.

Современное состояние МСБ алмазов Группы АЛРОСА привело к переводу добычных работ на большинстве отрабатываемых месторождениях с открытого способа отработки на подземный. Отмечается снижение содержаний алмазов в рудах, при одновременном увеличении себестоимости добычи 1 карата. Происходит ухудшение структуры запасов. Показатель эффективной деятельности геологоразведочного комплекса (ГРК) – открытие новых месторождений алмазов и переоценка известных тел. Относительно легкие геологические условия 1–2 геотипов, наличие вскрытых эрозией кимберлитов в пределах участков со сложным геологическим строением позволили на начальном этапе выявить основные крупные тела алмазоносных кимберлитов. Дальнейшие поиски в пределах закрытых площадей также привели к открытию ряда новых месторождений. Сегодня ведется добыча на трубках-лидерах с содержанием и ценой алмазов, которая формирует универсальный для кимберлитов критерий 30^{+} $/т.

Целевым назначением поисково-оценочных работ является выявление алмазоносных кимберлитов – перевод ресурсов P_3 в P_2–(P_1+C_2–C_1). По ожидаемым оценочным параметрам поискового объекта формируется модель, удовлетворяющая браковочным кондициям района. Рассмотрим выборку ранее выявленных кимберлитов с низкими параметрами алмазоносности или граничными параметрами, близкими к промышленным, которые могут стать предметом оценки. В имеющейся сегодня сводке Группы АЛРОСА по кимберлитам и кимберлитоподобным породам РФ – 1534 тела. Семейство кимберлитов представлено 1103 телами, которые условно разделены на 4 группы:

1. Месторождения: 26, в т. ч. отработанные.

2. Кимберлиты с содержанием 0,045–0,50 кар/т: 78 тел (9 «беднотоварных месторождений», в т. ч. Сытыканская-ЮЗ, Таежная, Поисковая, Малокуонамская, Иреляхская, Поморская, Снегурочка. В кимберлитах трубок Дальняя и Краснопресненская содержание выше. Потенциал остальных кимберлитов данной группы на блок 200 м составляет 52 млн кар. Значимыми представителями этой группы являются трубки Алакитская, Восток, Долгожданная, Осенняя, Любимая, Летняя-1, Морозовых, Молодость, Одинцова, Радиоволновая, Соболева, Сюльдюкарская, Мархинское, Файнштейновская, Первомайская и др. С учетом ресурсов «беднотоварных месторождений» – это 139 млн карат. Потенциал последних составляет 88 млн карат, в которых 65 % – это запасы трубок Краснопресненская и Дальняя, с учетом тр. Снегурочка – 85 отн. %.

3. Кимберлиты с содержанием 0,005–0,044 кар/т: 118 тел. Общий потенциал кимберлитов на блок 200 м составляет 16 млн кар. Представителями этой группы являются такие трубки, как Аэрогеологическая, ЦНИГРИ, Ленинградская с ресурсами ~ 1 млн кар; Снежинка, Якутская, Мастахская, Ноябрьская с ресурсами 0,6–0,7 млн кар; Амакинская, Невидимка с ресурсами 0,3 млн кар и другие менее значимые.

4. Тела с неизвестным содержанием: 881 тело – мелкие тела, протяженные дайки.

Значительное количество низкоалмазоносных тел требует проведения постоянной переоценки их потенциала, с новыми идеями и практиками оценки алмазоносности.

В мире известны 5 месторождений с алмазами 500^{+} $/кар, которые не входят в топ-35 месторождений по таким параметрам как 13^{+} млрд $ выручки (12 рудников мирового класса)

и 1^{+} млн кар/год добычи на протяжении 5 лет (22 рудника) – это Karowe, Mothae, Letšeng, Koffefontein, Frank Smith. При этом товар в тонне составляет в этих месторождениях 25–30 (Frank Smith, Mothae – очень маленькая добыча 5000–50 000 кар/г) – 38–40 (Letšeng, Koffefontein – маленькая добыча 50 000–400 000 кар/г) – 105–120 $/т (Karowe – маленькая добыча 50 000–400 000 кар/г) [1]. Рудники, добывающие уникальные крупные алмазы, расположены в южной части Африки. Их можно условно назвать «африканским» типом месторождений. Это ставит перед поисково-оценочными работами задачу на выявление не только «классического» месторождения, но и оценку тел на потенциал «африканского» типа алмазоносности с имеющимися в популяции крупными ювелирными камнями.

Выдвигаемые гипотезы о наличии в исследуемых кимберлитах крупных кристаллов группы IIa, которые могут иметь решающее значение в коммерческой оценке (Манчары, Аэрогеологическая), необходимо доказывать и инструментально подтверждать на вытекающих из гипотезы следствиях. Выполненный ранее комплекс ГРР на данных телах и многих других в Якутии не дал прорывных результатов в силу разных причин: из-за ошибок в оценке потенциальной алмазоносности при изучении комплекса МСА и алмазов по природным разновидностям кимберлитов; отсутствия представительного опробования. На разрозненных данных отечественные юниоры строят оптимистичные сценарии и активно лицензируют участки недр.

Есть ли уникальные алмазы в кимберлитах Якутии и СЗ РФ, стоит ли рассматривать модель «африканского» типа алмазоносности, как обоснование постановки оценочных работ на слабоалмазоносных телах? Типоморфные особенности алмазов IIa (перидотитового, эклогитового, верлитового, свехглубинного происхождения), другие минералого-геохимические особенности состава кимберлитов и минералов являются ключом к ответу на этот вопрос [2, 4].

Изучение крупных кристаллов из Якутских месторождений показало, что по кристалломорфологическим характеристикам почти все кристаллы имеют октаэдрическую форму с разной степенью искажения. Большинство кристаллов +50 кар – это монокристаллы октаэдрического и комбинационного габитуса, с развитой иногда параллельной штриховкой и полицентрическим характером роста граней. Некоторые из них относятся к типу IIa, но не являются представителями типа CLIPPER. Типоморфные характеристики алмазов +50 кар и более мелких классов схожие, типичные для конкретных трубок.

Ставя поисково-оценочные работы на кимберлиты, в которых предполагается наличие крупных алмазов, необходимо реализовывать комплекс геологических, научных, организационных и нормативно-правовых мероприятий:

1. Сокращенный комплекс оценочных работ: тестирование на микроалмазы, отбор проб объемом 200 т на первом этапе для оценки среднего содержания доминирующих классов крупности и первое предварительное заключение о коммерческой ценности партии алмазов весом 1^{+} тыс. кар [3]. Керновое опробование представительно по классам -4+0,5 мм.

2. Совокупность валовых проб должна обеспечить на стадии оценки кимберлитов получение партий алмазов в 25–50 тыс. кар для надежного определения среднего содержания, гранулярного состава, а их совокупность – стоимость 1 кар. Разведка таких объектов потребует еще более существенных затрат для надежной характеристики гранулярного состава и оценки стоимости алмазов по ситовым классам (партии алмазов 100+тыс. кар). Для крупнообъёмного опробования существуют технологии, позволяющие отбирать пробы фрезерным оборудованием, например, фирм «Бауэр» (опыт работ в РФ ООО «Алмайнинг» и АО «Нью Граунд»).

3. В представительной партии алмазов исследовать кристаллы с высокими категориями оценки прозрачности и чистоты, в т. ч. с протомагматическими сколами: физиографическое описание, фотолюминесцентные свойства, спектры в ИК, УФ диапазонах, исследовать комплекс сингенетических включений в целях установления типоморфных признаков камней типа IIa и оценки их возможного присутствия в кимберлите по мелким классам, в т. ч. уникальных типа CLIPPER.

4. На обогатительных фабриках внедрять технологии бережной дезинтеграции кимберлитов (шнеково-зубчатая, валковые дробилки), совершенствовать подходы в рентгеновской сепарации (XRT-сепаратор).

5. Разработать технологии геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых запасов алмазов (закон о Недрах дополнен нормами о ТРИЗ).

В 2018 г. Федеральная торговая комиссия США внесла изменение в определение бриллиантов, убрав из формулировки слово «натуральный»: «Технологические достижения создали возможность получения алмазов в лаборатории. Эти камни имеют абсолютно идентичные оптические, физические и химические характеристики. Следовательно, являются алмазами». Компании России освоили технологию, позволяющую получать крупные кристаллы алмаза высокого качества и приемлемой стоимости (NDT). Например, 32 кубических HPHT-пресса позволяют вырастить около 3000 кар/мес., при этом все камни очень высокого качества – алмазы цветовых категорий DEF и от чистейших IF до SI, в основном типа II. Лаборатория мощностью в 50 прессов способна синтезировать алмазы в количестве, сопоставимом с годовой добычей небольших рудников 50 тыс. кар алмазов типа II. При этом параллельно будут решаться задачи совершенствования режимов технологии синтеза, увеличения качества и размерной группы кристаллов, закрытие потребностей промышленности (идеальная кристаллическая решетка и повторяемость характеристик: окна для специальной оптики и синхротронов, силовая микроэлектроника, теплоотводы и др.). Это другой, инновационный путь развития в высокотехнологическом секторе экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kjarsgaard B. A. [et al.] A Review of the Geology of Global Diamond Mines and Deposits // Reviews in Mineralogy & Geochemistry. – 2022. – V. 88. P. 1–118.
2. Moore A. E. The origin of large irregular gem-quality type II diamonds and the rarity of blue type IIb varieties // South African Journal of Geology. – 2014. – V. 117. – P. 219–236.
3. Rombouts L. Assessing the diamond potential of kimberlites from discovery to evaluation bulk sampling //Mineralium Deposita. – 2003. – V. 38. – P. 496–504.
4. Smith E. M. [et al.] The Very Deep Origin of the World's Biggest Diamonds // Gems & Gemology, Winter 2017. – V. 53, № 4.

Сидорова Е. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

«РЫЦАРЬ РУДНОЙ ГЕОЛОГИИ АНАТОЛИЙ КРИВЦОВ» – КНИГА О КРУПНОМ ГЕОЛОГЕ И ОРГАНИЗАТОРЕ ОТРАСЛЕВОЙ НАУКИ

В серии книг «Ученые ЦНИГРИ», издаваемой в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов с 2022 г., вышла документальная повесть о замечательном человеке, Почетном разведчике недр Анатолии Ивановиче Кривцове (1933–2010), авторе концепции минерально-сырьевой безопасности России в XXI веке.

В подготовке книги «Рыцарь рудной геологии Анатолий Кривцов» в год 90-летия со дня рождения А. И. Кривцова приняли участие сотрудники и ветераны ЦНИГРИ, коллеги с геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, из МГРИ, ИМГРЭ, ГИН РАН, ИГЕМ РАН, УГГУ, ИГ КарНЦ РАН, Министерства природных ресурсов и экологии РФ, ФБУ «ТФГИ по Приволжскому федеральному округу». Были привлечены документы из Российского государственного архива экономики (фонд 9571 «Министерство геологии СССР»), Архива МГУ им. М. В. Ломоносова, Старооскольского филиала МГРИ, а также из Музея Томаровской средней общеобразовательной школы № 1, которую А. И. Кривцов окончил в 1949 г.

Яркий представитель отечественной металлогенической школы, талантливый организатор науки А. И. Кривцов – из когорты созидателей «золотого века» отечественной геологии. В 1990–2000-е годы он приложил огромные усилия для сохранения научного потенциала геологоразведочной отрасли как необходимого условия минерально-сырьевой безопасности России. От своих учителей он воспринял особенное, рыцарское отношение к профессии. Его работу высоко ценил знаменитый министр геологии СССР Е. А. Козловский.

Вехи научной и трудовой биографии А. И. Кривцова – отражение проблематики рудной геологии второй половины XX–начала XXI вв. В середине 1950-х годов он был причастен к соз-

данию минерально-сырьевой базы урана для советской атомной промышленности. В начале 1960-х годов, когда в связи с послевоенным истощением минерально-сырьевой базы уральской медной промышленности в СССР началась переоценка разведывавшихся медноколчеданных месторождений, А. И. Кривцов приступил к работе в ЦНИГРИ и стал одним из лидеров масштабных исследований и бурной дискуссии о генезисе рудных объектов этого типа, одним из крупнейших в СССР знатоков медноколчеданных месторождений [1, 2, 7 и др.]. В середине 1970-х годов А. И. Кривцов возглавил в ЦНИГРИ пионерные работы по медно-порфировым месторождениям, составляющим основу мировой минерально-сырьевой базы меди (с попутным золотом и другими металлами), и вскоре институт стал лидером по этой тематике [4, 11, 12 и др.]. А. И. Кривцов одним из первых в стране занялся разработкой прогнозно-поисковых моделей месторождений и вместе с коллегами вплотную подошел к созданию генетических моделей [3, 10, 13]. Благодаря его работам ЦНИГРИ и другие подведомственные организации Мингео СССР взяли курс на создание прогнозно-поисковых комплексов различных типов месторождений цветных и благородных металлов и алмазов – прогрессивной технологии поисковых работ, занявшей подобающее место в системе выделения и оценки новых рудных объектов.

Курируя в Мингео СССР деятельность подведомственных научно-исследовательских организаций в качестве начальника Управления научно-исследовательских организаций, затем – заместителя начальника Главного научно-технического управления, начальника отдела научно-технического прогресса Мингео, А. И. Кривцов занимался самыми весомыми и интересными проблемами, в том числе координацией проведения в СССР сверхглубокого бурения, развитием математических методов в геологии, налаживанием международного сотрудничества отечественной геологической службы и многими другими. В 1990-х годах в качестве заместителя директора ЦНИГРИ по научной работе он реализовал неординарный проект – создание многофакторных моделей основных геолого-промышленных типов месторождений золота, цветных металлов и алмазов для разработки эффективных методик геологической разведки. В тот же период А. И. Кривцов написал первый в стране учебник «Прикладная металлогения» [8], дав жизнь новой учебной дисциплине.

В начале 2000-х годов вместе с коллегами из ЦНИГРИ и Министерства природных ресурсов РФ А. И. Кривцов стал ведущим автором представленной в Совет безопасности РФ аналитической записки «О сырьевой безопасности России в XXI веке», принял активнейшее участие в разработке Концепции обеспечения минерально-сырьевой безопасности России в условиях глобализации в XXI веке [5, 6, 9]. Эта экспертная аналитическая работа повлияла на принципы построения долгосрочных государственных программ изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы страны.

А. И. Кривцов был твердо убежден, что главная задача сотрудников отраслевых НИИ – в ощутимой помощи геологам-производственникам, практическом выходе теоретических исследований.

К 90-летию со дня рождения А. И. Кривцова подготовлен полный перечень его научных трудов, библиографический список размещен на персональной странице доктора геолого-минералогических наук А. И. Кривцова в Информационной системе «История геологии и горного дела». Эта работа – результат консолидации профессионального сообщества в деле сохранения памяти о выдающихся геологах.

На завершающем этапе работы над книгой «Рыцарь рудной геологии Анатолий Кривцов» в ФГБУ «ЦНИГРИ» состоялось расширенное торжественное заседание ученого совета института, посвященное юбилею доктора геолого-минералогических наук А. И. Кривцова. Материалы книги стали также основой мемориальных статей о его научном вкладе. Эти статьи опубликованы в журналах «Отечественная геология» и «Руды и металлы» [14, 15] в дни юбилея А. И. Кривцова, в течение многих лет являвшегося главным редактором названных изданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бородаевская М. Б., Горжевский Д. И., Кривцов А. И. и др. Колчеданные месторождения мира / Под ред. В. И. Смирнова. – М. : Недра, 1979. – 284 с.
2. Бородаевская М. Б., Кривцов А. И., Ширай Е. П. Основы структурно-формационного анализа колчеданоносных провинций. – М. : Недра, 1977 – 153 с.

3. Кочнев-Первухов В. И., Кривцов А. И. Прогнозно-поисковые модели металлогенических таксонов Норильского района и их использование для выделения перспективных площадей // Отечественная геология. – 2006. – № 4. – С. 9–16.
4. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1983. – 256 с.
5. Кривцов А. И. Зарубежная минерально-сырьевая база на рубеже веков – ретроспектива и прогнозы: Обзор-анализ. – М. : ЦНИГРИ, 1998. – 116 с.
6. Кривцов А. И. Минерально-сырьевая база в начале XXI века – мир и Россия. – М. : ЦНИГРИ, 2008. – 239 с.
7. Кривцов А. И. Палеовулканизм и колчеданные месторождения Западно-Магнитогорской эвгеосинклинали : Диссертация на соискание учен. степени д-ра геол.-минерал. наук. – М., 1974. – 367 с.
8. Кривцов А. И. Прикладная металлогения. – М. : Недра, 1989. – 286 с.
9. Кривцов А. И., Беневольский Б. И., Минаков В. М. Национальная минерально-сырьевая безопасность: Введение в проблему / Под ред. А. Е. Наталенко, И. Ф. Мигачева. – М. : ЦНИГРИ, 2000. – 196 с.
10. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В. Меднопорфировые месторождения. Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов / Под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
11. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Попов В. С. Медно-порфировые месторождения мира. – М. : Недра, 1986. – 235 с.
12. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Шишаков В. Б. Морфологическая классификация медно-порфировых месторождений: Обзор. – М. : ВИЭМС, 1980. – 46 с.
13. Кривцов А. И., Минина О. В., Волчков А. Г. и др. Месторождения колчеданного семейства. Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов / Ред. А. И. Кривцов. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 282 с.
14. Мигачев И. Ф., Беневольский Б. И., Сидорова Е. В. Рыцарь рудной геологии. К 90-летию со дня рождения А. И. Кривцова // Отечественная геология. – 2023. – № 6. – С. 78–84.
15. Служение рудной геологии и Отечеству. К 90-летию со дня рождения А. И. Кривцова // Руды и металлы. – 2023. – № 4. – 92–93.

Симаков С. К. (SimakovSK@alrosa.ru), Стегницкий Ю. Б. (StegnitskiyYuB@alrosa.ru)
Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Санкт-Петербург

К ВОПРОСУ О ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ ГИГАНТСКИХ АЛМАЗОВ

Рассматриваются дискуссионные вопросы процесса образования крупнейших кристаллов алмазов. На основе данных по гигантским алмазам (более 400 карат) Южной Африки были рассчитаны составы флюидов среды, в которых они образуются. Это флюиды двуглекисло-водного состава, характерные для границы литосферы и земной коры.

Ключевые слова: гигантские алмазы, кимберлиты, флюиды, мантия, земная кора.

В основу настоящей работы положены данные о крупных («extra-large») алмазах Мира [1]. Все гигантские алмазы, найденные за последнее столетие, приурочены в основном к Африкано-Аравийской платформе (рис. 1).

Источниками 56 % всех наиболее крупных алмазов (> 400 карат) являются Африканские кимберлитовые трубки: Карове (1758, 1174, 1109, 1080, 998, 812, 549, 544, 472, 470 карат), Премьер (3106, 755, 620, 599, 507, 460, 426, 424 карат), Летсенг (910, 603, 601, 550, 493, 478, 439 карат), Ягерсфонтейн (995 и 650 карат), Джваненг (1098 и 425 карат), Де Бирс (457 и 428 карат), Дьютойтспен (616 карат), Весселтон (609 карат), Кимберли (409 карат).

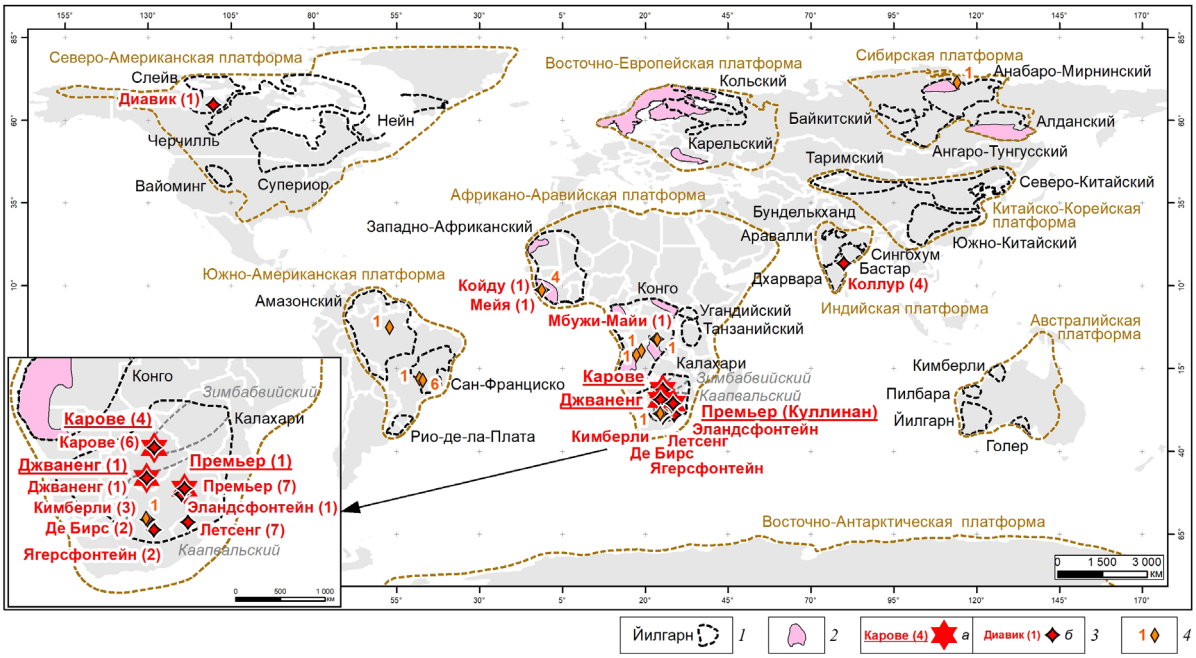


Рис. 1. Схематическое расположение находок крупных алмазов:
1 – кратоны, их названия; 2 – выходы на поверхность пород кристаллического фундамента; 3 – находки крупных алмазов в коренных источниках (название месторождения, цифра в скобках – количество найденных кристаллов) весом более 1000 карат (а), весом 400–1000 карат (б); 4 – находки крупных алмазов в россыпях весом 400–1000 карат (цифра – количество найденных кристаллов)

41 % крупных алмазов добыт в трубках Карове, Премьер (Куллинан), Летсенг, 88 % из них – тип IIa, 5 % (тип IIa) – Джваненг и Ягерсфонтейн, 8 % (тип I) – трубки поля Кимберли. Более мелкие – тип IIa (> 100 карат) встречаются в трубках Орапа, Као, Мотае и Монастери.

Таким образом, наибольшее количество и наиболее крупные кристаллы типа IIa добыты в трубках Карове, Премьер и Летсенг.

Основные минералого-геохимические особенности гигантских алмазов сводятся к следующему [2]:

- отсутствие силикатных и окисных включений (практически единственным включением является графит);
- обогащенность облегченным изотопом углерода;
- практически полное отсутствие азота (70 % супергигантов > 400 карат – тип IIa);
- наличие сильной резорбции, но при этом отсутствие следов деформации;
- приуроченность к кимберлитовым трубкам с низкой алмазоносностью.

На основании имеющихся данных можно выделить основные стадии образования алмазов в глубинных породах (рис. 2).

Существуют астеносферная, литосферная и мантийно-коровая гипотезы образования крупнейших алмазов. Смит и др. [3] предполагают, что их образование связано с железистыми расплавами астеносферы. Мур [2] связывает их формирование с поздними кимберлитовыми расплавами в литосфере. По нашему мнению, образование крупных алмазов связано с мантийно-коровыми флюидами в районе вебстеритового солидуса [4]. Железистые расплавы астеносферы соответствуют восстановительным углеводородно-азотным флюидам, литосферы – водно-двуглекисло-азотистым, а земной коры – двуглекисло-водным с добавками серы (рис. 2). Проведенные P-T-FO_2 расчеты по пиропам для трубок Карове, Премьер и Летсенг показали двуглекисло-водный состав расчетных C-H-O флюидов, что соответствует условиям литосферы и земной коры. Отсутствие в «CLIPPIR diamonds» азота говорит о более верхних горизонтах, то есть об условиях земной коры. Исходя из этого, наиболее вероятным механизмом образования «extra-large diamonds» представляется их образование из флюидов водно-двуглекислого состава. Ими могут являться достаточно большие скопления флюидов, образующихся

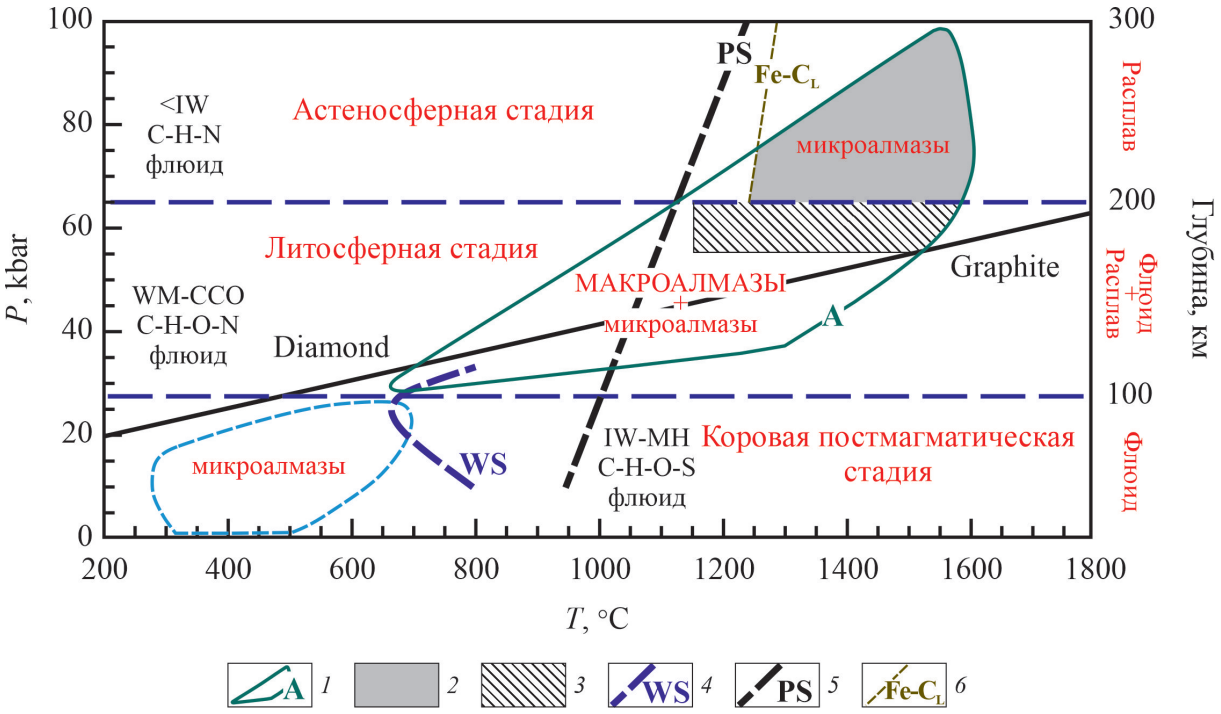


Рис. 2. Основные стадии образования алмаза в мантии и земной коре: астеносферная, литосферная и мантийно-коровая относительно алмаз-графитовой границы [5]:
1 – поле известных *PT*-параметров, полученных для алмазных перидотитовых и эклогитовых включений; 2 – металлосиликатные расплавы; 3 – карбонатные расплавы; 4 – вебстеритовый солидус; 5 – перидотитовый солидус; 6 – граница железо-углеродистого расплава

в трещинах-пустотах при застывании магмы на границе литосферы и земной коры. Это объясняет их чистоту и отсутствие в них включений.

Таким образом, предложенная авторами минералого-петрологическая модель позволяет ранжировать кимберлитовые породы по степени вероятности нахождения в них гигантских алмазов по расчетам P-T-FO_2 параметров и рассчитанному флюиду. Двууглекисло-водный состав расчетных C-H-O флюидов, рассчитанный по методике, описанной в [6], является положительным критерием для нахождения в кимберлитовых трубках алмазов-гигантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ferraris R. Presentation at Kimberley International Diamond Symposium (KIDS 2023). – 2023. – 24–25 August. – 34 p.
2. Moore A. E. Type II diamonds: Flamboyant Megacrysts? // South African Journal of Geology. – 2009. – V. 112. – P. 23–38.
3. Smith E. M., Shirey S. B., Nestola F. [et. al.] Large gem diamonds from metallic liquid in Earth's deep mantle. – Science. – 2016. – V. 354. – P. 1403–1405.
4. Simakov S. K. On the origin of large type IIa gem diamonds // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 102. – P. 195–203.
5. Simakov S. K., Scribano V., Melnik N. [et. al.] Nano and Micro Diamond Formation in Nature. Ultrafine Carbon Particles on Earth and Space. – Springer Briefs in Earth Sciences. – 2023. – 132 p.
6. Simakov S. K., Stegnitskiy Yu. A new pyrope-based mineralogical-petrological method for identifying the diamond potential of kimberlite/lamproite deposits // Ore and Energy Resource Geology. – 2021. – V. 7 (100013).

Скаковский В. Л. (v.skakovski@vniio.ru), Романчук А. И. (romantchouk@yandex.ru)
ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-Петербург

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ МИРОВОГО ОКЕАНА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

В докладе дается оценка современному состоянию исследований в области металлургической переработки ТПИ МО как в России, так и за рубежом. Приводится информация о существующих мировых технологиях, их достоинствах и недостатках, а также о необходимости таких исследований сейчас и в будущем.

Ключевые слова: твердые полезные ископаемые Мирового океана, металлургическая переработка, глубоководные полиметаллические сульфиды, железомарганцевые конкреции, кобальтоносные марганцевые корки, технологическая схема, цветные металлы, благородные металлы, марганец.

В соответствии с требованиями Контракта на разведку твердых полезных ископаемых (ТПИ) Мирового океана (МО), заключенного между Международным органом по морскому дну (МОМД) и Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, одним из важнейших этапов работ является металлургическая переработка ТПИ МО. В конечном итоге результатом проведения соответствующих исследований должно стать определение одной или двух наиболее перспективных схем металлургической переработки, конкретно привязанных к районам распространения тех или иных ТПИ. Однако для того, чтобы выбранные технологические схемы удовлетворяли требованиям экономики, экологии и промышленности, их выбор должен быть строго обоснован, а теория – иметь надежное практическое подтверждение. В этом смысле стоит отметить, что Российская Федерация уже обладает немалым опытом в этой области и что активная фаза отечественных исследований началась еще в СССР, в 80-х годах XX века. Начиная с 90-х исследования были продолжены на базе нескольких предприятий и институтов Российской Федерации, а многие технологические схемы были усовершенствованы. К сожалению, несмотря на полученные ранее многообещающие результаты и ценный опыт лабораторных и полупромышленных исследований, на сегодняшний день работы в этом направлении поставлены на паузу. Между тем, ввиду высокой потенциальной ценности ТПИ МО по ряду цветных и благородных металлов, РЗЭ и марганцу, а также объемов их ресурсов, их широкая добыча и переработка в мировом масштабе – лишь вопрос времени. Таким образом, важно сохранить за Россией возможность продолжать работы в этом направлении, чтобы не только не утратить своего места в будущем глобальном рынке черных и цветных металлов, имеющем все тенденции к росту спроса на целевые компоненты, но и нарастить добычу, обогащение и экспорт важного стратегического сырья, сконцентрировав свое внимание на усовершенствовании металлургических технологий.

Рассматриваемые вопросы переработки касаются трех основных видов полезных ископаемых: глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС), железомарганцевых конкреций (ЖМК) и кобальтоносных марганцевых корок (КМК).

Основные используемые для раздельной переработки ТПИ технологические схемы [1–9, 11, 12] разделяются на:

- комбинированные пиро-гидрометаллургические;
- гидрометаллургические.

Пиро-гидрометаллургические схемы в общем включают в себя обжиг или плавление с последующим выщелачиванием сырья, в то время как гидрометаллургические схемы подразумевают выщелачивание сырья без предварительной его термической обработки. При этом следует отметить, что для КМК в силу определенных особенностей химического состава подходят только гидрометаллургические модели переработки, в то время как для ГПС и ЖМК, напротив, возможны оба варианта, с присущими каждому из них своими достоинствами и недостатками.

Помимо раздельной переработки сырья существуют перспективные теоретические модели их совместной переработки – на примере ГПС и ЖМК [10], что показало существенную экономию расходов на линии химического выщелачивания.

Логика и механизмы гидрометаллургических операций обоих видов технологических схем переработки в сущности своей различаются несильно, однако существует разнообразие в используемых для этих целей химических агентах выщелачивания и физических условиях технологического процесса – в строгой зависимости от типа сырья, его структурных и минералогических особенностей.

В результате проведенной работы по сбору, анализу и оценке результатов отечественных и зарубежных исследований была предпринята попытка определения новых направлений исследований и возможной корректировки уже существующих моделей с учетом готовности промышленности РФ к технической реализуемости данных работ в промышленном масштабе и в соответствии с новейшими достижениями в развитии технологии переработки ТПИ.

Отдельно стоит упомянуть о том, что авторами разработаны также конкретные рекомендации для внедрения в производство актуальных методик переработки океанских руд. И в случае реализации Федерального проекта «Освоение минеральных ресурсов Мирового океана» эти методики планируется использовать на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Романчук А. И., Маниаф А. Б., Кобцев В. М. и др. Разработать технологию извлечения ценных компонентов из кобальто-марганцевых корок Тихого океана. Отчет ЦНИГРИ. – М., 1991.
2. Романчук А. И., Ермолов В. М. и др. Переработка железомарганцевых конкреций Мирового океана. Отчет ЦНИГРИ. – М., 1989.
3. Романчук А. И., Кошель Д. Я., Карева А. В. Технологические исследования лабораторной пробы ЖМК с целью уточнения перечня полезных попутных компонентов. Отчет ЦНИГРИ. – М., 2015.
4. Романчук А. И., Кошель Д. Я., Карева А. В., Юбко В. М., Пономарева И. Н. Извлечение попутных компонентов из океанических железомарганцевых конкреций (ЖМК) // Руды и металлы. – 2016. – № 3. – С. 72–78.
5. Романчук А. И., Ивановская В. П., Королев А. Б. и др. Отчет по НИР «Исследовать отдельные элементы технологии добычи и переработки ЖМК». Этап «Разработать технологический регламент селективного выщелачивания полезных компонентов из ЖМК». – М., 2002.
6. Романчук А. И., Ивановская В. П., Королев А. Б. и др. Отчет по НИР «Исследовать отдельные элементы технологии добычи и переработки ЖМК». Этап «Разработка и оптимизация технологии получения концентратов цветных металлов из продуктивных растворов выщелачивания ЖМК». – М., 2003.
7. Романчук А. И., Ивановская В. П., Королев А. Б. и др. Отчет по НИР «Исследовать отдельные элементы технологии добычи и переработки ЖМК». Этап «Разработка способов получения марганцевых продуктов различного состава и назначения из продуктивных растворов выщелачивания ЖМК». – М., 2003.
8. Романчук А. И., Ивановская В. П., Королев А. Б. и др. Отчет по НИР «Исследовать отдельные элементы технологии добычи и переработки ЖМК». Книга 1. – М., 2004.
9. Романчук А. И., Ивановская В. П. и др. Технологические испытания пробы глубоководных сульфидов рудопроявления 12° 58’ с. ш. (Ашадзе). Отчет ЦНИГРИ. – М., 2005.
10. Романчук А. И., Кошель Д. Я. Совместная комплексная переработка глубоководных полиметаллических сульфидов и железомарганцевых образований Мирового океана. Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании // Материалы Российского совещания с международным участием 15–16 мая 2018 г.
11. Романчук А. И., Ивановская В. П. Способ переработки подводных железомарганцевых руд. Патент РФ № 2231569, 2004.
12. Романчук А. И., Ивановская В. П. Способ переработки подводных железомарганцевых руд. Патент РФ № 2184163, 2002. – C22B47/00.

Соболев С. Н. [1], (ssn_collection@bk.ru), Арискин А. А. [1, 2], Соболев А. В. [3], Батанова В. Г. [3], Япаскурт В. О. [2], Пшеницын И. В. [1], Николаев Г. С. [1], Грошев Н. Ю. [4]

[1] ГЕОХИ РАН им. В. И. Вернадского, г. Москва,

[2] МГУ им. М. В. Ломоносова , г. Москва,

[3] ISTerre, г. Гренобль, Франция,

[4] КНЦ РАН, г. Апатиты

ЗОНАЛЬНОСТЬ В КУМУЛЯТИВНОМ ОЛИВИНЕ ПО ФОСФОРУ: РЕЖИМ КОМПАКЦИИ И УСКОРЕННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ В ПОРАХ КУМУЛАТОВ

Представлены результаты картирования распределения фосфора в оливине из мезо- и адкумулатов Йоко-Довыренского и Мончегорского расслоенных массивов. Обнаружены скелетные ядра, осциляторная и секториальная зональность, впервые отмечено обогащение фосфором пор залеченных оливином, а так же признаки растворения под давлением.

Ключевые слова: кумулат, зональность оливина, фосфор в оливине, магматический сульфид.

В рассматриваемых объектах (Йоко-Довыренский и Мончегорский расслоенные массивы) нами изучены мезокумулаты с 70–80 об. % оливина (дунит, дунит-гарцбургит) и адкумулаты > 95 об. % кумулятивных фаз (дунит и троктолит). Зональность изучена нами на двух электронных микроанализаторах JEOLJXA-8230 (МГУ) JEOLJXA-iHP200F (ISTerre, Франция). Наиболее высокие концентрации P_2O_5, отмечающие зональность, в зависимости от породы составляют от 0,03 до 0,12 мас. %. При описании зональности оливина по фосфору на картах (рисунки 1, 2) мы используем условные обозначения: *l – (lagoon)* лагуна или залив обедненный фосфором; *s – (skeletal)* скелетный, реберный или пластинчатый рост; *sb – (secondarybranches)* вторичные ветви; *pe – (poreenrichment)* обогащение в порах; *o* – (oscillatory) осцилляторная зональность или концентрические зоны; *sz* – секториальная зональность; *d – (dissolution)* растворение-дорастание; *ps – (pressuresolution)* растворение под давлением. На рис. 2 нами приведена простая схема образования низкопористых кумулатов. Изученные картины зональности свидетельствуют о том, что сразу после накопления кумулятивной толщи (в ряде случаев с аккумуляцией избыточного сульфида) и достижения ею некоторой критической мощности (вероятно порядка сотен метров) начинается компакция. При этом этап основного роста зерен происходит во взвешенном состоянии в магме, в условиях сильно варьирующих переохлаждений, о чем свидетельствует осцилляторная (*o*) (см. рис. 2, а, б, в) и скелетная (*s*) зональность ядер многих зерен (см. рис. 1, а, б, г), а также следы несформированных залеченных расплавных включений (l) (см. рисунки 1, г и 2, б, в). За уменьшение доли интеркумулуса при высокой пористости в большей степени ответственна механическая компакция, с простым пространственным перераспределением зерен. При формировании адкумулатов, ранее предполагалось, что механическая компакция не может объяснить вытеснение почти всего порового расплава, поэтому предполагалась кристаллизация адкумулатов на поверхности кумулуса; композиционная конвекция, поддерживающая постоянство состава поровой жидкости, из-за чего дорастание кумулятивных фаз происходит с постоянным составом. Мы предполагаем альтернативное образование адкумулатов за счет продолжающегося вытеснения силикатного расплава, сопровождающегося растворением зерен под давлением (*ps*) (см. рисунки 1, б и 2, б, в) на участках их контакта в кристаллическом каркасе, как предлагалось в работе [1]. Наличие сходного обогащения пор фосфором (*pe*), как в мезо-, так и адкумулатах, может свидетельствовать о том, что контролирующим фактором образования последних, может быть не столько температурный режим, сколько мощность накопленного кумулуса и соответственно максимальный достигаемый избыточный стресс. Это можно аргументировать тем, что последний этап затвердевания происходит с примерно одинаковой скоростью, при близком тепловом потоке как в мезо-, так и в адкумулатах. При этом на завершающей стадии затвердевания локальной кристаллизации приходится ускоряться, чтобы обеспечить то же выделение теплоты кристаллизации. Интересно, что зарастание пор оливином происходит, как в нормальной котектической ассоциации, так и в ассоциации с ортопироксеном (см. рис. 1, в) т. е., вероятно, в условиях протекания

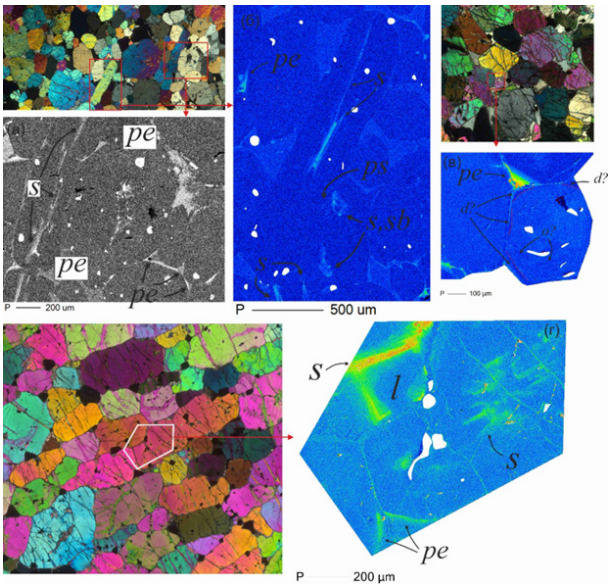


Рис. 1. а, б – дунит из Йоко-Довыренского массива (обр. 09DV501-59, высота в разрезе 255 м.); Мончеплутон: в – дунит-гарцбургит из штольни г. Травяная (обр. 18MP04-1), г – дунит из скв. M20 в Дунитовом блоке (обр. M20-233.4); белые пятна – вырезанные артефакты (Sp)

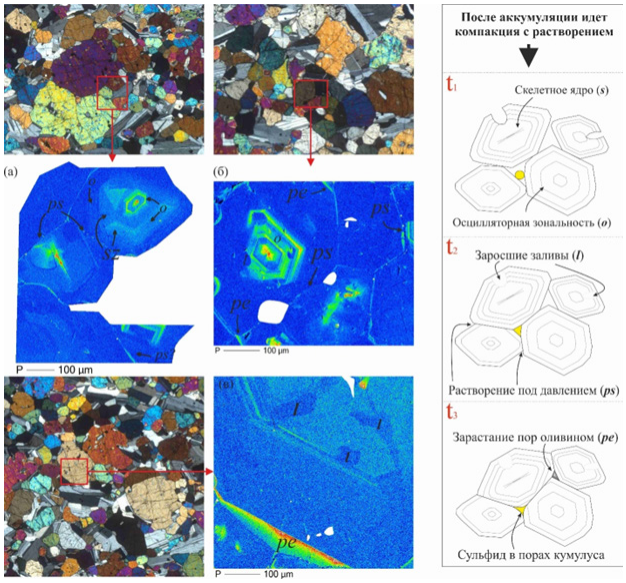


Рис. 2. Троктолит (обр. 16DV705-1, высота в разрезе 427 м.) из разреза «Йоко» в ЮЗ части Йоко-Довыренского массива; белые пятна – вырезанные артефакты (Sp и рельеф)

перитектической реакции. При этом при перитектике градиент обогащения фосфором направлен от зерна в сторону зарастающей поры, а в нормальных условиях (Ol, Ol + Pl котектика) чаще его направление противоположно.

При однонаправленной и, по всей видимости, фокусированной фильтрации силикатной жидкости при ее отжиме имеет место вымывание сульфидного расплава и акцессорного хромита, как мы наблюдаем в дунитах Йоко-Довыренского и Мончегорского массивов. При наличии композиционной конвекции силикатного расплава по всей толще она обеспечила бы стирание неоднородного обогащения кумулуса несмесимым сульфидным расплавом, которое наблюдается в основании толщи мезокумулатовых дунитов Йоко-Довырена. Поэтому предположение о компакции с частичным растворением каркаса и однонаправленной фильтрации расплава вверх являются необходимым условием малосульфидной минерализации. При этом образование адкумулатов на поверхности кумулуса не может объяснить картин зональности, которые, похоже, являются признаками растворения зерен на контактах из-за избыточного давления вышележащего кумулуса.

Исследования частично выполнены в рамках Госзадания ГЕОХИ РАН и гранта РНФ 23-77-01036.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Hunter R. H. Texture Development in Cumulate Rocks (in Layered Intrusions / Ed. R. G. Cawthorn) // Elsevier Science, 1996.

Соцкая О. Т. (sotskaya@neisri.ru), Горячев Н. А. (goryachev@neisri.ru)
СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛОГИИ РУД РАННЕМЕЛОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕТРЕНСКОЕ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

При изучении руд месторождения Ветренское раннемелового возраста был установлен комплекс минералов, не типичных для более ранних орогенных месторождений Яно-Колымского пояса: теллуриды Au и Ag, теллуриды Bi, Co и Ni-Sb-фазы, гринокит. Такая специфика состава руд обусловлена глубинным источником минерализации.

Ключевые слова: раннемеловое оруденение, минералогия, теллуриды Au и Ag, теллуриды Bi, гринокит, месторождение золота Ветренское.

При изучении минерального состава руд и метасоматитов раннемелового месторождения Ветренское для сопоставления с более ранним месторождением Наталка, главным представителем орогенных месторождений Яно-Колымского пояса [1], нами были выявлены необычные для данного типа руд минералы.

Месторождение Ветренское расположено в юго-восточной части Яно-Колымского золотоносного пояса, в зоне Чай-Юрьинского глубинного разлома, разделяющего структуры Иньяли-Дебинского мегасинклинория и Аян-Юряхского антиклинория. Вмещающие породы представлены терригенными отложениями позднего триаса–ранней юры, метаморфизованными до нижней ступени зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Основные рудные тела локализованы в раннеюрских глинистых сланцах с повышенной углеродистостью, глинистостью и титанистостью [2, 3]. На удалении от месторождения по обе стороны от Чай-Юрьинского разлома осадочные толщи прорваны крупными гранитоидными массивами позднеюрского возраста – Корабль (153,4 ± 1,3 млн лет), Право-Обинский (150,9 ± 1,8 млн лет) и Анначаг (149 ± 1,2 млн лет) [5]. Ar-Ar датировка мусковита дала оценку возраста руд Ветренского месторождения в 125,5 млн лет [4], что близко к ранее полученным K-Ar датам 123–105 млн лет [1].

Изучение полированных препаратов выполнено на микроскопе Axioplan (Carl Zeiss), а количественный анализ состава минералов проводился на микроанализаторе Camebax с использованием ЭДС-детектора X-Max-50 (Oxford Instruments), программное обеспечение AZtec, режим Point ID (аналитик – О. Т. Соцкая), в Северо-Восточном центре коллективного пользования СВКНИИ ДВО РАН. Условия проведения измерений: ускоряющее напряжение – 20 кВ, увеличение > 400×. Оптимизацию для количественных вычислений проводили по химически чистой меди каждые 1,5–2 ч. На сканирующем электронном микроскопе EVO-50 с энергодисперсионными спектрометрами (Bruker) и системой рентгеновского микроанализа Quantax Esprite 1.9 анализ выполнялся в точке, с использованием эталонных спектров методом Phi-Rho-Z. Пределы обнаружения содержаний химических элементов не превышают 0,3 мас. %. В качестве стандартов использовали аттестованные природные и синтетические материалы.

В процессе исследований проб месторождения Ветренское помимо арсенопирита, пирита, сфалерита, галенита, буланжерита и разнопробного самородного золота нами были установлены новые для объекта минералы: мельчайшие Ni-Sb-фазы типа ульманнита-брейтгауптита, гринокит и теллуриды Bi [1]. Дальнейшие исследования позволили расширить разнообразие минеральных видов систем Ag-Au-Te и Bi-Te и добавить кобальтин. Наше сообщение посвящено всем указанным находкам.

Таблица. Химический состав минеральных фаз в срастании с сульфидами (среднее, мас. %)

Элемент	Буланжерит *n* = 8	Гринокит *n* = 8	Верлит *n* = 13	Цумоит *n* = 6	Тетрадимит *n* = 7	Гессит *n* = 3	Сильванит *n* = 4	Штютцит *n* = 2	Te-Ag-фазы *n* = 5
Sb	23,90	-	0,24	1,98	-	-	-	-	-
Pb	56,61	3,64	1,93	0,60	-	23,04	4,09	3,70	0,44
S	18,36	22,15	0,91	5,05	4,83	3,39	1,49	0,70	1,18
Bi	2,11	-	60,15	52,79	56,86	-	-	-	-
Cd	-	72,34	-	-	-	-	-	-	-
Te	-	-	30,99	35,00	37,53	28,05	52,77	40,90	78,93 (74,56÷88,85)
Fe	-	-	0,95	1,05	-	-	2,09	1,27	1,18
As	-	-	3,33	4,20	-	-	4,27	2,89	3,25
Ag	-	-	0,68	0,63	-	47,94	13,81	50,16	16,51
Au	-	-	-	-	-	-	21,95	-	-
Σ	100,98	98,12	99,18	101,29	99,22	102,43	100,46	99,62	101,49

Примечание. n – число анализов (небольшое количество определений вызвано трудностями диагностики минералов в процессе микрозондовых исследований); в скобках указаны пределы колебаний элемента. Примесь Fe, Pb, As в отдельных фазах связана с их малыми размерами и нахождением в арсенопирите и галените.

Теллуриды Au и Ag представлены гесситом, штютцитом и сильванитом. Гессит встречается в галените в единичных зернах размером до 2 мкм. Микровключения сильванита размером 2–3 мкм были установлены в галенитовых прожилках в виде единичных выделений. Штютцит находится в тесных срастаниях с теллуридами Bi в галенитовых прожилках и образует микровключения размером до 5 мкм. Помимо гессита и штютцита в галените присутствуют фазы Te-Ag с содержанием Te до 88,85 мас. % (таблица).

Минералы Bi представлены тетрадимитом, верлитом и цумоитом. Тетрадимит установлен в виде единичных включений (7 × 50 мкм) в самородном золоте (891 ‰). В галенитовых прожилках, рассекающих арсенопирит, отмечены минералы, близкие по составу верлиту и цумоиту (см. таблицу), срастающиеся друг с другом и со штютцитом и сильванитом. Во всех случаях размер индивидов указанных минералов не превышает 2–5 мкм, что затрудняет их диагностику.

Ранее на кристалле арсенопирита из тяжелой фракции руды месторождения Ветренское ранее нами были установлены Ni-Sb-фазы типа ульманнита-брейтгауптита (размер 2–13 мкм) [6]. В арсенопирите выявлены тонкие (5–10 мкм) микровключения кобальтина. По составу такой арсенопирит отличается от арсенопирита с галенитовыми прожилками, несущими Bi-Te- и Au-Ag-Te минерализацию, наличием примесей Co (1,74–4,28 мас. %) и Ni (0,93–2,89 мас. %).

Буланжерит встречен в срастании с гринокитом и верлитом, заключенными в галените. Размер зерен буланжерита и гринокита составляет около 50 мкм. В самом буланжерите постоянно отмечается примесь Bi (см. таблицу), а в галените содержится примесь Bi (до 3,5 мас. %) и Se (до 0,4 мас. %).

В рудах месторождения отмечен также высокожелезистый сфалерит (примесь Fe до 10 мас. %), содержащий до 0,86 мас. % Cd, что корреспондирует с находкой гринокита в галените [1].

Присутствие в рудах и метасоматитах месторождения Ветренское выше охарактеризованных минералов необычно для орогенных месторождений золота региона. Это можно объяснить приуроченностью месторождения к зоне влияния крупного Чай-Юрьинского разлома. Выявленная минерализация близка к типичным орогенным месторождениям Монголо-Охотского пояса палеогеодинамической обстановки границ скольжения плит, приуроченных к зоне крупного разлома, где также широко проявлена теллуридно-висмутовая минерализация, наряду с сульфосолями и минералами кобальта и никеля, характеризующая подкоровый источник

флюидов [7]. Расположение Ветренского месторождения в тылу Удско-Мургальской дуги и приуроченность к крупному разлому позволяет принять модель подкорового источника минерализации [8].

Работа выполнена при поддержке РНФ проект № 23-47-00064.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горячев Н. А., Соцкая О. Т., Горячев И. Н., Михалицына Т. И. Минералого-геохимические особенности раннемелового золотого оруденения восточного фланга Яно-Колымского орогенного пояса (Магаданская область, Россия) // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 80–95.
2. Калинин А. И. Титановая минерализация в осадочных породах Ветренского золоторудного месторождения и структура магнитного поля (Северо-Восток СССР) // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 22. – Магадан : Магаданское книжное изд-во, 1975. – С. 149–154.
3. Калинин А. И., Панычев И. А. Геологическое строение и минералогия Ветренского золоторудного месторождения / Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 21. – Магадан : Магаданское книжное издательство, 1974. – С. 142–149.
4. Ньюберри Р. Дж., Лейер П. У., Ганз П. Б., Гончаров В. И., Горячев Н. А., Ворошин С. В. Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма, тектоники и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок ^{40}Ar-^{39}Ar и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород / Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Т. 1. Геология, геохронология и геохимия. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – С. 181–205.
5. Пачерский Н. В., Кряжев С. Г., Наумов Е. А., Десятова Д. Ю., Двуреченская С. С., Самойленко М. В. Новые данные по золото-редкометалльному оруденению Центрально-Колымского золотоносного района: возраст, условия образования, состав, рудоконтролирующие факторы // Руды и металлы. – 2021. – № 2. – С. 68–89.
6. Соцкая О. Т. Минералогические и геохимические особенности месторождений золото-сульфидно-вкрапленного типа в южной части Яно-Колымского пояса : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук / Соцкая Ольга Тарасовна. Магадан, 2017, – 23 с.
7. Goryachev N. A., Borisenko A. S., Vakh A. S., Dril S. I., Gvozdev V. I., Efremov S. V., Spiridonov A. M., Grebennikova A. A., Dobroshevsky K. N. Gold mineralization of large suture zones (on the example of the Mongolo-Okhotsk and Sikhote-Alin orogenic belts, Southeast Russia) / ASEAN Geosciences and Earth Resources for Sustainable Development: 15th Regional Congr. on Geology, Mineral and Energy Resources of Southeast Asia, 16–17 October, 2018. Abs-s. – Hanoi-GEOSEA, 2018. – P. 367–368.
8. Goryachev N. and Fridovsky V. Overview of Early Cretaceous gold mineralization in theorogenic belt of the eastern margin of the Siberian craton: geological and genetic features // Front. Earth Sci. – 2024. – 11:1252729. – doi: 10.3389/ feart.2023.1252729.

Спиридонов Э. М. (ernstspiridon@gmail.com)
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ПАЛЛАДИЯ, ПЛАТИНЫ, ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Значительная часть Pd, Pt, Au, Ag магматогенных норильских сульфидных руд представлена собственными минералами. Преобладающая часть минералов Pd, Pt, Au, Ag – пневматлитовые = флюидно-метасоматические образования, порожденные флюидами, которые выделяли

кристаллизующиеся сульфидные расплавы; среди них нет сульфидов. Значительное количество пневматолитовых минералов благородных металлов – продукты твердофазных превращений ранних интерметаллидов и твердых растворов Pd-Pt-Au-Ag-Cu-Fe-Sn-Sb-Pb-Bi-Te. Выделены 7 стадий формирования таких минералов. Наиболее поздний из пневматолитовых минералов – сперрилит. Ареалы распространения этих минералов шире контуров тел магматических сульфидов. Заметная часть минералов Pd, Pt, Ag – регенерированные, метаморфогенно-гидротермальные, порождены эпигенетичным низкоградным метаморфизмом: сульфиды Pd-Pt и Ag, арсениды Pd, серебро.

Ключевые слова: Норильское рудное поле, послетрапповая пневматолитовая минерализация Pd, Pt, Au, Ag и посттрапповая метаморфогенно-гидротермальная минерализация Pd, Pt, Ag.

Магматогенные Co-Ni-Cu сульфидные руды Норильских месторождений содержат уникальное количество разнообразных минералов Pd, Pt, Au и Ag и их ассоциаций.

Одна из наших главных идей: горные породы и руды Норильского рудного поля сформированы в два этапа. Первый, главный этап – магматический синтрапповый, с пневматолитовым продолжением; второй – эпигенетический, посттрапповый, метаморфогенный. Во время второго этапа первичные горные породы и руды в тектонизированных участках были существенно преобразованы, что резко усложнило минеральный состав протолитов и технологию переработки руд. Рассмотрена эволюция руд при процессах магматической кристаллизации, субсолидусных твердофазных превращениях, пневматолитовых процессах, эпигенетическом низкоградном метаморфизме.

Несмотря на длительную историю изучения [1–18, 23, 25, 28], многие стороны сложной и длительной, многоэтапной минерализации благородных металлов изучены недостаточно. В докладе дана уточненная последовательность формирования минералов благородных металлов, рассмотрены их парагенетические ассоциации, особенности макро- и микроэлементного состава ведущих минералов Pd пневматолитового генезиса (паоловит, соболевскит, атокит, таймырит, звягинцевит, полярит, плюмбополярит, плюмбопалладинит, стибиопалладинит, маякит, паларстанид, мертиит, изомертиит, псевдомертиит, меньшиковит, станнопалладинит, фрудит, кабриит, котульскит, садбериит, майчнерит) и метаморфогенно-гидротермальных (высоцкит, паоловит, палладоарсенид, винсентит, теларгпалит, палладий, малышевит, Pd-содержащие орселит, брейтгауптит и маухерит); минералов Pt пневматолитового генезиса (тетраферроплатина, ферроплатина, рустенбургит, инсизваит, геверсит, нигглиит, изоферроплатина, мончеит, масловит, татьянаит, туламинит, томамаеит, сперрилит) и метаморфогенно-гидротермальных (куперит, брэггит, хараелахит); минералов Au пневматолитового генезиса (золото, электрум, кюстелит, аурикуприд, тетрааурикуприд, петцит) и метаморфогенно-гидротермальных (айтенбогардтит); минералов Ag пневматолитового генезиса (гессит, аргентопентландит) и метаморфогенно-гидротермальных (аргентопентландит, серебро, золотосодержащее серебро, ртутистое серебро); параметры и условия их формирования. Намечены элементы латеральной и вертикальной зональности минерализации благородных металлов в Норильском рудном поле. Парагенез щелочных сульфидов калия (джерфишерит) и таллия (талфенисит) со многими минералами Pd, Pt, Au-Ag – однозначное свидетельство пневматолитового генезиса этих минералов. Доказан метаморфогенно-гидротермальный генезис голотипа высоцкита. Впервые установлен метаморфогенно-гидротермальный генетический тип звягинцевита. Показано, что по многим особенностям Норильские месторождения отличны от Бушвелдских, что Норильск – антипод Бушвелда [19–22, 26, 27].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бегизов В. Д., Завьялов Е. Н., Павлов Е. Г. Паларстанид $Pd_8(Sn,As)_3$ – новый минерал // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1981. – Ч. 110. – Вып. 4. – С. 487–492.
2. Бегизов В. Д., Завьялов Е. Н., Павлов Е. Г. Новые данные о таймырите $(Pd,Cu,Pt)_3Sn$ из Cu-Ni руд Талнахского месторождения // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1982. – Ч. 111. – Вып. 1. – С. 78–83.

3. Генкин А. Д., Дистлер В. В., Филимонова А. А., Евстигнеева Т. Л., Коваленкер В. А., Вяльсов Л. Н., Лапутина И. П., Смирнов А. В., Гроховская Т. Л. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. – М. : Наука, 1981. – 234 с.
4. Генкин А. Д., Евстигнеева Т. Л., Вяльсов Л. Н. Паоловит Pd_2Sn - новый минерал из медно-никелевых сульфидных руд // Геология рудных месторождений. –1974. – Т. 16. – № 1. – С. 98–103.
5. Генкин А. Д., Евстигнеева Т. Л., Вяльсов Л. Н. Полярит $Pd(Pb,Bi)_2$ – новый минерал из медно-никелевых сульфидных руд // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1969. – Ч. 98. – Вып. – 6. – С. 708–715.
6. Генкин А. Д., Евстигнеева Т. Л., Вяльсов Л. Н. Маякит PdNiAs – новый минерал из медно-никелевых сульфидных руд // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1976. – Ч. 105. – Вып. 6. – С. 698–703.
7. Генкин А. Д., Муравьева И. В., Тронева Н. В. Звягинцевит, природное интерметаллическое соединение Pd, Pt, Pb и Sn // Геология рудных месторождений. – 1966. – Т. 8. – № 1. – С. 94–99.
8. Дистлер В. В., Служеникин С. Ф., Кабри Л. Дж., Кнауф В. В. Платиновые руды Норильских расслоенных интрузивов: соотношение магматического и флюидного концентрирования благородных металлов // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41. – № 3. – С. 241–265.
9. Евстигнеева Т. Л., Генкин А. Д. Платинометальная минерализация норильских медно-никелевых руд: природные и экспериментальные данные. В кн.: Геология медно-никелевых месторождений СССР. – Л. : Наука, 1990. – С. 98–106.
10. Евстигнеева Т. Л., Генкин А. Д., Коваленкер В. А. Новый висмутид палладия – соболевскит и номенклатура минералов системы PdBi - PdTe - PdSb // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1975. – Ч. 104. – Вып. 5. – С. 568–579.
11. Евстигнеева Т. Л., Некрасов И. Я. Условия образования оловосодержащих минералов системы Pd-Cu-Sn и её частных сечений // Олово в магматическом и послемагматическом процессах. М. : Наука, 1984. – С. 143–169.
12. Изоитко В. М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб. : Наука, 1997. – 582 с.
13. Коваленкер В. А., Бегизов В. Д., Евстигнеева Т. Л, Вяльсов Л. Н. Масловит PtBiTe – новый минерал из Октябрьского медно-никелевого месторождения // Геология рудных месторождений. – 1979. – Т. 21. – № 3. – С. 94–104.
14. Кулагов Э. А. Особенности минерального состава руд месторождения Норильск - I: Дисс. канд. Геол.-мин. наук. М. : МГУ, 1968. 239 с.
15. Масленицкий И. Н., Фалалеев П. В., Искюль Е. В. Оловосодержащие минералы платиновой группы в сульфидных Cu-Ni рудах // Доклады АН СССР. – 1947. – Т. 58. – С. 1137–1140.
16. Рудашевский Н. С., Карпенков А. М., Шипова Г. С., Шишкин Н. Н. Талфенисит – таллиевый аналог джерфишерита // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1979. – Ч. 108. – С. 696–701.
17. Рудашевский Н. С., Митенков Г. А., Карпенков А. М., Шишкин Н. Н. Серебросодержащий пентландит $Ag(Fe,Ni)_8S_8$ - особый минеральный вид, аргентопентландит // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1977. –Ч. 106. – Вып. 6. – С. 688–691.
18. Служеникин С. Ф., Евстигнеева Т. Л., Мохов Ф. В. Минералогия системы $PtBi_2$- $PtTe_2$- $PtSb_2$- $PdTe_2$-$PdBi_2$ в платино-медно-никелевых и платиновых рудах Норильского Района // Роль минералогии в познании процессов рудообразования. – М. : ИГЕМ РАН, 2007. – С. 291–294.
19. Спиридонов Э. М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – С. 1356–1378.
20. Спиридонов Э. М., Беляков С. Н., Иванова Ю. А., Егоров К. В., Наумов Д. И., Япаскурт О. В. Хиббингит и марганцовистый хиббингит из метаморфизованных пентландит- путоранитовых руд глубоких горизонтов Октябрьского месторождения Норильского рудного поля // Записки Российского минералогического общества. – 2020. – Ч. 149. – Вып. 6. – С. 32-42.
21. Спиридонов Э. М., Голубев В. Н., Гриценко Ю. Д. Изотопный состав свинца галенита, алтаита и интерметаллидов палладия сульфидных руд Норильского рудного поля // Геохимия. – 2010. – № 8. – С. 1–10.

22. Спиридонов Э. М., Кулагов Э. А., Куликова И. М. Платинисто-палладистый тетрааурикуприд и ассоциирующие минералы в рудах месторождения Норильск-I // Геология рудных месторождений. – 2003. – Т. 45. – № 3. – С. 267–277.
23. Barkov A.Y., Martin R. F., Poirier G., Tarkian M., Pachomovskii Y. A., Men′shikov Yu. P. Tatyanaite, a new platinum-group mineral, the Pt-analog of taimyrite, from the Noril′sk complex (northern Siberia, Russia) // European Journal of Mineralogy. – 2000. – Vol. – 12. – P. 391–396.
24. Kozyrev S. M., Komarova M. Z., Emelina L. N., Oleshkevich O. I., Yakovleva O. A., Lyalinov D. V., Maximov V. I. The mineralogy and behaviour of PGM during processing of the Noril'sk-Talnakh PGE-Cu-Ni ores // Canad. Inst. Mining. Metall. Petrol. – 2002. – P. 757–791.
25. Sluzhenikin S. F., Mokhov A. V. Gold and silver in PGE–Cu–Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia // Mineralium Deposita. – 2015. – Vol. 50. – P. 465–492.
26. Spiridonov E. M., Belyakov S. N., Korotaeva N. N., Egorov K. V., Ivanova Yu. A., Naumov D. I., Serova A. A. Menshikovite $Pd_3Ni_2As_3$ and associating minerals of sulfide ores at the Eastern Flank of the Oktyabrsky deposit (Norilsk Ore Field) // Moscow University Geology Bulletin. – 2020. – Vol. 75. – No. 5. – P. 472–480.
27. Spiridonov E., Serova A., Belyakov S., Sereda E., Tuschentsova I. Gold as indicator of the formation history of noble-metal minerals in Noril'sk sulfide ore. Northern Siberia, Russia // 13 th Intern. Platinum Symp. Polokwane, South Africa. – 2018. – P. 178-179.
28. Vymazalová A., Laufek F., Sluzenikin S. F. Norilskite, $(Pd,Ag)_7Pb_4$, a new mineral from the Noril′sk - Talnakh deposits, Russia // Mineralogical Magazine – 2017. – Vol. – 81. – P. 531–541.

Старостин И. А. (starostin@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ КЫЗЫКЧАДРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (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.

Кызыкчадрское рудное поле (Республика Тыва) с наиболее перспективным к настоящему времени объектом – потенциально средним по масштабам золото-молибден-медно-порфировым месторождением Кызык-Чадр (апробированные прогнозные ресурсы кат. $P_1 + P_2$: Cu – 870 тыс. т, Mo – 40 тыс. т, Au – 40 т, Ag – 200 т) – 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 кызыкчадрского интрузивного комплекса ($Є_{2-3}$), прорывающего метаморфизованную вулканогенно-осадочную толщу ($Є_1$) [2].

Золотосодержащая молибден-медно-порфировая минерализованная зона месторождения Кызык-Чадр локализована в экзо-эндоконтакте крутопадающего дайкообразного тела, сложенного несколькими разновидностями (фазами внедрения) пород порфировой структуры, в т. ч. гранодиорит-порфирами, кварцевыми диоритовыми порфиритами, диоритовыми порфирита-

ми и кварцевыми порфирами гранит-порфирового состава, отнесенными к кызыкчадрскому интрузивному комплексу («порфировый интрузив») [1]. Порфировый интрузив прорывает катаклазированные среднезернистые граниты того же комплекса и вытянут в субширотном направлении более чем на 2300 м при горизонтальной мощности до нескольких сотен метров и протяженности по падению более 500 м. Штокверковое медно-молибденовое оруденение и сопровождающие его кварц-полевошпатовые и кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты прослежены бурением на глубину до 500 м, в ряде случаев без признаков выклинивания.

Метасоматиты интенсивно пиритизированы. Кварцевые, реже кварц-карбонатные ветвящиеся прожилки часто образуют зоны интенсивного окварцевания мощностью 2,5–20 м. Прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация представлена халькопиритом, молибденитом, пиритом, в подчиненных количествах присутствуют блеклые руды, борнит, халькозин, галенит, сфалерит, редко – субмикроскопические выделения самородного золота. По мере удаления от контакта порфирового тела интенсивность рудной минерализации резко снижается.

Особенностью минерализованной зоны месторождения является интенсивная тектоническая проработка оруденелых пород (катаклаз, милонитизация). Лишь в отдельных блоках сохраняются структурно-текстурные признаки, позволяющие идентифицировать породы главных и порфировых фаз кызыкчадрского комплекса. Характерны комплексный медно-молибденовый с золотом состав руд и сравнительно невысокие средние содержания меди (первые–десятые доли процента) и молибдена (тысячные–сотые доли процента).

Молибден-медное оруденение и сопровождающий его метасоматический ореол проявляются в геофизических и геохимических полях: пиритизированные кварц-серицитовые метасоматиты медно-порфирового месторождения отличаются повышенными значениями кажущейся поляризуемости, рудные тела маркируются крупными комплексными вторичными ореолами рассеяния меди, молибдена и других элементов-спутников.

Зональность метасоматических изменений в пределах участка месторождения заключается в смене от центра к периферии следующих генерализованных метасоматических зон: калиевой, филлизитовой и пропилитовой (с внутренней и внешней подзонами) [1].

В практике геолого-поисковых работ все большее внимание уделяется разработке минералого-геохимических методик, основанных на «векторном» принципе – определении закономерностей в изменении содержаний элементов-микропримесей в составе минералов-индикаторов, а также других типоморфных свойств таких минералов, по направлению к промышленному оруденению. Такие вариации состава индикаторных минералов в объеме рудовмещающего пространства, которые устанавливаются только с применением высокоточного локального микроанализа, рассматриваются в качестве «скрытой» минералого-геохимической зональности (Н. И. Еремин, 1977).

В целях выявления элементов «скрытой» зональности для месторождения Кызык-Чадр автором применен минералого-геохимический метод определение вариаций в пространстве месторождения концентраций микропримесей в сульфидах методом масс-спектрометрии с лазерной абляцией (LA-ICP-MC). Изучение распределения в пространстве вариаций состава микропримесей в пиритах и халькопиритах выполнено с использованием масс-спектрометрического анализа с индукционно-связанной плазмой с системой лазерной абляции (LA-ICP-MS). Определения выполнены В. Д. Абрамовой (ИГЕМ РАН). Проанализированы и обработаны данные по 107 образцам.

Автором были составлены моноэлементные разрезы в продольном сечении месторождения (Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Bi, Mo, Ag, As, Au, МПГ). На разрезах отмечены вариации содержаний отдельных элементов-примесей в пиритах и халькопиритах в объеме минерализованных зон.

Интерпретация полученных данных с использованием цифровых методик обработки позволила выявить закономерные черты зональности распределения микропримесей основных элементов индикаторов в объеме месторождения. Отмечено, что от центра к периферии рудного тела в пиритах отчетливо снижаются содержания меди, серебра, молибдена и соотношения серебра к кобальту, а также увеличиваются доли никеля, мышьяка и соотношения кобальта к меди, а в халькопиритах уменьшаются содержания кобальта, молибдена, цинка, суммы платиноидов.

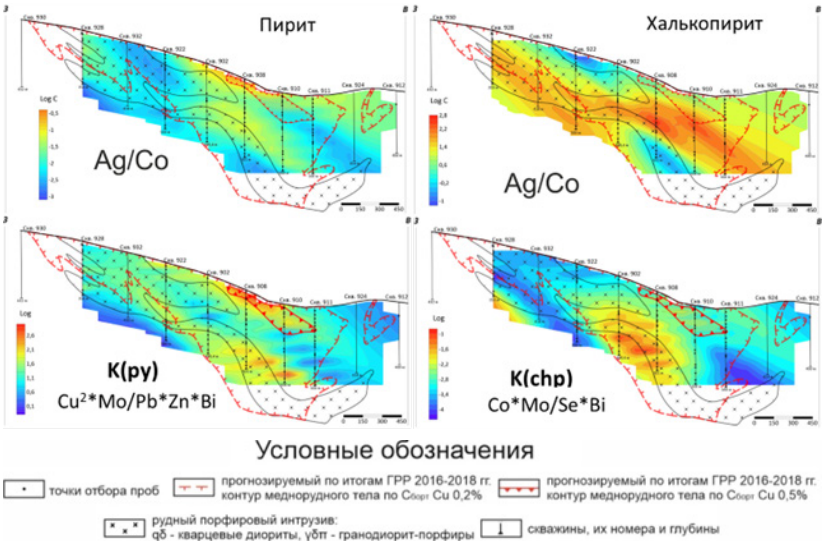


Рисунок. Модель «скрытой» минералого-геохимической зональности месторождения Кызык-Чадр по соотношению элементов-микропримесей в пиритах и халькопиритах:
вариации отношения Ag/Co и комплексных (мультипликативных) коэффициентов зональности: K(py) = Cu^2·Mo/Pb·Zn·Bi (для пирита) и K(chp) = Co·Mo/Se·Bi (для халькопирита) (по данным LA-ICP-MS)

Наибольшей контрастностью характеризуются разработанные комплексные (мультипликативные) коэффициенты зональности: K(пи) = Cu^2·Mo/Pb·Zn·Bi (для пирита) и K(хп) = Co·Mo /Se·Bi (для халькопирита), значения которых последовательно уменьшаются от центра к периферии рудоносного штокверка Кызык-Чадр (рисунок). В числителе коэффициентов зональности помещены элементы, характерные для центральных частей месторождения, а в знаменателе – для фланговых частей.

Выявленные тенденции, установленные с использованием масс-спектрометрии с лазерной абляцией, коррелируют с установленной традиционными методами концентрической минералогической рудно-метасоматической зональностью месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Андреев А. В., Гирфанов М. М., Старостин И. А. и др. Геологическое строение, рудно-метасоматическая и минералого-геохимическая зональность золотосодержащего молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр, Республика Тыва // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 57–76.
2. Старостин И. А., Черных А. И., Гирфанов М. М. Палеогеотектоническая позиция Кызык-чадрского медно-порфирового рудного поля (Республика Тыва) // Руды и металлы. – 2023. – № 4. – С. 52–73.

Столяренко В. В. (stolyarenko@tsnigri.ru),
Алферова В. А. (alferova@tsnigri.ru), Минаева С. В. (minaeva@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ПОЗИЦИИ МУРУНСКОГО РУДНОГО УЗЛА В ПРЕДЕЛАХ ЧАРО-ОЛЕКМИНСКОЙ ГРАНИТ-ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ ОБЛАСТИ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Рассмотрены особенности позиции Мурунского рудного узла (РУ) с проявленным мезозойским субщелочным магматизмом, с которым, как правило, ассоциирует золотое оруденение. Узел расположен на границе с Ималыко-Тарынахским зеленокаменным поясом, в строении

которого известны коматиит-базальтовая и джеспилит-базальтовая формации с повышенной фоновой золотоносностью. Важную роль в формировании значимого золотого оруденения Мурунского РУ в процессе мезозойской ТМА могло играть совмещение двух факторов: вынос золота из пород рамы с повышенными кларковыми содержаниями золота; наличие интрузивных субщелочных золотосодержащих комплексов мезозойского этапа ТМА.

Ключевые слова: рудный узел, зеленокаменные пояса, коматииты, железистые кварциты, золото.

Территория, в пределах которой выделяется Мурунский рудный узел, характеризуется группой субщелочных массивов, образованных в процессе мезозойской ТМА и проявленных как в породах архейского фундамента, так и в структурах платформенного чехла.

Мурунский РУ, расположенный на северо-западной окраине Алданского щита в области сочленения Чаро-Олекминской гранит-зеленокаменной области (ГЗО) с Березовским прогибом, представляет собой купольно-сводовое вулкано-плутоническое поднятие на пересечении Атбастах-Торгойского, Гольцового и Кеме-Кебектинского глубинных разломов, являющихся основными магмаподводящими каналами.

Характеризуемый рудный узел включает несколько самостоятельных щелочных массивов: Большемурунский, Маломурунский и Догалдынский. На севере, западе и востоке РУ щелочные породы комплекса прорывают позднепротерозойские терригенные и карбонатные породы, на юге – архейские и раннепротерозойские кристаллические сланцы и гнейсы.

Минерагения узла связана с докембрийским и мезозойским этапами рудообразования и определяется месторождениями железных руд, урана и проявлениями рудного золота с апробированными прогнозными ресурсами категории P_1 – 16 т и P_2 – 10 т.

На современном эрозионном срезе геологическое строение Мурунского РУ характеризуется многоярусным строением. Нижний структурный ярус представлен образованиями кристаллического фундамента, сложенного гранитоидно-метаморфическими образованиями Чарско-Олекминской ГЗО. Последние представлены толщами нижнеархейских тоналит-трондьемитовых «серых гнейсов» и верхнеархейских зеленокаменных пород, относящихся к северному фрагменту Ималыко-Тарынахского зеленокаменного пояса (ЗКП), который в зоне Атбастах-Торгойского разлома «подныривает» под территорию Мурунского РУ.

На большей части площади фундамент с угловым и стратиграфическим несогласием перекрыт верхнепротерозойскими и нижнепалеозойскими терригенными, терригенно-карбонатными отложениями платформенного чехла.

Интрузивные образования мезозоя в пределах региона характеризуются наиболее проявленным типом щелочного магматизма, связанным с исключительно масштабным мезозойским циклом ТМА региона, которая проявилась в том числе в виде блоковых движений.

Общая протяженность Ималыко-Тарынахского ЗКП составляет около 320 км, а его ширина изменяется от 10 до 13 км. На юге он перекрыт четвертичными терригенными отложениями Чарской впадины, а на севере – карбонатно-терригенными отложениями осадочного чехла Сибирской платформы, под которыми, по данным геофизических исследований, он прослежен на расстояние около 200 км, практически до р. Лена [6]. Необходимо также отметить, что в процессе бурения в центральной части Мурунского рудного узла, на площади с проявленным мезозойским субщелочным магматизмом, бурением были вскрыты верхнеархейские зеленокаменные породы с коматиитами. Последние, как правило, отличаются повышенной фоновой золотоносностью.

В пределах Чаро-Олекминской ГЗО различными авторами выделяются от шести до восьми зеленокаменных поясов субмеридионального простирания. Пояса разделены тоналит-трондьемитовыми ортогнейсами и состоят из цепочек локальных структур, сложенных метаморфизованными в эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фациях вулканогенно-терригенными образованиями борсалинской и олондинской серий (с метакоматиитами, железистыми кварцитами), прорванными интрузиями метаперидотитовой и метагаббровой, тоналит-плагиогранитовой формаций позднего архея [3] (Росгеолфонд. Геологический отчет №18102, 2013, Л. 976). По своим характеристикам эти пояса близки зеленокаменным поясам мира, для которых ха-

рактерно широкое развитие в их пределах магматитов коматиитовой серии, неизвестных вне пределов таких структур и отчетливо специализированных на никель, вплоть до образования в связи с ними промышленных месторождений сульфидных платиносодержащих (медно)-никелевых руд. Кроме сульфидного никеля с зеленокаменными поясами ассоциируют золоторудные месторождения различных масштабов в связи с различными рудовмещающими формациями [4] (ЦНИГРИ. Геологический отчет №10747, 2007, Л. 237).

По обстановкам нахождения месторождений золота в зеленокаменных поясах выделено четыре основных типа:

• в субвулканических, лавовых и туфогенных фациях дацит-андезит-базальтовой и дацит-базальтовой формаций (Поркьюпайн–Хемло);

• в поствулканических малых интрузиях гранодиорит-диорит-сиенитового состава (Керкленд-Лейк);

• в лавовых, субвулканических и туфогенных фациях коматиитов коматиит-базальтовой формации (Шеба);

• в горизонтах железистых кварцитов сульфидной и карбонатной фаций джеспелит-базальтовой формации (Вубачикве).

Не вдаваясь в подробный разбор всех обстановок нахождения месторождений золота в ЗКП мира, отметим, что в пределах Чаро-Олекминской ГЗО в ряде структур выявлены коматиит-базальтовая и джеспелит-базальтовая формации, потенциально перспективные в отношении золотого оруденения.

Поскольку именно коматиитовый магматизм фиксирует в архейских структурах помимо никеленосности и повышенную золотоносность, вплоть до образования месторождений золота, их продуктивность может быть оценена по интенсивности этого магматизма.

Количественные соотношения вулканогенных и терригенных пород в ЗКП позволяют разделить их на три группы – *существенно вулканогенные, терригенно-вулканогенные и терригенные.*

ЗКП терригенно-вулканогенной группы в пределах Чаро-Олекминской ГЗО наиболее многочисленны. В разрезе структур выделяются два подразделения – нижний вулканогенный комплекс мощностью от 200 до 600 м, сложенный апобазальтовыми амфиболитами, коматиит-базальтами и сланцами с редкими линзовидно-пластовыми маломощными телами измененных ультрамафитов; и верхний терригенный мощностью более 1500 м, сложенный различными гнейсами, в том числе высокоглиноземистыми, и железистыми кварцитами. Коматиитовые магматиты в этой группе ЗКП зафиксированы в *Олекмо-Ханинском и Ималыко-Тарынахском ЗКП.*

ЗКП вулканогенной группы менее многочисленны. В их разрезе также выделяются два подразделения – нижний вулканогенный комплекс мощностью более 2000 м, сложенный метабазальтами, метаандезитобазальтами и метаандезитами, в состав комплекса входят также измененные ультрамафиты – образования коматиитовой серии; и верхний вулканогенный комплекс, сложенный метаандезитами и метадацитами. В *Токко-Ханинском* ЗКП в нижнем комплексе установлена мощная толща коматиитов – коматиитовых базальтов и перидотитовых коматиитов, а также массивы интрузивной фации коматиитовой серии [3, 8] (ЦНИГРИ. Геологический отчет №10747, 2007, Л. 237).

ЗКП терригенной группы развиты широко и сложены метаосадочными породами с проявлениями вулканитов среднего и кислого составов.

Особенности «накопления» золота на современном эрозионном уровне находятся в тесной взаимосвязи с историей геолого-тектонического развития площади. В целом, согласно наиболее распространенной точке зрения, в истории геолого-тектонического развития данной территории выделяются три основных этапа накопления золота: раннеархейский этап, конец позднего архея и мезозойский (ЦНИГРИ. Геологический отчет №10713, 2007, Л. 450).

Первым и наиболее крупным этапом накопления рассеянного золота на поверхности протоплатформы считается ранний архей. Оно связано с вязкопластичным рифтингом в условиях преобладающего растяжения, что привело к образованию глубинных разрывов, по которым поступала выплавленная из перидотитовой мантии высокотемпературная базит-ультрабазитовая магма (насыщенная рудным компонентом и рудными флюидами) и извергалась в мелководных

тектонически активных бассейнах, образуя лавовые равнины коматиит-толеитового состава. Кларковое содержание золота в них повышено до 7–12 мг/т [5] (ЦНИГРИ. Геологический отчет №10747, 2007, Л. 237). В результате извержения высокотемпературных базит-ультрабазитовых магм на поверхности протоплатформы сформировался мощный комплекс лав с повышенным и высоким кларковым содержанием золота.

Последующий этап переконцентрации золота в раннем архее связан с возникновением тоналит-трондьемитовых расплавов, которые формировали «серогнейсовый слой» в виде гранито-гнейсовых куполов и интрузий. Они прорывали и деформировали вулканогенные толщи коматиит-толеитового состава. Так как области гранитизации (гранито-гнейсовые купола и интрузии) характеризуются литофильной первичной специализацией и развиваются в условиях преобладающего сжатия, то из них происходил активный вынос золота и сопутствующих элементов в соседние зеленокаменные прогибы и апикальные части, что привело к дополнительному обогащению зеленокаменных поясов золотом.

Второй, наиболее интенсивный этап золотонакопления, на описываемой площади произошел в позднем архее и связан с дифференциацией корового и мантийного вещества, которая привела к концентрированию в пределах ЗКП рудоносных комплексов с крупными железорудными скоплениями джеспилит-базальтовой формации, проявлений благороднометалльного оруденения в базитовых комплексах и коматиит-базальтовых образованиях. Эти образования выделены в Алданской субпровинции в составе Чарско-Олекминской ГЗО, включающей в том числе позднеархейскую Чарско-Токкинскую железорудную зону (РЗ) на северном фланге Ималыко-Тарынахского ЗКП, в пределах площадей развития рудоносных и рудовмещающих вулканогенно-осадочных образований с железистыми кварцитами. Чарско-Токкинская РЗ характеризуются малыми, средними и крупными месторождениями железа (Ималыкское, Горкитское, Тарынахское и др.) в железистых кварцитах, которые являются в т. ч. золотосодержащими [3].

Следующим и одним из важнейших этапов золотонакопления и переотложения золота, является мезозойский этап ТМА. В этот этап за счет действия крупного восходящего мантийного плюма, произошло обновление древних и заложение новых диагональных и ортогональных разломных систем. По этим наиболее проницаемым зонам произошло внедрение глубинных мантийных расплавов с образованием разноуровневых палеоочагов. Мезозойский этап ТМА в пределах фундамента выражен в формировании серии разномасштабных субщелочных массивов. Основными среди которых являются несколько самостоятельных субщелочных массивов – Большемурунский, Маломурунский и Догалдынский, образующих вулкано-плутоническое поднятие на пересечении глубинных разломов.

На основании исследований многих ученых [1–2, 7] традиционно гранитоидные магматические образования, применительно к оруденению, могут быть разделены условно на два основных типа:

- выступают в роле источников энергии и флюидов, необходимых для выноса золота из пород вмещающей рамы и дальнейшего рудообразования;
- являются источниками золота и сопутствующих рудообразующих элементов.

Как первый тип интрузий они являются поставщиками энергии и флюидов для сбора, переотложения и концентрации рассеянного золота из различных архейских вышеописанных комплексов, отличающихся высокими кларковыми содержаниями золота.

Как второй тип, они являются источником золота, т. е. рудоматеринскими породами, так как на основании изучения петрологами мезозойских комплексов были сделаны выводы о том, что данные комплексы являются дифференциатами базальтоидной магмы, т. е. их источником является мантийное вещество, насыщенное золотом.

Для Мурунского рудного узла, локализованного на границе с Ималыко-Тарынахским ЗКП, характерно проявление этих двух факторов, которые определяют возможность формирования значимого золотого оруденения:

- наличие рудоматеринских толщ, т. е. комплексов пород, с повышенными кларковыми содержаниями золота (куда относятся коматииты коматиит-базальтовой формации и железистые кварциты джеспелит-базальтовой формации);
- наличие интрузивных комплексов мезозойского этапа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Бойцов В. Е., Пилипенко Г. Н., Дорожкина Л. А. Модель формирования комплексных золотоурановых месторождений Центрально-Алданского рудного района // Известия вузов. Геология и разведка. – 2006. – № 2. – С. 23–31.
2. Гадиятов В. Г., Бирюлькин Г. В. Фоновая золотоносность докембрийских зеленокаменных образований Темулякит-Тунгурчинской складчатой зоны запада Алданского щита // Геохимия. – 1991. – № 6. – С. 902–905.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-50 – Бодайбо. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. – 612 с.
4. Дерюгин Ю. Н., Ручкин Г. В. Методические рекомендации по прогнозированию и поискам месторождений золота в раннедокембрийских зеленокаменных поясах. – М. : ЦНИГРИ, 1988. – 69 с.
5. Дятлова И. Н. Новое в геологическом строении и стратиграфии Куртушибинской структурно-фациальной зоны Западного Саяна в пределах Верхнеамыльского золоторудного узла // Природные ресурсы, среда и общество. – 2022. – № 3 (15). – С. 21–36.
6. Мокшанцев К. Б., Петров А. Ф. Тектоническая природа, распространенность и формации докембрийских железосодержащих образований восточной части Сибирской платформы / Формации железистых кварцитов Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск : ИГГ СО АН СССР, 1977. – С. 47–57.
7. Петров А. Ф. Докембрийские орогенные комплексы запада Алданского щита. – Новосибирск : Наука, 1976. – 119 с.
8. Пухтель И. С., Журавлев Д. З., Самсонов А. В. Петрология и геохимия коматиитов и метабазальтов тунгурчинского зеленокаменного пояса. Алданский щит // Геохимия. – 1992. – № 4. – С. 544–559.

Сулимов А. Ф. [1, 2] **(sulimiy@gmail.com)**
[1] МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва,
[2] ООО «Управление горными проектами», г. Хабаровск

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ТЫРСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

На основании данных, полученных в ходе поисково-оценочных работ, проведено сравнение рудопроявления Тырское с известными золото-медно-порфировыми объектами Нижне-Амурского района и дана оценка перспективности Тырского рудопроявления.

Ключевые слова: Тырское рудопроявление, медно-порфировые месторождения, золото, медь.

Тырское рудопроявление расположено на правом берегу р. Амур на территории Ульчского района Хабаровского края в 2 км севернее пос. Тыр. В структурном плане рудопроявление находится в северной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогена и глобально относится к северо-восточной части Журавлевско-Амурского террейна, являющегося фрагментом окраинного синсдвигового турбидитового бассейна.

Рудопроявление Тырское расположено в пределах известного Нижне-Амурского рудно-россыпного района, который характеризуется золоторудной специализацией – в пределах района известны такие золоторудные месторождения, как Многовершинное, Чульбаткан, Белая Гора, Полянка и пр. Район также богат на золото-(молибден)-медно-порфировые объекты, к ним относятся рудопроявления Ковриженское, Горбатый, Таракановка и Гряда Каменистая [3, 4].

В геологическом строении района основную роль играют терригенные и вулканогенные отложения верхнего мела, прорванные позднемеловыми–палеогеновыми интрузиями гранит-гранодиоритового состава. Гидротермально-метасоматические изменения на рудопроявлении относятся к двум основным типам – калишпатизация и биотитизация (в центральных частях даек), серицитизация и окварцевание (в эндо- и экзоконтактах даек, преимущественно во вмещающих породах). Во внешних участках рудопроявления развиты поля пропилитов.

Оруденение локализовано в экзоконтакте даек диоритового состава позднемелового нижнеамурского комплекса с терригенными породами верхнего мела (песчаники и алевролиты). Рудное тело представляет собой штокверк, приуроченный к зоне кварц-серицитового метасоматоза. Основными рудными минералами (видимыми) являются халькопирит и пирит, представленные в виде прожилков и вкрапленников в породе, реже встречаются молибденит, борнит и блеклая руда.

В ходе поисково-оценочных работ 2013–2015 гг. на рудопроявлении Тырское выявлена и подтверждена золото-медная минерализация, распространенная как по площади (6 км^2), так и на глубину.

В результате литогеохимических работ была выявлена сильноконтрастная комплексная (Au-Cu-Mo) аномалия ВСВ простирания протяженностью 4 км при ширине более 2 км. Данные площадной магниторазведки указывают на наличие в пределах геохимических ореолов «роя даек», выделяемого по линейным участкам с положительной магнитной индукцией.

Основными полезными компонентами руд Тырского рудопроявления, исходя из результатов анализов (ICP-MS и пробирный на золото) керна скважин, являются медь (среднее содержание по скважинам 0,09 %, максимальное – 1,2 %) и золото (среднее содержание по скважинам 0,13 г/т, максимальное – 13,61 г/т). Содержания молибдена и полиметаллов незначительны – несколько десятков г/т. Оцененные ресурсы рудопроявления составляют 0,4 млн т медного эквивалента.

Результаты работ позволяют провести сравнение Тырского рудопроявления с порфировыми объектами района, такими, как крупное золото-медно-порфировое месторождение Малмыж и рудопроявление Понийское, расположенными в Комсомольском рудном районе. Территориальный разброс данных рудных районов обусловлен левосторонним Центральным Сихотэ-Алиньским сдвигом (амплитуда горизонтального смещения 120–200 км) [1, 2].

Упорядоченное, цепочечное распределение рудоконтролирующих субинтрузивных и гипабиссальных тел позволяет выделить ряд рудных зон, объединяющих рудопроявления преимущественно одной формационной принадлежности. В районе Тырского рудопроявления прослеживаются три рудных зоны, последовательно наращивающих гипотетический разрез рудно-магматической системы: Кабачинская, объединяющая проявления золото-сульфидно-кварцевой формации; Тырская, объединяющая проявления медно-порфировой формации; Дыльменская, объединяющая близповерхностные проявления золото-адуляр-кварцевой формации [3]. Тильбенское свинцово-цинковое рудопроявление, находящееся к северо-востоку от Тырского, подтверждает наличие геохимической зональности, связанной с развитием гидротермальной системы. Характерная для порфировых объектов зональность также проявляется в полях метасоматитов, где кварц-серицитовый метасоматоз стержневой зоны сменяется пропилитами на внешних участках рудопроявления.

Все это может указывать на перспективы Тырского рудопроявления стать в будущем флагманским месторождением кластера из перспективных золото-(молибден)-медно-порфировых и золото-серебряных (эпитермальных) объектов в непосредственной близости от него.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Петров О. В., Киселев Е. А., Шпикерман В. И., Змиевский Ю. П. Прогноз размещения золото-медно-порфирового типа в вулкано-плутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов Госгеолкарты-1000/3 // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 80. – С. 50–74.
2. Читалин А. Ф., Ефимов А. А., Воскресенский К. И., Игнатьев Е. К., Колесников А. Г. Малмыж – новая крупная золото-медно-порфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2013. – № 3. – С. – 65–69.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N-54 – Николаевск-на-Амуре. – С.-Пб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016.
4. Шуршалина В. А. и др. Объяснительная записка, лист N-54-XXV, 1978.

Сурин Т. Н. (Timofey_Surin@vsegei.ru)
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

КОЛЧЕДАНОНОСНАЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (УРАЛЬСКИЙ ТИП): ПАЛЕОВУЛКАНИЗМ, ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Сформулировано понятие о колчеданоносной рудно-магматической системе. Охарактеризованы основные палеовулканические структуры Учалино-Александринской зоны, являющейся крупнейшей колчеданоносной структурой Южного Урала, а также геодинамические обстановки рудообразования. Сделано предположение о наиболее вероятном механизме генерации колчеданоносных палингенных кислых расплавов в результате фракционного плавления мафического гетерогенного амфиболсодержащего субстрата в нижней части цоколя островной дуги. Сделан вывод о реализации комбинированной конвективно-постмагматической модели образования колчеданных руд, которая позволяет сформулировать набор поисковых признаков для выделения новых перспективных площадей.

Ключевые слова: колчеданоносная рудно-магматическая система, уральский тип, геодинамическая обстановка, островная дуга, рудообразование, конвективно-постмагматическая модель.

Колчеданоносная рудно-магматическая система понимается нами как совокупность процессов формирования рудоносных магм, вулканитов и связанных с ними колчеданных руд и метасоматитов. Результатом действия пространственно совмещенных взаимосвязанных процессов магматизма, осадконакопления, метасоматизма и рудообразования является формирование структурно-вещественной ассоциации, включающей рудоносные магматические породы, околорудные метасоматиты, рудоносные осадки и руды [7].

Модель развития и эволюции указанной системы разработана нами на примере Учалино-Александринской зоны, являющейся крупнейшей колчеданоносной структурой Южного Урала. В ней известны 12 месторождений и несколько сот проявлений колчеданных руд. Она представляет собой вытянутую в субмеридиональном направлении почти на 150 км вулканогенную структуру, расположенную в северной части Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги. Большинство месторождений зоны являются классическими представителями слабодеформированных рудных объектов уральского типа, что позволяет рассматривать их в качестве эталонных для реконструкции колчеданоносной рудно-магматической системы уральского типа.

Основные палеовулканические структуры Учалино-Александринской зоны сформировались в живетский этап вулканизма, который условно можно подразделить на ранне- и позднеживетский подэтапы. Главные типы вулканизма раннеживетского подэтапа – трещинный и центральный. В течение этого подэтапа сформировалась рудоносная «контрастная» базальт-риолитовая формация. После активного трещинного вулканизма возникали комбинированные вулканы сложного строения. Щитовые постройки в процессе эволюции осложнялись пирокластическими конусами, периферическими и вершинными кальдерами. В посткальдерные стадии базальтовые сооружения достраивались куполовидными вулканами и экструзивными куполами кислого состава. Вулканизм происходил в подводной среде и сопровождался активной фумарольной деятельностью. Всего в Учалино-Александринской зоне известны более десятка крупных щитовых вулканов и стратовулканов, а также около тридцати куполовидных вулканов и кислых экструзивных куполов. К некоторым из них приурочены колчеданные месторождения. Цепочки базальтовых вулканов образуют хорошо выраженные в палеорельефе разновозрастные гряды. На примере базальтовых гряд Учалинского и Верхнеуральского рудных районов показано, что более поздняя Межозёрная базальтовая гряда частично перекрывает склон более ранней Учалинской. Это свидетельствует об ограниченности в пространстве так называемых «уровней» локализации колчеданных руд.

Практически без перерыва вулканизм продолжался в течение позднеживетского подэтапа, когда сформировалась непрерывная базальт-андезит-дацит-риолитовая формация. В это время

еще действовали остаточные очаги кислых магм контрастной формации, а также функционировали аппараты центрального типа, сформировавшие поля ареального вулканизма с экструзивными куполами и куполовидными вулканами.

Колчеданное рудообразование осуществлялось на ранней стадии формирования островной дуги в следующей последовательности со сменой геодинамических обстановок: 1) в междуговом бассейне при слабом растяжении в условиях рассеянного спрединга (Учалинский рудный район); 2) при смене растяжения на сжатие и включении краевой части междугового бассейна в структуру островной дуги (Верхнеуральский рудный район) и 3) при сильном латеральном сжатии в тыловой части дуги в узких рифтовых долинах, возникших при блоковых перемещениях отдельных вулканических сооружений (Александринский рудный район) [1–7]. Таким образом, в результате функционирования колчеданоносной рудно-магматической системы сформировался латерально-возрастной ряд колчеданных месторождений, позволяющий выявить особенности ее эволюции. В указанном ряду дискретно сменяются не только петролого-геохимические особенности, но и сам способ генерации рудоносных магм: 1) высокожелезистые дифференциаты толеитовых расплавов (по феннеровскому тренду); 2) палингенные выплавки из метаморфизованного мафического субстрата в нижней части коры и 3) среднекислые известково-щелочные дифференциаты базальтовых расплавов (по боуэновскому тренду) [1, 3, 5, 6]. В охарактеризованном ряду закономерно меняются геохимические особенности руд: во-первых, возрастают отношения Cu/Zn и содержания Pb, Se, Te, In, Cd, Ba, Au, Ag, что является геохимическим признаком продольно-латеральной зональности палеоостроводужной структуры, то есть постепенным ее удалением от сейсмофокальной плоскости по мере продвижения с севера на юг, а во-вторых, уменьшается содержание серы и происходит смена ее среднего изотопного состава в рудах: мантийная – коровая – мантийная [2, 3, 6]. Соответственно, значительно усложняется минеральный состав руд при постепенном уменьшении размеров отдельных рудных тел. Палеовулканические условия локализации руд также меняются в этом ряду: 1) синвулканические депрессии в кровле кислых куполов на периферии базальтовых щитовых вулканов (Учалинский район); 2) дуговые глубокие кальдерные депрессии, заполненные мощными толщами кислых вулканитов и расположенные на склоне огромного многожерлового базальтового щитового вулкана (Верхнеуральский район), и 3) маломощные прослои на склоне небольшой аккумулятивной многофазной вулканической постройки (Александринский район) [2, 6, 7]. По нашему мнению, в этом же ряду постепенно уменьшается глубина формирования массивных руд, что коррелируется с увеличением их «полиметалличности» [6]. Уменьшение глубины рудоотложения отражается также в литологическом составе осадочных пород.

Максимум колчеданного оруденения приурочен к палингенным кислым породам, локализованным в верхней части разреза «контрастной» базальт-риолитовой формации. Резкое обогащение палингенных кислых пород нормативным альбитом по сравнению с нормативными анортитом и ортоклазом указывает на то, что они являются вулканическими аналогами трондьемитов. Состав палингенных пород примерно соответствует экспериментально установленным при P (H_2O) = 5 кбар, а весьма высокие значения отношения нормативного альбита к нормативному ортоклазу в сочетании с наличием нормативного корунда заставляет предполагать равновесие расплавов с роговой обманкой. Поскольку амфибол не являлся постоянной ликвидусной фазой при кристаллизации расплавов, то можно сделать вывод, что он играл роль рестита при их выплавлении. Фракционное плавление амфиболита как один из возможных механизмов генерации трондьемитовых расплавов считается общепринятым. Заметим, что даже начало выплавления кислых магм при давлении 5 кбар в условиях верхней ступени амфиболитовой фации требует довольно высокого геотермического градиента, который может достигаться в корнях островной дуги благодаря поступлению тепла с базальтовой магмой. Смена растяжения на сжатие в конце ранней стадии становления островной дуги также способствует увеличению теплового потока и отделению магм от субстрата на глубинах порядка 20 км. Обогащение магм тугоплавкими и летучими компонентами объясняется высокими температурами их выплавления (1000° и выше), что подтверждается термометрическим изучением включений в кварцевых фенокристаллах. При таких температурах в условиях давления 5 кбар прео-

долевается предел устойчивости амфибола и температурная граница между амфиболитовой и гранулитовой фациями метаморфизма, что приводит к значительной дегидратации субстрата и реакционным взаимоотношениям расплава с амфиболом. Таким образом, наиболее вероятным механизмом генерации палингенных кислых расплавов является фракционное плавление мафического гетерогенного амфиболсодержащего субстрата в нижней части цоколя островной дуги. При подъеме к поверхности они испытывают дегазацию с выделением значительного количества H_2O, CO_2, серы и хлора. Таким образом создается опережающий фронт летучих, результатом воздействия которого является пропилитизация базальтов на поверхности. Дифференциация магм происходила в приповерхностных очагах на небольших глубинах (1–8 км).

Необходимо подчеркнуть, что вся сумма геологических фактов указывает на то, что образование палингенных пород «контрастной» формации происходило в условиях постоянного снижения проницаемости земной коры, что наиболее удачно интерпретируется как смена обстановки растяжения, при которой формировались нижние части разреза формации, на латеральное сжатие, в условиях которого происходило формирование верхних частей разреза. Образование приповерхностных очагов кислых магм и как их прямое следствие колчеданных месторождений таким образом как бы маркирует геодинамическую «остановку» при этой смене. Выжимание кислых куполов знаменует собой конечную фазу становления формации в условиях сжатия.

Анализ основных факторов и параметров образования месторождений и синтез имеющихся данных привели нас к выводу о реализации комбинированной конвективно-постмагматической модели образования колчеданных руд (рисунок). Суть ее заключается в том, что в процессе рудообразования одновременно участвуют два сопряженных механизма: конвективная приповерхностная ячейка рециркуляции морских вод и находящийся в центре ее на небольшой глубине активно действующий и продуцирующий гидротермальные растворы периферический магматический очаг. По нашему мнению, предложенная модель учитывает генетическую связь колчеданного рудообразования с кислым магматизмом базальт-риолитовой (бимодальной) формации, причем выделяются четыре вида такой связи: пространственная, временная, энергетическая и вещественная [2, 3]. Пространственная связь заключается в приуроченности колчеданных залежей к центрам кислого вулканизма, причем масштабы и состав оруденения обнаруживают отчетливую корреляцию с размерами вулканических построек и составом рудоносных кислых пород. Временная связь выражается в локализации колчеданных руд в виде пластовых тел на определенных рудоконтролирующих подуровнях среди тефроидно-осадочных пород, фиксирующих перерывы между отдельными ритмами кислого вулканизма. Выявленная эволюция состава и масштабов оруденения во времени являются следствием саморегуляции рудно-магматической системы, «приспосабливающейся» к локальным изменениям геодинамической обстановки [7]. Пульсационная активность очагов кислых магм определяет и строение «рудоподводящих» каналов, представленных кварц-серицитовыми метасоматитами, причем состав последних также обнаруживает тесную связь с составом руд, т.к. по мере уменьшения роли меди и увеличения в них роли свинца в химическом составе метасоматитов наблюдается увеличение содержаний глинозема, магния, кальция, калия и углекислоты при понижении содержаний кремнезема, суммарного железа и серы [2,6]. Энергетическая связь определяется наличием приповерхностных очагов кислых магм как главного условия существования конвективно-постмагматической гидротермальной системы. Уменьшение во времени масштабов оруденения есть следствие уменьшения энергетической активности, то есть постепенного «затухания» гидротермальной системы. Вещественная связь выражается в том, что приповерхностные очаги кислых магм являлись источниками рудообразующих растворов. Эти растворы содержали в большом количестве сероводород и углекислый газ, именно их проникновение в верхние горизонты коры стало тем «стартовым механизмом», который обусловил возникновение и длительное функционирование гидротермальной системы, причем горячие постмагматические флюиды существенно усиливали конвекцию [2]. Состав рудоносных растворов существенно менялся во времени в сторону уменьшения роли в их составе вадозных («морских») вод и увеличения содержаний углекислоты и щелочной компоненты. Более восста-

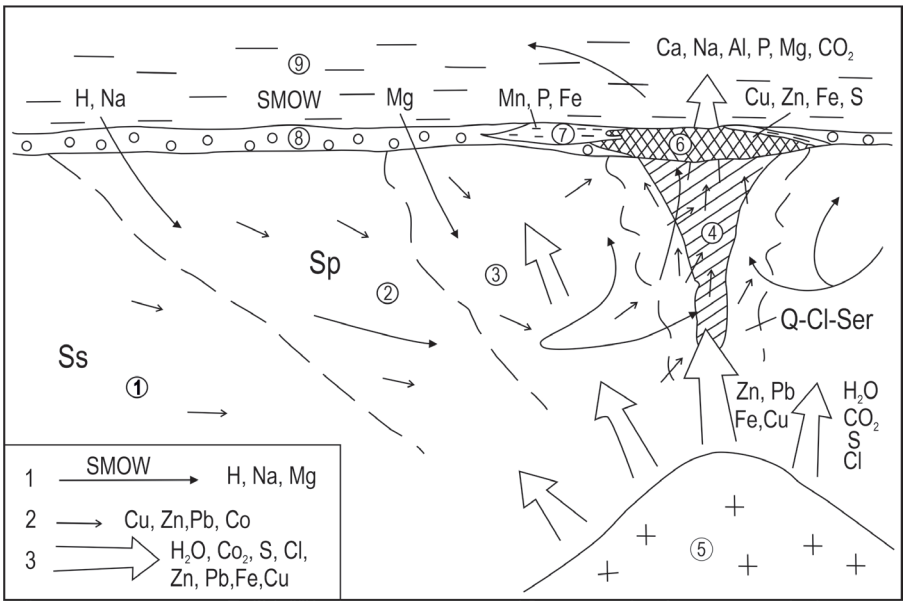


Рисунок. Конвективно-постмагматическая модель колчеданного рудообразования (принципиальная схема):

1 – направления рециркуляции морской воды (SMOW), 2 – направления миграции халькофильных элементов, 3 – направления движения постмагматических рудообразующих гидротермальных растворов, выделившихся при дегазации приповерхностного очага кислых магм. Цифрами в кружках обозначены: 1–4 – метасоматические зоны (с соответствующими буквенными индексами): 1 – зона слабоизмененных пород («соссюритовая») (Ss), 2 – зона выноса кальция («спилитизации») (Sp), 3 – зона пропилитов (P), 4 – зона околорудных кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов (Q-Cl-Ser); 5 – приповерхностный очаг кислых магм; 6 – массивные колчеданные руды; 7 – марганцево-железистые осадки; 8 – вулканогенно-осадочные и туфогенно-осадочные породы; 9 – морская вода (SMOW).

новительные условия являются следствием меньшего содержания серы в рудоносном растворе, что проявляется в полиметаллическом составе наиболее поздних по времени образования руд (близкому к типу «куроко») [6]. Очевидно, очаги кислых магм являлись также источниками металлов (главным образом цинка и свинца), что подтверждается расчетами баланса вещества в палеогидротермальной системе и экспериментальными данными о поведении рудных элементов при раскристаллизации кислых магм [2, 7]. Одновременная реализация конвективного и гидротермально-постмагматического рудообразующих механизмов, видимо, является причиной уникальной геохимической специализации колчеданных месторождений уральского типа, то есть одновременной обогащенности их железом, серой, медью и цинком по сравнению с колчеданоносными объектами других типов. В зависимости от местных геологических условий вклад главных сопряженных механизмов рудообразования в конечный результат на разных месторождениях может быть различным, что объясняет многие частные особенности отдельных месторождений, в том числе их отличия по составу руд.

Таким образом, вся совокупность полученных данных позволяет существенно уточнить имеющиеся представления о зарождении, саморегуляции и эволюции во времени колчеданоносной рудно-магматической системы уральского типа [4, 7]. Интерпретация представленной генетической модели позволяет сформулировать набор поисковых признаков, пространственный анализ распространения которых дает основания для выделения новых перспективных площадей [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сурин Т. Н. Петрология и геохимия вулканитов раннеживетской базальт-риолитовой колчеданоносной формации (Южный Урал). – Уфа : УфНЦ РАН, 1993. – 45 с.
2. Сурин Т. Н. Метасоматоз и колчеданное рудообразование (Верхнеуральский рудный район). – Екатеринбург : Наука, 1993. – 104 с.

Тарасов А. С. (tarasov@tsnigri.ru), Захаров А. П. (azakharov@tsnigri.ru), Карпухина М. В. (dar.karpukhina@yandex.ru), Рогизный В. Ф. (rogizny@tsnigri.ru), Толкушкина Е. А. (tolkushkina@tsnigri.ru), Додриков Ю. А. (dodrikov@tsnigri.ru), Родкин М. С. (rodkin@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ИТОГИ АПРОБАЦИИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ЗАВЕРШЕННЫХ В 2023 г. И АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МСБ ЗА ПЕРИОД 2013–2023 гг.

Показаны результаты апробации прогнозных ресурсов алмазов, благородных (золото, серебро, металлы платиновой группы) и цветных (никель, медь, свинец, цинк) металлов по объектам, представленным в ЦНИГРИ в 2023 г. и дана общая оценка по состоянию на 01.01.2024 г.

Ключевые слова: прогнозные ресурсы, категория оценки, фонд недр, благородные и цветные металлы, укрупненная геолого-экономическая оценка, уровень вовлеченности.

По результатам апробации, проведенной ФГБУ «ЦНИГРИ» в 2023 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 геологоразведочные работы.

В 2023 г. из девяти изучаемых в ЦНИГРИ видов твердых полезных ископаемых изменения произошли по семи видам ТПИ в 64 объектах учета ПР, в т. ч. на 43 объектах – по результатам завершенных ГРР. В нераспределенном фонде изменения зафиксированы по 55 объектам, в распределенном – девяти объектам.

Из поступивших на апробацию материалов по оценке ПР значительная часть подверглась корректировке. Корректировка и отклонение ПР по поступившим объектам были связаны с недостаточной полнотой предоставленных материалов, качественными недостатками проведенных ГРР, а также методическими ошибками в авторских оценках, среди которых имели место:

- ошибки категоризации ПР и их кондиционной принадлежности;
- интерпретационные ошибки геологических особенностей локализации полезного ископаемого, включающие в себя неудачный выбор прогнозно-поисковой модели, геолого-промышленного типа, металлогенического таксона-аналога;
- ошибки количественной оценки ПР;
- ошибки определения оценочных параметров (кондиций) и геолого-экономической оценки по укрупненным показателям.

В процессе рассмотрения материалов по включению в перечень участков недр, предлагаемых для предоставления в пользование, в отчетном периоде выполнена апробация ПР с авторскими оценками прогнозных ресурсов, которые не отвечали современным требованиям промышленности и были приняты к внутреннему учету ФГБУ «ЦНИГРИ». К внутреннему учету было принято 23 объекта.

По результатам количественных изменений прогнозных ресурсов по каждому из 7 видов ТПИ за отчетный период можно сделать следующие выводы: количество ПР кат. P_3 (в целом по РФ) возросло по алмазам и сократилось по золоту рудному; ресурсы категории P_2 увеличились по золоту рудному и серебру и сократились по меди, свинцу и цинку; ресурсы категории P_1 увеличились по золоту рудному, золоту россыпному, серебру, меди, свинцу и цинку; остальные виды ПИ остались без изменений (таблица).

В общей оценке состояния и количественных изменений ПР на 01.01.2024 г. учтено 2495 кондиционных объектов. В нераспределенном фонде числится 1593 объекта (63,8 %), в распределенном фонде 902 (36,2 %). Вовлеченность ПР в лицензирование (по количеству объектов, переданных в распределенный фонд недр) составляет по благородным металлам: коренное золото – 41,0 %, серебро – 37,3 %, МПГ – 24,1 %. Из цветных металлов наибольшей востребованностью у недропользователей пользуются никель и медь – 37,3 % и 30,6 % соответственно;

Таблица. Состояние прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых на 01.01.2024 г.

№ п/п	Полезное ископаемое, единица измерения	Состояние на 01.01.2023 г.			Планируемое изменение ПР						Состояние на 01.01.2024 г.		
					+ прирост			- убыль (Неподтверждение оценки или перевод в более высокие категории ПР и запасы, др. изменения)					
		P_3	P_2	P_1	P_3	P_2	P_1	P_3	P_2	P_1	P_3	P_2	P_1
1	Алмазы, млн карат	**3295**	**402**	**392**	**45**						**3340**	**402**	**392**
	в т. ч. НРФН	2649	399	106	45						2694	399	106
	РФН	646	3	286							646	3	286
2	Золото коренное, т	**25 873**	**11 527**	**5959**	**12**	**39**	**52**	**237**	**19**	**20**	**25 648**	**11 547**	**5992**
	в т. ч. НРФН	22 861	7009	2855		31	46	237	14	20	22 624	7025	2881
	РФН	3012	4518	3104	12	8	6		5		3024	4522	3111
3	Золото россыпное, т	**нд**	**нд**	**нд**			**0,0561**				**нд**	**нд**	**нд**
	в т. ч. НРФН	нд	нд	нд							нд	нд	нд
	РФН	нд	нд	нд			0,0561				нд	нд	нд
4	Серебро, т	**100 488**	**81 848**	**45 083**		**252**	**760**		**200**	**67**	**100 488**	**81 900**	**45 775**
	в т. ч. НРФН	86 708	52 362	21 885		252	750		200	67	86 708	52 414	22 567
	РФН	13 780	29 486	23 198			10				13 780	29 486	23 208
5	МПГ, т	**402**	**251**	**522**							**402**	**251**	**522**
	в т. ч. НРФН	400	110	506							400	110	506
	РФН	2	141	16							2	141	16
6	Никель, тыс. т	**5500**	**5669**	**2027**							**5500**	**5669**	**2027**
	в т. ч. НРФН	5500	4509	1291							5500	4509	1291
	РФН			736									736
7	Медь, тыс. т	**45 375**	**21 033**	**11 153**		**67**	**385**		**204**	**361**	**45 375**	**20 896**	**11 177**
	в т. ч. НРФН	39 585	14 583	7389		67	385		204	361	39 585	14 446	7413
	РФН	5790	6450	3764							5790	6450	3764
8	Свинец, тыс. т	**18 067**	**9661**	**4067**		**1029**	**412**		**453**		**18067**	**9311**	**4479**
	в т. ч. НРФН	18 067	7671	2897		1029	412		453		18067	7321	3309
	РФН		1990	1170								1990	1170
9	Цинк, тыс. т	**48 666**	**25 580**	**17 291**		**109**	**778**		**983**	**226**	**48 666**	**24 706**	**17 843**
	в т. ч. НРФН	47 101	23 248	12 049		109	778		983	226	47 101	22 374	12 601
	РФН	1565	2332	5242							1565	2332	5242

наименьшей – цинк (24,2 %) и свинец (16,6 %). По алмазам в распределенном фонде числится 31,2 % объектов. Анализ распределения прогнозных ресурсов АБЦМ по категориям учета, их изменения за анализируемый период и уровень вовлеченности в ГРР показывают:

• наибольшей вовлеченностью в ГРР традиционно характеризуется золото. Изменения за рассматриваемый период имели место на 24 объектах в четырех федеральных округах России: Северо-Западном (два объекта), Приволжском (два объекта), Сибирском (12 объектов) и Дальневосточном (восемь объектов). Состояние ПР кат. $P_1 + P_2$ изменилось по 36 объектам, незначи-

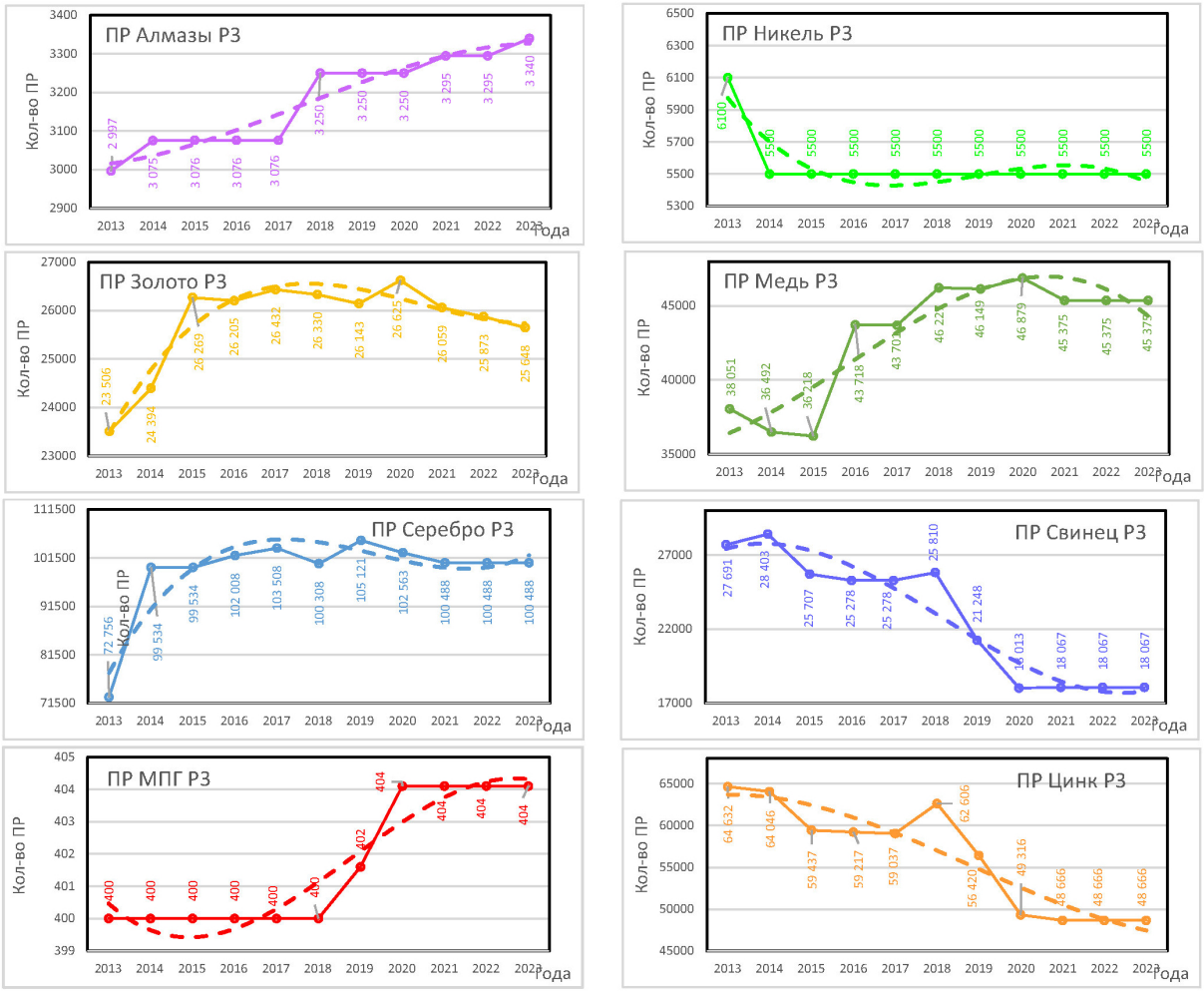


Рис. 1. Анализ состояния прогнозных ресурсов категории P_3 за период 2013–2023 гг.

тельно увеличилось суммарно по РФ на 51,6 т (0,29 %) по отношению к началу 2023 г. Ресурсы золота новых рудоносных площадей, оцененных по кат. P_3, изменились по двум объектам, сократившись на 225,5 т (0,88 %);

• по серебру после постановки на учет семи объектов в трех федеральных округах России ПР увеличились по кат. $P_1 + P_2$ на 744,6 т (0,58 %), по кат. P_3 изменений не было. Поставлено на учет семь новых объектов в трех федеральных округах России;

• ПР меди после постановки на учет 10 объектов в двух федеральных округах России увеличились по кат. $P_1 + P_2$ на 112,6 тыс. т (0,35 %), по кат. P_3 изменений не было;

• ПР свинца после постановки на учет девяти объектов в двух федеральных округах России увеличились по кат. $P_1 + P_2$ на 60,8 тыс. т (0,44 %), по кат. P_3 изменений не было;

• ПР цинка после постановки на учет 11 объектов в трех федеральных округах России сократились по кат. $P_1 + P_2$ на 321,94 тыс. т (0,76 %), по кат. P_3 изменений не было;

• ПР алмазов после постановки на учет двух объектов Якутии увеличились по кат. P_3 на 45,0 млн. карат, по кат. $P_1 + P_2$ изменений не было;

• прогнозные ресурсы никеля и МПГ остались без изменений.

Выполнен анализ состояния МСБ России за период 2013–2023 гг., который показал:

• по категории P_3 отмечается устойчивый рост прогнозных ресурсов по алмазам, платиноидам, меди; незначительное увеличение по золоту, серебру; снижение по никелю, свинцу и цинку (рис. 1);

• по категории $P_1 + P_2$ отмечается устойчивый рост прогнозных ресурсов по алмазам, золоту, серебру, платиноидам; незначительное увеличение по никелю, свинцу и цинку; снижение по меди (рис. 2).

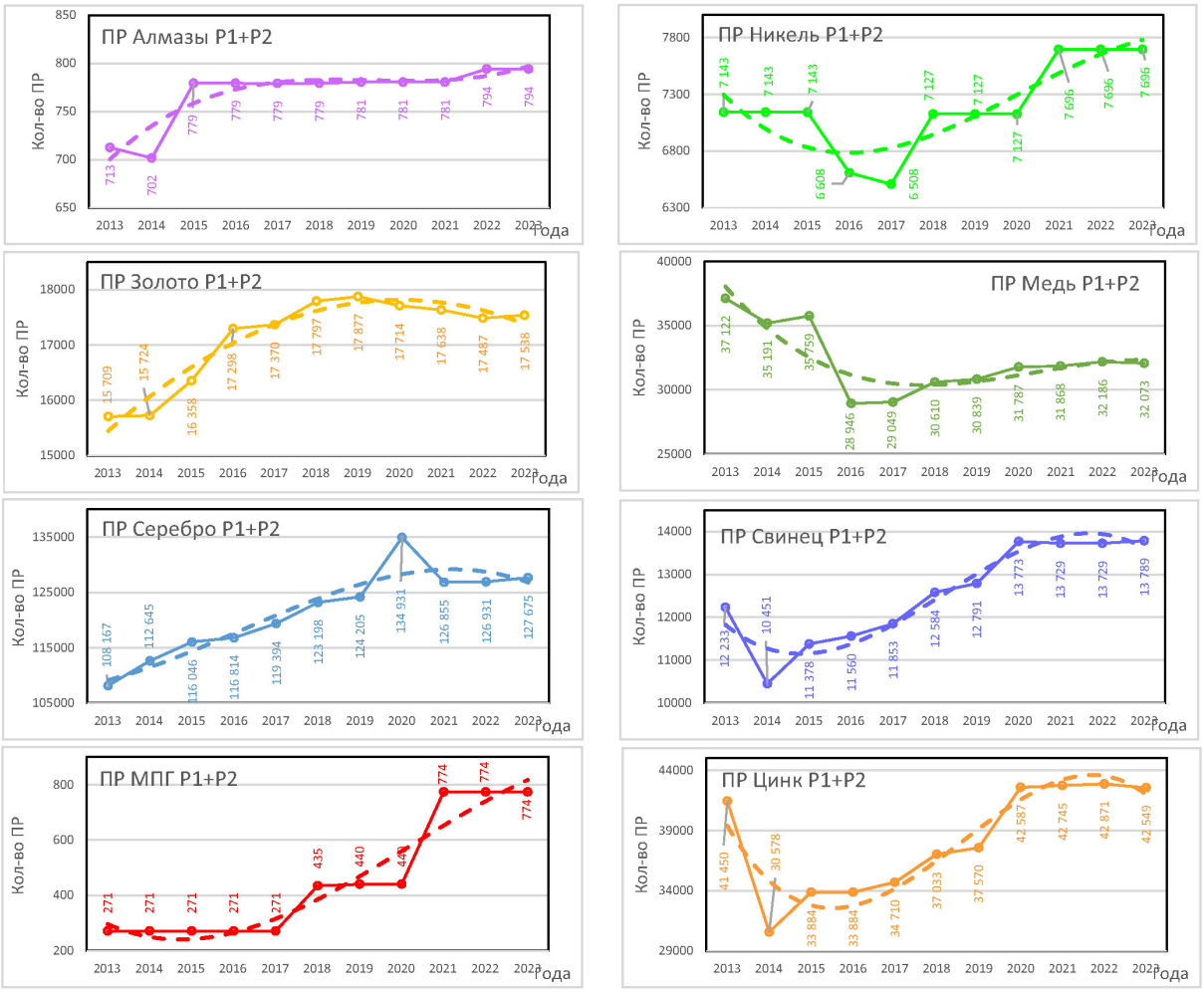


Рис. 2. Анализ состояния прогнозных ресурсов категории $P_1 + P_2$ за период 2013–2023 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голенев В. Б., Куликов Д. А. Подсчет запасов и количественная оценка прогнозных ресурсов рудного золота. – М. : ЦНИГРИ, 2021. – 230 с.
2. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. №37-р. – М. : ГКЗ.
3. Требования к материалам, представляемым в ФГБУ «ЦНИГРИ» для апробации оценок прогнозных ресурсов. – М. : ЦНИГРИ, 2018.

Тарасова Ю. И. [1, 2] **(j.tarasova84@yandex.ru), Будяк А. Е.** [1, 2] **(budyak@igc.irk.ru)**

[1] *ФГБУН ИГХ СО РАН, г. Иркутск,*

[2] *ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск*

МИНЕРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХОЛОДНИНСКОЕ (ПЕРВАЯ И РЫЖАЯ РУДНЫЕ ЗОНЫ)

Сопоставление рудных зон Первая и Рыжая Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения демонстрирует сходство минералогических ассоциаций и химического состава раннего пирита, свидетельствующее о первично-осадочной природе оруденения, и отличие значений $\delta^{34}S$ в пиритах, наследующих изотопный состав серы вмещающих их подсвит.

Ключевые слова: полиметаллические месторождения, Холоднинское, Первая рудная зона, рудная зона Рыжая, пирит, $\delta^{34}S$.

Изучению полиметаллических месторождений типа SEDEX уделяется огромное внимание, так как условия их генезиса и локализации руд представляют ключевой вопрос поисков и разведки месторождений. Приведены результаты сопоставления рудных зон месторождения Холоднинское, являющегося одним из крупнейших месторождений типа SEDEX в России. Изучены рудные зоны – Первая (расположенная в центральной части месторождения и представляющая основной объем запасов месторождения) и Рыжая (расположенная в северной части месторождения, с незначительными в сравнении с Первой зоной запасами).

Холоднинское колчеданно-полиметаллическое месторождение приурочено к краевой части Байкальской складчатой области, расположенной на границе с Сибирской платформой. Территория сложена породами неопротерозойского и палеозойского возрастов [1, 2, 4, 5]. Для района характерно развитие глубинных разломов северо-восточного направления, фациальная неоднородность толщ, развитие базальтоидного магматизма, проявления площадного и приразломного метаморфизма [3]. Главными полезными компонентами месторождения являются свинец и цинк, сопутствующими – медь, сера, попутными – кадмий, серебро.

Месторождение залегает в графитистых карбонатно-кремнистых метасоматических гранат-амфиболитовых породах ондокской свиты в юго-восточном крыле Олокитского прогиба. Максимальная мощность ондокской свиты составляет 1200–1500 м, отложения представлены тремя пачками: нижняя (подрудная) сложена графитистыми кварцитами, известковистыми кварцито-песчаниками и слюдистыми песчаниками, средняя (рудная – зона Первая) – графитистыми, известковистыми кварцево-слюдистыми породами, песчанистыми известняками и графитистыми алевролитами, верхняя (надрудная + зона Рыжая) – кварцитами, графитисто-слюдисто-кварцевыми сланцами. Выше по разрезу отмечается контакт верхней пачки ондокской свиты, вмещающей рудную зону Рыжая, с высокоуглеродистыми кремнистыми сланцами. Несмотря на расположение обеих зон в пределах единого месторождения, контакт между рудными зонами имеет тектоническую природу.

В разрезе рудовмещающей толщи ондокской свиты выделяются три уровня колчеданно-полиметаллической минерализации, представленные тремя параллельными кулисно расположенными рудными зонами, вытянутыми согласно с моноклинальным залеганием пород ондокской свиты [1, 2]. Наибольшая концентрация оруденения отмечается в нижней части разреза и представлена рудными телами Первой рудной зоны. Выше по разрезу масштаб оруденения последовательно снижается от рудной зоны Первой к Рыжей.

Первая рудная зона занимает крайнее юго-восточное положение в крыле Ондоко-Олокитского синклинория и приурочена к нижней части средней пачки ондокской свиты. В строении Первой рудной зоны выделяется 11 рудных тел, сложенных колчеданно-полиметаллическими, колчеданными рудами и нерудными прослоями. Рудные тела согласно залегают с вмещающими породами. Рудная зона Рыжая расположена в 5 км к северо-востоку от Первой зоны. В региональном плане она приурочена к юго-восточному крылу Олокитского синклинория, находясь в единой структурно-тектонической позиции с основной Первой рудной зоной месторождения. Проявления колчеданной и колчеданно-полиметаллической минерализации связаны с гидротермально-измененными породами и графитистыми слюдисто-кварцевыми сланцами верхней подсвиты ондокской свиты.

Аналитические исследования химического состава пород и руд проводились в ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН. Изучение материала проведено с помощью ПО «Минерал С7» с линией пробоподготовки в МНОЦ «Байкал». Согласно полученным минералого-геохимическим данным, отмечается значительное сходство рудных зон. Главными рудными минералами обеих зон являются пирит и сфалерит, второстепенными – галенит, халькопирит, пирротин, реже калаверит, электрум, буланжерит, золото. Доля рудных минералов колеблется от 40 до 60 %, в массивных рудах достигая 80 %.

По структурно-текстурным особенностям и минеральному составу выделяется оруденение двух типов: 1) стратиформное пирит-пирротиновое в песчано-черносланцевых породах, 2) секущее, прожилково-вкрапленное колчеданно-полиметаллическое в порфиробластических породах, более развитое в пределах зоны Рыжая. Основная масса руды сложена тонкозернистым пиритом (0,01–4,0 мм), находящимся в тесном срастании с кварцем. Сфалерит, галенит разме-

щаются в межзерновых промежутках пирита, кварца. Колчеданные руды характеризуются тесным взаимопрорастанием рудных и нерудных минералов. Основная масса рудных минералов в пределах обеих зон представлена несколькими генерациями, четко различающимися по морфологическим признакам и взаимоотношениям.

Первая генерация – это рассеянные тонкокристаллические и глобулярные метаколлоидные выделения пирита, сфалерита и галенита во вмещающих породах. Чаще наблюдаются мономинеральные глобули пирита, реже зональные концентрические образования, фрамбоиды пирит-сфалеритового и пирит-галенитового состава, в которых галенит и сфалерит выполняют центральную часть. Ранний пирит Первой зоны характеризуется повышенными содержаниями примесей Ni, Co, Cu, Ba, Pb, Au. В пирите зоны Рыжая Cu и Ba не отмечаются. Данная элементная зависимость, вероятно, связана с большей стратиграфической удаленностью верхней подсвиты ондокской свиты от подстилающей итыкитской свиты, обогащенной барием.

Вторая генерация сульфидных минералов представлена кристаллически-зернистыми выделениями пирита, сфалерита, галенита. Основная масса руд месторождения сложена пиритом второй генерации, часто в крупнозернистом кварце. Размер зерен пирита колеблется, достигая 1,5 мм, зерна деформированы, трещины дробления залечены сфалеритом, реже галенитом, халькопиритом. Обе зоны характеризуются отсутствием элементной нагрузки на поверхности пирита второй генерации.

Поздний пирит-3 развит в обеих зонах, чаще всего расположен в кварцевых прожилках среди массивных кварц-пиритовых равномернозернистых руд, образуя монокристаллы в ассоциации с кварцем и кальцитом. Прожилки и вкрапленность пирита поздних генераций свидетельствуют о длительном процессе метаморфического преобразования руд.

Однако, несмотря на сходство минерального состава рудной минерализации обеих зон, изотопный состав серы пирита изучаемых рудных зон отличается в среднем на 3,5 ‰. Среднее значение $\delta^{34}S$ в пирите рудной зоны Первая составляет +2,3 ‰ с интервалом от +1,3 до +3,2 ‰. Среднее значение $\delta^{34}S$ в пирите рудной зоны Рыжая составляет -1,1 ‰ с интервалом от -2,5 до -0,–1‰. При этом вариаций $\delta^{34}S$ между пиритами разных генераций не установлено.

Из приведенных данных видно, что сходство минералогических ассоциаций и близость химического состава раннего пирита рудной зоны Первая и зоны Рыжая свидетельствуют о первично-осадочной природе колчеданно-полиметаллического и колчеданного оруденения [1, 3, 4, 6]. В ходе наложенных более поздних процессов полицикличного метаморфизма и тектогенеза колчеданные руды претерпели значительные преобразования, которые придали им сходство с гидротермальными образованиями. Однотипная морфология и химический состав второй и третьей генераций пиритов обеих зон свидетельствуют об их совместном метаморфическом преобразовании в единых температурных условиях.

При общем сходстве сульфидной минерализации обеих рудных зон для каждой из них устанавливаются индивидуальные черты. Наиболее показательным отличием является различие $\delta^{34}S$ в пиритах (полученное методом LA-ICP-MS [7, 8]) выделенных зон месторождения, по всей вероятности наследующих изотопный состав серы вмещающих их подсвит. Кроме того, отмечается отсутствие меди и бария на поверхности пирита зоны Рыжая.

По результатам анализа проведенных исследований можно предположить, что рудные зоны Первая и Рыжая принадлежат к различным стратиграфическим подразделениям, накопление которых, должно быть, разделено значительным временным интервалом. Изотопное и элементные различия могут свидетельствовать о сложной эволюции процесса осадконакопления толщ, имеющих различные источники обогащения. При этом сходство минералогических ассоциаций и близость химического состава раннего пирита рудных зон Первая и Рыжая свидетельствуют о первично-осадочной природе их колчеданно-полиметаллического и колчеданного оруденения. В ходе более поздних процессов полицикличного метаморфизма и тектогенеза, представляющих наложенный этап геологического развития стратифицированных рудных залежей, колчеданные руды претерпели значительные преобразования, которые придали им сходство с гидротермальными образованиями.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГХ СО РАН IX.130.3.1 (№0284-2021-0001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Дистанов Э. Г., Ковалев К. Р., Пономарев В. Г. Генетические особенности колчеданно-полиметаллического оруденения Северного Прибайкалья // Геология и полезные ископаемые в полосе БАМ Северного Прибайкалья : сб. статей / отв. ред. В. Г. Кушев. – М. : Наука, 1983. – С. 33–37.
2. Будяк А. Е., Скузоватов С. Ю., Тарасова Ю. И., Ванг К.-Л., Горячев Н. А. Единая неопротерозойская–раннепалеозойская эволюция рудоносных осадочных комплексов юга Сибирского кратона // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 484, № 3. – С. 335–339.
3. Добровольская М. Г., Еремин Н. А. Метаморфизм и время образования промышленных свинцово-цинковых руд в Холоднинском месторождении (Северное Прибайкалье) // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. – 2010. – № 1. – С. 30–35.
4. Ручкин Г. В., Донец А. И. Гидрогенная концепция формирования рудообразующих систем стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении. – М. : МГУ, 2010. – С. 93–106.
5. Рыцк Е. Ю., Шалаев В. С., Ризванова Н. Г., Крымский Р. Ш., Макеев А. Ф., Риле Г. В. Олокитская зона Байкальской складчатой области: новые изотопно-геохронологические и петрогеохимические данные // Геотектоника. – 2002. – № 1. – С. 29–41.
6. Тарасова Ю. И., Будяк А. Е. Стадийность формирования рудной зоны месторождения Холоднинское (Байкало-Патомское нагорье) // Науки о земле и недропользование. – 2023. – Т. 46, № 2. – С. 201–212.
7. Ignatiev A. V., Velivetskaya T. A., Budnitskiy S. Y., Yakovenko V. V., Vysotskiy S. V. and Levitskii V. I. // Precision analysis of multisulfur isotopes in sulfides by femtosecond laser ablation GC-IRMS at high spatial resolution // Chem. Geol. – 2018. – V. 493. – P. 316–326.
8. Velivetskaya T. A., Ignatiev A. V., Yakovenko V. V., Vysotskiy S. V. An improved femtosecond laser-ablation fluorination method for measurements of sulfur isotopic anomalies ($\Delta^{33}S$ and $\Delta^{36}S$) in sulfides with high precision // Rapid Communications in Mass Spectrometry. – 2019. V. 33. – P. 1722–1729.

Уварова Е. А. (uvarova@tsnigri.ru), Вахрушев А. М. (vahrushev@tsnigri.ru), Куликов Д. А. (kulikov@tsnigri.ru), Закиева Э. В. (zakieva@tsnigri.ru), Мухина Г. Ю. (mukhina@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ NEXTGIS WEB ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ ТЕКУЩИХ И ПЛАНИРОВАНИЕМ БУДУЩИХ ГРР НА АБЦМ

Для решения вопросов, связанных с мониторингом проведения, научно-методического сопровождения, повышения эффективности текущих и планирования будущих геологоразведочных работ на алмазы, благородные и цветные металлы, создан сетевой информационный ресурс «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» на платформе NextGIS Web. Разработка данного ресурса является первым этапом создания единой геоинформационной платформы ФГБУ «ЦНИГРИ».

Ключевые слова: цифровая трансформация, геологическая информация, сопровождение ГРР, АБЦМ, оценка прогнозных ресурсов, программные решения, веб-приложение, геоданные, NextGIS Web, веб-карты, сетевой информационный ресурс, геоинформационная система.

ФГБУ «ЦНИГРИ» является профильным институтом Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) в части геологического изучения, разработки методик, анализа воспроизводства минерально-сырьевой базы алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ).

Основными задачами организации являются: научно-методическое сопровождение геологоразведочных работ (ГРР) на АБЦМ и формирование предложений по их планированию; оценка прогнозных ресурсов; геолого-экономическая оценка проявлений и месторождений; разработка долгосрочных прогнозов минерально-сырьевого обеспечения экономики страны.

Кроме того, ФГБУ «ЦНИГРИ» выполняет большой объем работы по ответам на запросы Роснедр, а также тесно сотрудничает с другими подведомственными организациями.

Для эффективного и оперативного решения поставленных задач необходимы быстрый доступ к информации различных форматов и четкая система взаимодействия специалистов.

Основными источниками данных ФГБУ «ЦНИГРИ» являются: геологические отчеты, карты, книги, журналы, материалы постановки и сопровождения ГРР, обоснования и протоколы апробации прогнозных ресурсов АБЦМ. Материалы представлены как в электронном виде, так и на бумажном носителе.

За 2004–2024 гг. в ФГБУ «ЦНИГРИ» накоплены материалы: по завершенным за счет средств федерального бюджета ГРР на АБЦМ в целях выделения перспективных объектов с прогнозными ресурсами категорий P_1, P_2, P_3 (~ 300 объектов); по участкам, представленным к апробации прогнозных ресурсов АБЦМ (~ 2500 объектов).

В 2021–2022 гг. специалистами отдела ГИС ФГБУ «ЦНИГРИ» были оцифрованы и структурированы материалы по площадям с апробированными прогнозными ресурсами АБЦМ. Для апробированных, отклоненных и принятых на внутренний учет ЦНИГРИ прогнозных ресурсов построены пространственные контуры площадей, уточнены виды полезных ископаемых и категории. В ходе этой работы были выявлены и исправлены технические ошибки и уточнены координаты участков, что было зафиксировано в протоколах заседаний подсекции экспертизы и апробации прогнозных ресурсов секции геологии ученого совета ФГБУ «ЦНИГРИ» за 2021–2022 гг. В 2022 г. были собраны и структурированы материалы по площадям завершенных ГРР на алмазы, благородные и цветные металлы за период 2004–2024 гг. Для площадей работ ГРР проведена оцифровка координат. На данный момент работа по сбору и корректировке данных продолжается.

В 2023 г. для решения вопросов, связанных с мониторингом проведения, научно-методического сопровождения, повышения эффективности текущих и планирования будущих ГРР на АБЦМ, в отделе ГИС ФГБУ «ЦНИГРИ» была разработана концепция сетевого информационного ресурса «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы».

Сетевой информационный ресурс «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» содержит всю необходимую информацию для мониторинга текущих, оценки завершенных и планирования будущих ГРР на АБЦМ. Данный сервис позволяет выделять новые перспективные участки, определять и уточнять их местонахождение. Ресурс представляет собой сетевую карту, с которой могут работать пользователи с различными уровнями доступа.

В качестве платформы для реализации сетевого ресурса выбрано Веб-приложение для карт и геоданных NextGIS Web, включенное в Реестр российских программ для ЭВМ и БД по основному классу ПО «05.06 Геоинформационные и навигационные средства (GIS)».

NextGIS Web позволяет: загружать и скачивать геоданные; создавать веб-карты для работы по сети; публиковать карты и слои из NextGIS QGIS и обновлять их; оставлять свои комментарии на карте для коллег; получать атрибутивную информацию и прикреплять файлы.

Сетевой информационный ресурс «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» содержит:

1. Контуры завершенных объектов ГРР. Указаны названия участков и работ, период работ, ожидаемые результаты по геологическому заданию, полученные результаты (протоколы, заключения, названия участков с апробированными прогнозными ресурсами, виды полезных ископаемых, категории и количество прогнозных ресурсов);
2. Контуры текущих объектов ГРР. Указаны названия участков и проектов работ, сроки работ, ожидаемые результаты;
3. Контуры планируемых объектов ГРР. Указаны названия участков и проектов работ, сроки работ, ожидаемые результаты;

4. Контуры резервных объектов ГРР. Указаны названия участков и проектов работ;

5. Контуры площадей с апробированными, поставленными на внутренний учет ЦНИГРИ, снятыми и отклоненными прогнозными ресурсами; а также участки с авторской оценкой и оцененными ресурсами категории P_3 в результате геолого-съемочных работ по данным Института Карпинского. Указаны названия участков, статус апробации, категории и количество прогнозных ресурсов, номера протоколов и заключений экспертных групп;

6. Контуры особо охраняемых природных территорий;

7. Контуры действующих лицензионных площадей;

8. Контуры заявок на представление права пользования недрами;

9. Подложки (OSM, ЕЭКО Росреестра, топооснова ЦГКИПД, космоснимки, геологические карты (2 500 000, 1 000 000, 200 000)).

Сетевой информационный ресурс «Геологоразведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» позволяет проводить анализ данных, оперативно отвечать на запросы Роснедр, а также решать задачи, связанные с мониторингом проведения, научно-методического сопровождения, повышения эффективности текущих и планирования будущих ГРР на АБЦМ.

Разработка данного ресурса является первым этапом создания единой геоинформационной платформы ФГБУ «ЦНИГРИ» и служит примером использования сетевых сервисов для эффективной работы в геологической отрасли. В дальнейшем целесообразно развивать направление объединения и централизации информационных ресурсов: исключение дубляжа баз данных, приведение их к единому формату (современный программный продукт с сетевым доступом); создание карт по единому стандарту (шаблону) и издание их на веб-ресурсе; создание универсального WIKI-ресурса, содержащего информацию о геологических объектах со ссылками на связанные объекты и различные материалы (текстовые, табличные, графические, картографические и др.).

Устинов С. А. (stevesa@mail.ru), Петров В. А., Минаев В. А., Нафигин И. О., Яровая Е. В.
ФГБУН ИГЕМ РАН, г. Москва

РОЛЬ СТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНОГО ТИПА В ЛОКАЛИЗАЦИИ РУДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Для юго-восточного Забайкалья на основе геоинформационных технологий, использования данных дистанционного зондирования Земли и применения комплексного структурно-пространственного анализа представлен подход к дешифрированию и интерпретации структур центрального типа в приложении к прогнозу рудных объектов различных типов.

Ключевые слова: структуры центрального типа, рудообразующие минеральные системы, геоинформационный анализ, дистанционное зондирование Земли, цифровая модель рельефа, металлогенический анализ, юго-восточное Забайкалье.

В рамках многочисленных современных региональных дистанционных исследований геологических структур задаче достоверного дешифрирования, изучения и интерпретации структур центрального типа (СЦТ) часто придается второстепенное значение. В большинстве структурных изысканий данная задача даже не ставится. Научно-методические подходы к выявлению, классификации, анализу и интерпретации СЦТ получили свое максимальное развитие в основном в трудах советских исследователей в 1970–1980-х гг. Именно в этот период В. М. Рыжковой и В. В. Соловьевым издана «Карта морфоструктур центрального типа территории СССР» масштаба 1 : 10 000 000. Подробные пояснения по терминологии, методикам и результатам дешифрирования, отраженным на обозначенной карте, а также подходы к интерпретации результатов, обобщены в отдельной работе В. В. Соловьева [6].

Проведенное картирование, систематизация и сравнительный анализ позволили установить во многих рудоносных провинциях мира широкое распространение разнообразных эндогенных рудных месторождений, приуроченных к СЦТ, считавшихся ранее достаточно редкими структурными образованиями [5]. Таким образом, подтверждена важная практическая роль СЦТ в постановке и решении задач поиска полезных ископаемых и прогнозных металлогенических построений.

В зависимости от морфологии и степени геоморфологической выраженности, особенностей геометрии, вещественно-структурных признаков, размеров и генезиса на сегодняшний день существует множество классификаций СЦТ [1–3, 5, 6].

С совершенствованием компьютерных технологий, появлением возможности получения различных высокоточных геологических, геофизических и геохимических данных, спутниковых снимков высокого разрешения и разнородных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включая радарную, радиолокационную, мульти- и гиперспектральную съемки, а также со значительным совершенствованием средств сбора, обработки и анализа пространственной геологической информации с помощью геоинформационных систем (ГИС) возможности для решения задач в области выделения и интерпретации СЦТ резко расширились.

Исследуемая территория юго-восточного Забайкалья расположена в пределах листа государственной геологической карты М-50 (Борзя) масштаба 1 : 1 000 000 и характеризуется сложным геологическим строением, а также длительной историей развития, которая, по мнению всех исследователей, во многом определила локализацию мультиметалльного (Au, U, Mo, Pb-Zn, Sn, W, Ta, Nb, Li, флюорит) эндогенного оруденения в пределах определенных рудообразующих минеральных систем.

В региональном плане площадь относится к зоне сочленения Центрально-Азиатского подвижного пояса и Сибирской плиты, границу между которыми проводят по Монголо-Охотскому разлому [4, 7]. В развитии мезозоид юго-восточного Забайкалья выделяется яншанский этап тектономагматической активизации (ТМА), с которым связаны мощные процессы активизации во всем Монголо-Охотском складчатом поясе [4]. Учитывая процессы позднемезозойской ТМА, с которой связаны почти все металлические полезные ископаемые региона, выделение и интерпретация СЦТ является крайне актуальной задачей.

На основе применения ГИС технологий и анализа данных ДДЗ с созданием детальной цифровой модели рельефа (ЦМР) территории разработан авторский подход к дешифрированию и геолого-металлогенической интерпретации СЦТ в контексте выявления и прогноза рудообразующих минеральных систем. Проведенная работа является частью проекта по созданию на основе современных методов дистанционного анализа и нейросетевых технологий комплексной прогнозно-поисковой модели для территории юго-восточного Забайкалья. Полученные результаты демонстрируют широкие возможности структурно-пространственного анализа (особенно в связи с дешифрированием СЦТ) с точки зрения решения фундаментальных и практических задач, связанных с выявлением источников, путей миграции и областей локализации рудного вещества, а также прогноза полезных ископаемых различных геолого-промышленных (геолого-генетических) типов.

В пределах территории юго-восточного Забайкалья, учитывая высокое пространственное разрешение ЦМР, удалось выявить 1285 СЦТ от 1,1 до 73,4 км в диаметре. При этом структуры диаметром менее 10 км и площадью менее 80 км^2 составляют 85 % от общего количества выявленных структур. Наблюдается плавное увеличение числа структур с уменьшением их диаметра.

Установлено, что пространственные максимумы относительной удельной плотности оруденения (экстенсивность оруденения) в пределах территории сконцентрированы на периферии крупных СЦТ, а также вне их границ, но в непосредственной близости, особенно относительно областей интерференции, пространственного сближения и примыкания структур. Большинство известных рудных объектов приурочено к внутренним и близпериферическим областям структур менее 10 км в поперечнике.

Самая крупная выявленная нами структура на исследуемой площади, с диаметром 73,4 км и расположенная в северной части площади, маркирует очаг, вероятно, парагенетически связан-

ный с отложением золотой, свинцово-цинковой, медной, сурьмяной, оловянной и молибденовой минерализации. В зависимости от развития дочерних СЦТ или наложения более поздних структур ниже рангом, являющихся отражением менее глубинных очагов, появляется возможность более точной локализации рудообразующих систем, связанных с определенным типом минерализации.

На основе создания модельных разрезов, включая построение современной дневной поверхности и реконструкцию палеоповерхности относительно величины уровня эрозионного среза, построения подошвы гнейсо-гранитового слоя, реконструкцию глубинного положения Восточно-Забайкальского ареал-плутона, границ СЦТ, отражение разрывных нарушений разных рангов, вынос положения крупнейших рудных объектов территории, с использованием геологической информации восстановлены глубины локализации предполагаемых магматических очагов в связи с выделенными структурами. Установлено, что СЦТ и связанные с ними реконструированные очаги, демонстрируют тесную пространственную связь с глубинными разломами, которые, вероятно, играли роль магмоподводящих каналов. Известные крупные рудные объекты чаще всего приурочены преимущественно к периферии малых локальных СЦТ.

На основе выявленных и визуализированных в виде отдельных схем структурно-пространственных критериев в связи с развитием СЦТ и разрывных нарушений с помощью нормирования и определения коэффициентов веса для каждого критерия в пределах исследуемой территории юго-восточного Забайкалья созданы количественные прогнозно-поисковые модели, точность которых заверялась по положению эталонных месторождений и рудопроявлений, известных в пределах площади. Точность комплексной количественной прогнозно-поисковой модели составила 89 %. Данная модель может быть дополнена за счет применения методов структурно-геоморфологического, пространственно-геометрического и тектонофизического анализов разрывных нарушений, а также использована при создании локальных прогнозно-поисковых моделей перспективных металлогенических таксонов.

Таким образом, в соответствии с концепцией минеральных систем [8] реконструированы источники, пути миграции и места наиболее вероятного отложения рудной минерализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Брюханов В. Н., Буш В. А., Глуховский М. З., Зверев А. Т., Кац Я. Г. Кольцевые структуры континентов Земли. – М. : Недра, 1987. – 184 с.
2. Гуревич Д. В. Кольцевые структуры: важнейшие механизмы образования // Региональная геология и металлогения. – 2009. – № 39. – С. 14–23.
3. Ежов Б. В., Худяков Б. И. Морфотектоника геодинамических систем центрального типа. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. – 129 с.
4. Красный Л. И. Тектонотип межблоковой (коллизионно-аккреционной) структуры: системы Монголо-Охотская и Циньлинская // Тихоокеанская геология. – 1997. – Т. 16. – № 5. – С. 3–9.
5. Невский В. Д., Фролов Д. Д. Структуры рудных месторождений кольцевого типа. – М. : Недра, 1985. – 247 с.
6. Соловьев В. В. Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа. Объяснительная записка к Карте морфоструктур центрального типа территории СССР масштаба 1 : 10 000 000. – Ленинград : Мингео СССР, Всесоюз. ордена Ленина науч.-исслед. геологический ин-т., 1978. – 111 с.
7. Таусон Л. В., Антипин Н. С., Захаров М. И., Зубков В. С. Геохимия мезозойских латитов Забайкалья. – Новосибирск : Наука, 1984. – 189 с.
8. Wyborn L. A. I., Heinrich C. A., Jaques A. L. Australian Proterozoic mineral systems: essential ingredients and mappable criteria // AusIMM Publication Series 4/94. – 1994. – P. 109–115.

Федоров Д. Т. (dtfedorov@tsnigri.ru)
ФГБУ ЦНИГРИ, г. Москва

О ТЕКУЩЕМ СОСТОЯНИИ МИРОВОГО РЫНКА МПГ

Рассмотрено текущее состояние и ближайшие перспективы мирового рынка платины и палладия, их производство и потребление, а также разведанные запасы. Дается прогноз баланса рынка в условиях его высокой волатильности.

Ключевые слова: платина, палладий, автокатализаторы, ювелирные изделия, запасы, производство, потребление, цены, баланс рынка.

К металлам платиновой группы относятся палладий, платина, рутений, родий, осмий и иридий, обладающие схожими физическими и химическими свойствами, такими как инертность, тугоплавкость, высокая каталитическая активность, что делает их востребованными как в промышленности, так и в ювелирном производстве. Около 90 % всего объема производства МПГ приходится на платину и палладий, рынки которых и рассмотрены ниже.

Основная добыча МПГ приходится на ликвационные медно-никелевые месторождения (Норильск, Садбери) и малосульфидные платинометальные (месторождения комплексов Бушвельд и Стиллуотер). По данным Johnson Matthey, 58 % мировой добычи платиновых металлов приходится на Южную Африку, на долю России – 26 %, остальное добывается в Зимбабве (5 %), Канаде и США (9 %) и других странах (2 %). Общие мировые запасы МПГ, по данным USGS, составляют около 100 тыс. тонн, и более 70 % из них сосредоточены в двух крупнейших месторождениях – Бушвельдском комплексе ЮАР и в Норильском рудном районе в России. В рудах Бушвельда содержание платины вдвое выше, чем палладия, в то время как в Норильске заметно преобладает последний, так что ЮАР является крупнейшим мировым производителем платины, а Россия – палладия.

Крупнейшим потребителем палладия является отрасль производства автомобильных катализаторов (82 %), далее следуют химическая промышленность, медицина (по 6 %), электроника и ювелирная промышленность (по 2 %). Платина также используется в автокатализаторах (40 %), ювелирном деле (25 %), химии (9 %), выпуске стекла (4 %), электронике (2 %) и других отраслях.

Потребление палладия в промышленности увеличилось в 2021 г. на 0,3 млн унций (10 т) или +3 % г/г и составило 9,9 млн унций (309 т), однако в последние годы проявилась тенденция к его снижению, отражая последствия эпидемии COVID-19, рост выпуска электромобилей, падение спроса на электронику и остаточное замещение палладия платиной, начатое в предыдущие годы из-за значительной разницы в цене. В 2022 г. потребление уменьшилось на 4 % до 295 т, в 2023 г. еще на 1 %, а в 2024 г. ожидается снижение на 2 %. При этом аналитики ждут коррекции нисходящего тренда цены на палладий, поскольку дефицит рынка в 2023 г. составил -0,9 млн унций, а в 2024 г. ожидается -0,4 млн унций. Объем производства первичного палладия снизился в 2023 г. на 5 % (-0,5 млн унций), а в 2024 г. ожидается рост на 0,4 млн унций.

Потребление платины в промышленности в 2022 г., по оценкам аналитиков, по сравнению с предыдущим годом снизилось на 3 т (-1 %) – до 221 т. В 2023 г. оно выросло на 8 % (+0,6 млн унций), а в 2024 г. ожидается рост на 2 %. Поставки платины в 2023 г. сократились на 1 %, а в 2024 г. прогнозируется рост на 2 %. Несмотря на восстановление спроса, на рынке платины в 2021 г. наблюдался профицит в +0,2 млн унций, а в 2022 г. в +0,9 млн унций по причине роста производства в ЮАР за счет переработки ранее накопленных запасов незавершенной продукции и оттока инвесторов из ETF-фондов, однако в 2023 г. он сменился дефицитом, который составил -0,4 млн унций, а в 2024 г. ожидается -0,3 млн унций. Тренд цены останется нейтральным при достаточно высокой ее волатильности. Общие макроэкономические настроения продолжают оказывать давление на цены на сырьевые товары, поскольку финансовые регуляторы крупнейших мировых экономик повышают ставки.

Производители автомобильных катализаторов опасаются дефицита палладия из-за того, что ГМК «Норильский никель» из-за логистических ограничений не сможет поставить на рынок

запланированный объем производства, поскольку поставки палладия и платины из РФ столкнулись с перебоями из-за запретов на авиаперелеты. «Норникель» не находится под западными санкциями, но ключевым риском для его производственной программы являются проблемы с поставками техники и запчастей. Компания работает над альтернативной цепочкой поставок своих металлов, ориентированной на Китай и рынки Юго-Восточной Азии. Решение торговой ассоциации LPPM (London Platinum and Palladium Market) исключить два крупных российских государственных рафинировочных завода из списка «хороших» поставщиков (good delivery) не оказало существенного влияния на продажи «Норникеля», поскольку компания всегда отдавала приоритет продажам потребителям, а не лондонскому биржевому рынку.

Существует высокая корреляция между ценами на металл и средствами, которые компании готовы выделять на поисково-разведочные работы. Растущий спрос на МПГ будет стимулировать увеличение их производства горнодобывающими компаниями и рост инвестиций в поисковые и разведочные работы для поддержания и развития минерально-сырьевой базы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Годовой отчет ПАО «ГМК «Норильский никель» за 2022 год [Электронный ресурс] – URL: https://www.nornickel.ru/upload/iblock/ab5/6t3fuhf1wsby43fpphdhae0fuoor7x5s/2022_Annual_Report_of_PJSC_MMC_Norilsk_Nickel_rus.pdf (дата обращения 15.02.2024).
2. «Норникель» повысил прогноз по мировому дефициту палладия. «Коммерсантъ» от 05.12.2023 [Электронный ресурс] – URL: https://www.kommersant.ru/doc/6380305?query=палладий (дата обращения 15.02.2024).
3. A guide to PGMs by Johnson Matthey. 2023 [Электронный ресурс] – URL: https://matthey.com/documents/161599/404086/7843_JMP_PGM_Guide_3_v2.pdf/82c84aa8-5c32-2dbc-f47d-c1752a500989?t=1707173188044 (дата обращения 15.02.2024).
4. Mineral Commodity Summaries 2023 by U.S. Geological Survey [Электронный ресурс] – URL: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf (дата обращения 15.02.2024).
5. Quintessentially PGMs. Nornickel' Market research team. 04.12.2023 [Электронный ресурс] – URL: https://www.nornickel.ru/upload/iblock/118/lrll4mvkgngt5jbn25e0nkde02srfooy/2023_12_04-Quintessentially-PGMs.pdf (дата обращения 15.02.2024).

Фомина М. И.[2] (mif-74@yandex.ru), Михалицына Т. И.[1] (mihalitsina@neisri.ru)

[1] ФГБУ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан,

[2] ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ХАРАКТЕРНЫЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ Au-КВАРЦЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУЛЬБАТКАН (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Установлено, что в пределах исследуемой площади золоторудная минерализация, локализованная в телах гранитоидов, контролируется зоной интенсивного проявления разрывных нарушений. Гидротермально-метасоматические изменения рудовмещающих пород напрямую зависят от степени дробления и смятия. Согласно рудно-минеральным парагенезисам выделено две стадии рудного этапа. С первой связано образование полевошпат-кварцевых, карбонат-кварцевых и кварцевых жил с последующим брекчированием и цементацией серицит-кварцевым материалом. В эту стадию происходит отложение блеклорудной и полисульфидной (халькопирит, галенит, сфалерит) минерализации по трещинам катаклаза и микропустотам в пирите и кварце. В этот же период начинается отложение самородного золота и завершается на второй стадии в ассоциации с теллуридами Pb, Au, Ag и небольшим количеством серебра и глинистых минералов. По данным микроаналитических исследований золото характеризуется отсутствием микропримесей и высокой пробой, среднее значение 928,39 ‰ при вариации пробности от 809,82 до 968,91 ‰. С пострудным этапом связано наложение минералов висмута и кобальтина на минералы ранних парагенезисов; также отмечается развитие микропрожилков (безрудных) доломита, кварца.

Ключевые слова: гидротермально-метасоматические изменения, березиты, Чульбатский массив, золоторудная минерализация.

Увеличение объемов добычи золота диктует необходимость своевременного восполнения Российской минерально-сырьевой базы, основывающейся на комплексном изучении перспективных для отработки рудных объектов. Одними из основных прямых поисковых признаков золотого оруденения являются минералогические. Цель исследований – выявление характера и интенсивности метасоматических изменений с установлением последовательности минералообразования, как рудной, так и метасоматической. Минералого-петрографические исследования предусматривали изготовление и описание более 200 препаратов из образцов рудовмещающих пород и руд, отобранных из открытых горных выработок и из скважин. Для оптических методов исследований применялся оптический микроскоп Axioplan Imagin.

Месторождение Чульбаткан расположено в верховьях руч. Чульбаткан – левого притока р. Большая Уда. Входит в состав Чульбат-Херпучинского золоторудного узла Нижнеамурской металлогенической зоны. В региональном плане месторождение приурочено к Горинско-Баджальскому звену Сихотэ-Алинской складчатой системы и представлено интенсивно дислоцированными осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями Горинской структурно-формационной зоны [1]. Вмещающие породы месторождения Чульбаткан представлены верхнеюрскими терригенными толщами (J_3), нижнемеловыми флишевыми толщами горинской и пионерской свит (K_1gr–K_1pn), терригенными молассоидными отложениями пиванской свиты (K_1pv), смятыми в синклиналь меридионального простирания (Бичинская синклиналь) и прорванными Чульбатским массивом гранодиорит-тоналитового состава нижнеамурского комплекса ($\rho\gamma K_2$). Месторождение приурочено к его юго-восточному эндоконтакту. Терригенно-осадочные породы контактово-метаморфизованы, от слабо измененных ороговикованных песчаников и пятнистых сланцев до кордиеритовых роговиков.

Рудовмещающие породы месторождения, представленные плагиогранитами, гранитами и в меньшей степени гранодиоритами, *по петрогеохимической характеристике* относятся преимущественно к метаглиноземистым, единично к перглиноземистым породам [4] и соответствуют породам магнезиальной высококалиевой известково-щелочной серии [2, 3]. Содержание SiO_2 в породах изменяется от 47,57 до 76,14 мас. % при K_2O/Na_2O от 0,10 до 1,84; величина коэффициента агпаитности $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ = 0,53–0,91. Для определения химического состава были отобраны образцы из наименее измененных (макроскопически) разностей.

Гидротермально-метасоматические изменения рудовмещающих пород проявлены крайне неравномерно от слабо (5–20 %) до сильно проявленных (20–60 %), в единичных образцах до полно проявленных (80–100 %) разностей и напрямую зависят от степени их дробления. Начальная стадия катаклаза проявляется волнистым и блоковым угасанием кварца, образованием криволинейных ограничений с формированием сутурных контактов; изгибами и смещением двойниковых полосок плагиоклаза. При усилении процесса происходит милонитизация пород, образуется матрикс (мелкозернистый цемент), возникает вторичная структура за счет раздробления первичных минералов. Милониты характеризуются линейным расположением образующих его частиц мелкозернистого (вплоть до пылевидного) основного материала (матрикса) с вкраплениями полуразрушенных зерен исходных минералов (порфирокластов). Вторичные изменения и перекристаллизация матрикса приводят к образованию бластомилонитов. Наиболее богатые Au рудовмещающие породы в разной степени брекчированы и метасоматически изменены.

В целом, для метасоматически измененных пород характерно: развитие серицита как по плагиоклазу, так и по основной массе; альбитизация калиевого полевого шпата; опацитизация и последующая доломитизация и серицитизация темноцветных минералов; карбонатизация (развитие ксенобластов карбоната по всей массе породы и формирование прожилков); перекристаллизация и образование вторичного кварца; рудная минерализация. Максимальные метасоматические изменения характерны для бластомилонитов. Также следует отметить калишпатизацию пород (участками), сопровождающуюся изменением окраски (гранитоиды приобретают розовый цвет), замещением плагиоклаза альбитом, развитием кальцита и доломита.

Таким образом, гидротермально-метасоматические изменения по плагиогранитам и гранодиоритам выражены березитизацией пород, сопровождаемой наложенной жильной минерализацией (прожилки и жилы карбонат-кварцевого, кварцевого и адуляр-кварцевого состава).

Рудная минерализация месторождения Чульбаткан представлена 58 минеральными видами, из которых 32 – рудных. Эти минералы имеют разную степень распространенности.

В рудах установлено три генерации кварца. Кварц-I – хрусталевидный, сахаровидный, прозрачный, мелко- до среднезернистого, слабо лимонитизирован, без рудной минерализации. Остроугольные обломки кварца-I пересекаются прожилками карбоната и впоследствии сцементированы серицит-кварцевым (кварц-II) агрегатом. Формирует прожилки мощностью до 4,5 мм в слабо лимонитизированной вмещающей породе. Кварц-II – структура от мелко- до скрытокристаллической, полупрозрачный до непрозрачного, трещиноватый. Образует прожилки и жилы в аплитах и гранитоидах, а также выполняет роль цемента в серицит-кварцевой брекчии. В призальбандовой части прожилков установлены включения полевого шпата, карбоната, тонкие прожилки в зальбандовой части содержат примесь глинистых минералов и пирита. К прожилкам кварца-II приурочена рудная минерализация (пирит, полисульфиды, теллуриды Pb, Au, Ag, а также самородное золото). Мощность прожилков не более 1,5 мм. Кварц-III – халцедоновидный, содержит глинистые минералы, мелкие частицы молибденита и самородного серебра.

Среди рудных минералов наибольшим распространением пользуются пирит и полисульфиды, в основном приуроченные к кварцевым прожилкам в брекчированных гранитоидах. Сульфиды срастаются между собой и с минералами золота и серебра (гессит, петцит, калаверит, сильванит, акантит, самородное золото и серебро). Необходимо также отметить наличие в рудах минералов кобальта и кобальтсодержащего станнина и халькопирита, а также минералов висмута (теллуровисмутит, висмутит, алтаит, айкинит, хедлейит, крупкаит, эмплектит, икунолит, купровисмутит, самородный висмут). Эти минералы обрастают сульфиды более ранних генераций или пересекают их, что говорит о более позднем их происхождении.

Самородное золото – главный полезный компонент руд. Формы проявления самородного золота: а) включения в кварце-II; б) в кварцевых прожилках с примесью глинистого материала и граните; в) отлагаются по трещинам катаклаза в пирите и галените; г) в ассоциации с полисульфидами (халькопирит, галенит, сфалерит), теллуридами Pb, Au, Ag (гесситом, алтаитом, петцитом, калаверитом, сильванитом) и самородным висмутом. По данным микроаналитических исследований золото характеризуется отсутствием микропримесей (кроме Ag) и высокой пробой, среднее значение 928,39 ‰ при вариации пробности от 809,82 до 968,91 ‰. При этом на поверхности отмечается небольшое разубоживание руд, т. е. среднее значение пробности золота из поверхностных горных выработок 903,95 ‰, а в подземных горных выработках – 933,59 ‰.

На основании взаимоотношений минералов и минеральных парагенезисов можно предположить следующую последовательность минералообразования.

1. *Метасоматический этап.* Гидротермально-метасоматические изменения рудовмещающих пород проявлены крайне неравномерно (от слабо проявленных до полно проявленных разностей) и напрямую зависят от степени дробления. При начальной стадии гранитоиды катаклазированы, позднее милонитизированы. Вторичные изменения и перекристаллизация матрикса приводят к образованию бластомилонитов. С этим этапом связано отложение пирита, в дальнейшем подвергшегося катаклазу.

2. *Рудный этап* формируется в две стадии. С первой связано образование полевошпат-кварцевых, карбонат-кварцевых и кварцевых жил с последующим брекчированием и цементацией серицит-кварцевым материалом. В эту стадию происходит отложение блеклорудной и полисульфидной (халькопирит, галенит, сфалерит) минерализации по трещинам катаклаза и микропустотам в пирите и кварце. В этот же период начинается отложение самородного золота и завершается на второй стадии в ассоциации с теллуридами Pb, Au, Ag и халцедоновидного кварца с небольшим количеством серебра и глинистых минералов. По данным микроаналитических исследований золото характеризуется отсутствием микропримесей и высокой пробой, среднее значение 928,39 ‰ при вариации пробности от 809,82 до 968,91 ‰.

3. С пострудным этапом связано наложение минералов висмута и кобальтина на минералы ранних парагенезисов; также отмечается развитие микропрожилков (безрудных) доломита, кварца.

4. Гипергенный этап проявлен в близповерхностных условиях.

Таким образом, формирование месторождения происходило на протяжении нескольких этапов, отличающихся скачкообразным изменением условий формирования. В метасоматический (допродуктивный) этап отлагается пирит, впоследствии подвергшийся катаклазу. Для минералов рудного этапа на начальной стадии характерно формирование галенита и алтаита, при постепенном остывании рудной системы происходит отложение сфалерита, халькопирита и блеклых руд. В завершении рудной стадии образуются теллуриды Au и Ag, самородное золото и серебро. С пострудным этапом связан очередной всплеск кислого магматизма, сопровождающийся повышением температуры и отложением кобальтина и висмутина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Забродин В. Ю. Структура и эволюция Баджальского вулкано-плутонического ареала (Дальний Восток) // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 75. – С. 49–59.
2. Frost B. R., Arculus R. J., Barnes C. G. et al. A geochemical classification of granitic rocks // J. Petrol. – 2001. – V. 42. – P. 2033–2048.
3. Peccerillo R., Taylor S. R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey // Contrib. Mineral. Petrol. – 1976. – V. 58. – P. 63–81.
4. Shand S. J. Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite. 2-nd ed. – New York : John Wiley, Sons, 1943. – 360 p.

Хачатрян Г. К. (khachatryan_g_k@mail.ru), Анашкина Н. Е. (for_nataliya@list.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПРИМЕНЕНИЕ ИК-ФУРЬЕ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ ПРИ ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА

Разработана методика исследования минералов-спутников алмаза под ИК-Фурье микроскопом. На конкретных примерах рассмотрены типоморфные свойства кимберлитовых гранатов, оливинов, клинопироксенов и особенности их ИК-спектров, которые могут использоваться в прогнозно-поисковых целях. Показано, что применение ИК-Фурье микроскопии и созданной в ЦНИГРИ электронной библиотеки спектров индивидуальных зерен минералов способствует повышению эффективности анализа шлиховых проб при прогнозе и поисках месторождений алмаза.

Ключевые слова: ИК-Фурье микроскоп, ИК-спектры, волновое число, алмаз, кимберлиты, минералы-спутники алмаза, типоморфизм, шлиховые пробы, прогноз и поиски, месторождения алмаза.

Использование современных физических методов исследования вещества способствует повышению эффективности шлихо-минералогических поисков месторождений алмаза. Одним из таких методов является ИК-Фурье микроскопия, позволяющая «insitu» анализировать отдельные кристаллы и их фрагменты (размером ≥ 5 мкм) большинства оптически прозрачных минералов. Этот метод идеально подходит для исследования шлиховых проб и единичных зерен минералов, которые необходимо сохранить для дальнейшего более детального анализа.

ИК-спектр представляет собой результат взаимодействия вещества с инфракрасным излучением. Он содержит полосы поглощения излучения, соответствующие частотам колебаний связанных атомов, которые составляют молекулы исследуемого образца, и является индивидуальным для веществ разнообразного состава и агрегатного состояния.

В отличие от микрозондового метода ИК-спектроскопия позволяет судить не только о составе, но и о структуре отдельных минералов и их полиморфных модификаций, например, кианита, силлиманита и андалузита с общей химической формулой Al_2SiO_5. Преимуществом ИК-спектроскопии по сравнению с рентгенографическими методами является возможность детального исследования рентгеноаморфных, скрытокристаллических и структурно неупорядоченных фаз, например, метамиктного циркона. Помимо этого, метод позволяет анализировать флюидные включения в алмазе, гранате, оливине, цирконе, содержащие H_2O, CO_2, органические соединения и оценивать концентрацию структурных гидроксильных групп в гранате, оливине, пироксене, цирконе, кианите, рутиле, а также азотных и водородных центров в алмазе. Все эти генетически информативные характеристики индикаторных минералов кимберлитов необходимо учитывать при шлихо-минералогических поисках месторождений алмаза.

Вместе с тем на практике применение ИК-микроскопа для анализа шлиховых проб затруднено из-за отсутствия в литературе эталонных спектров индивидуальных зерен большинства минералов, случайно ориентированных по отношению к источнику излучения. Это препятствие удалось устранить за счет создания в ЦНИГРИ собственной библиотеки эталонных спектров разнообразных минералов (образцы с геологической привязкой и известным химическим составом) и, в том числе, алмаза и его минералов-спутников. Их спектры были получены на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 380 в комбинации с ИК-микроскопом Centaurus компании THERMO Scientific – основного производителя аппаратуры для инфракрасной спектроскопии. Запись, обработка спектров, их занесение в библиотеку μ-IRS Minerals и последующая автоматическая идентификация минералов осуществлялись с помощью специальной программы OMNIC.

Главным индикаторным минералом кимберлитов является алмаз, ИК-спектры монокристаллов которого хорошо изучены. Минерал идентифицируют по характеристическим линиям собственных колебаний алмазной решетки в диапазоне 1900–2700 $см^{-1}$. Самыми распространенными в алмазах являются структурные примеси азота в формах N (одиночные замещающие углерод атомы), A (азотные пары) и B (тетраэдрические группировки), проявляющиеся в ИК-спектрах в виде главных максимумов поглощения ~ 1130, 1280 и 1175 $см^{-1}$ соответственно. Помимо примеси азота в кристаллах алмаза часто присутствует структурная примесь водорода, обычно фиксируемая по главной спектральной линии около 3107 $см^{-1}$. Конфигурация ИК-спектров алмазов зависит от содержания азота и форм его вхождения в кристалл, причем выделяют спектральные типы алмаза: IIa («безазотный»), Ib (только N-форма), IaAB (A- и B-формы). Спектральные типы алмазов, обнаруженных в шлиховых пробах, следует учитывать при решении поисково-прогнозных задач. Например, присутствие в пробах алмазов типа Ib, при этом не содержащих структурного водорода, указывает на техногенное происхождение этих кристаллов. В пробах, отобранных на алмазоносных территориях, особый интерес представляют находки кристаллов с «аномальными» свойствами, не характерными для уже известных в районе коренных источников. Например, в Мало-Ботуобинском районе Якутии к таким алмазам относятся кристаллы типа IIa.

Среди наиболее типичных минералов кимберлитов под ИК-микроскопом легко диагностируются пироповые гранаты, тогда как информативные спектры хромшпинелидов и пикроильменитов, принадлежащих к соединениям с ионным типом химических связей, получить не удается. Остальные минералы-спутники алмаза: хромдиопсид, оливин, циркон, кианит, относящиеся к классу силикатов, а также апатит надежно идентифицируются под ИК-микроскопом по характеристическим линиям обертонов колебаний групп SiO_4 и PO_4 соответственно в области 1600–2200 $см^{-1}$. Дополнительными диагностическими признаками этих минералов служат специфические линии валентных колебаний структурных ОН-групп в области 3200–3800 $см^{-1}$. Важно отметить, что для каждого из вышеназванных минералов частотные характеристики пиков, их количество и соотношение интенсивностей индивидуальны. Кроме того, с учетом положения и формы пика ОН-групп около 3280 $см^{-1}$ можно определить наличие в пробах такого минерала-спутника алмаза как рутил, характеризующегося преимущественно ионным типом химических связей, которые слабо проявлены в ИК-спектре.

При прогнозировании и поисках месторождений алмаза важно не только диагностировать его минералы-спутники, но и выявить их типоморфные свойства, с той или иной долей веро-

ятности указывающие на тип коренного источника этих минералов (кимберлитовый или иной). Основным индикаторным минералом кимберлитов является пироп, который может иметь разнообразную окраску, но четко отличается под ИК-микроскопом от альмандинов и гранатов иного состава по соотношению волновых чисел спектральных линий в диапазонах 925–945 $см^{-1}$ (1) и 870–890 $см^{-1}$ (2). В спектрах пиропов разница (Δ) между волновыми числами пиков 1 и 2 максимальна по сравнению с альмандинами и гранатами иного состава и составляет 54–58 $см^{-1}$. Для сравнения отметим, что в спектрах альмандинов Δ = 46–52 $см^{-1}$, а для андрадит–гроссуляров соответствует 41–47 $см^{-1}$.

Оливин – породообразующий минерал кимберлитов, который используется при шлихо-минералогических поисках месторождений алмаза совместно с другими его минералами-спутниками. В кимберлитах наиболее распространены оливины форстеритового состава. Их типоморфными характеристиками являются спектральные линии с волновыми числами ≥ 2022 $см^{-1}$, отражающие высокую магнезиальность оливина, а также пик с волновым числом ≥ 3570 $см^{-1}$ в области 3500–3700 $см^{-1}$, обусловленный характером гидроксильных групп, входящих в структуру оливина.

Среди клинопироксенов кимберлитов преобладают кальций-магниевые. Хромдиопсид, обладающий яркой изумрудно-зеленой окраской, является важным поисковым минералом кимберлитов. Типоморфными ИК-характеристиками диопсида служат волновые числа двух спектральных линий в областях 1000–1060 $см^{-1}$ и 1500–1600 $см^{-1}$, причем хромдиопсид из кимберлитов отличается относительно повышенными значениями этих параметров: > 1040 и > 1540 $см^{-1}$ соответственно.

Особенности ИК-спектров других спутников алмаза, таких как циркон и апатит, изучены в меньшей степени. Кристаллическая структура циркона из кимберлитовых трубок обладает совершенством и содержит гидроксильные группы. Это выражается наличием многочисленных четких линий в области спектра 1800–2000 $см^{-1}$, которые относятся к обертонам валентных Si–O колебаний кремнекислородного тетраэдра, а также пиков около 3380 и 3420 $см^{-1}$, связанных с колебаниями соответственно OH–ZrZrSi- и OH–ZrZr-групп. Однако подобные спектральные характеристики типичны не только для кимберлитовых цирконов и иногда отмечаются для цирконов из метаморфических пород и метасоматитов.

Апатит из кимберлитовых пород обычно характеризуется повышенным содержанием фтора. Спектры фторапатитов, записанные под ИК-микроскопом, содержат линию около 3540 $см^{-1}$, характеризующую водородную связь гидроксильной группы с фтором, а также пики в области 1410–1450 $см^{-1}$, обусловленные примесью карбонат-ионов, входящих в PO_4-тетраэдры. При этом подобные спектры наблюдаются не только для апатита из кимберлитов, но и из других щелочных магматических пород.

В связи с этим циркон, апатит, а также кианит и рутил, обнаруженные в шлиховых пробах под ИК-микроскопом, могут быть отнесены к индикаторным минералам кимберлитов только в сочетании с находками алмаза или пиропа, хромдиопсида, магнезиального оливина.

Диагностику алмаза и его минералов-спутников под ИК-микроскопом для ускорения процедуры можно проводить в режиме предварительного просмотра спектров исследуемых образцов. Обычно же анализируемые зерна выкладываются в виде «дорожки» на светоотражающую поверхность и помещаются на столик микроскопа. Записывается спектр каждого из образцов, автоматически проводится его идентификация и определение характерных волновых чисел, которые обусловлены особенностями химического состава и кристаллической структуры минерала и позволяют судить о его коренных источниках. Как правило, весь этот процесс занимает всего несколько минут.

Таким образом, применение ИК-Фурье микроскопии и разработанной в ЦНИГРИ электронной библиотеки спектров индивидуальных зерен минералов способствует ускорению и повышению достоверности анализа шлиховых проб при прогнозе и поисках месторождений алмаза.

Холмуродов Т. Т. [1] (kholmurodovtt@gmail.com), Султонов П. С. [2] (P_Sultanov@mail.ru)
[1] ГУ «ИМР», г. Ташкент, Республика Узбекистан,
[2] ГУ «УГН», г. Ташкент, Республика Узбекистан

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ ГОРЫ КУЛЬДЖУКТАУ

Вулканогенно-осадочная таушанская свита распространена в основном в центре и северных частях горы Кульджуктау. Основные золоторудные объекты г. Кульджуктау локализованы к таушанской свите. Есть разные точки зрения на образование золоторудных объектов г. Кульджуктау, но все они до сих пор не были достаточно обоснованы. Изучение условий образования таушанской толщи имеет большое значение для определения генезиса золоторудных объектов.

Ключевые слова: Кульджуктау, таушанская свита, условия образования, фация, песчаник, метаалевролит, метасоматит.

Горы Кульджуктау богаты золотоносными объектами (такими как Таушан, Янгиказган, Актосты, Адылсай и др.). Исследователями высказывались разные точки зрения относительно формирования рудных объектов, локализованных в таушанской свите. По мнению ряда исследователей, важную роль в рудообразовании играют крутопадающие тектонические нарушения северо-западного – субширотного направления, север-северо-западные разломы, контролирующие рудоотложение и гидротермальные процессы [2, 5], структурные экраны и барьеры, обеспечивающие благоприятные условия для осаждения рудоносных растворов и формирования промышленно значимых скоплений, зоны расланцевания и дробления, шарьяжно-надвиговые области и контакты терригенных толщ с интрузивами гранитов и габброидов Таушанской площади [4, 6].

В палеозойским разрезе Кульджуктауской горы участвуют отложения от кембрия до карбона. В составе палеозойского комплекса выделяются вулканогенно-терригенные и частично карбонатные образования ордовика, карбонатные формации силура, девона, нижнего карбона, вулканогенно-терригенная и молассовая толщи среднего и верхнего карбона [1].

Рудовмещающими породами являются терригенно-осадочные отложения таушанской свиты – глыбовые конгломераты (олистостромы), алевролиты, песчаники, гравелиты и магматические изверженные породы основного состава. Породы эпигенетически изменены. Процессы изменения привели к преобразованию и перекристаллизации осадочных пород и образованию сланцев различного состава.

В результате анализа проб, отобранных из таушанской свиты, геологоразведочных и научных исследований, ранее проведенных на г. Кульджуктау, установлено, что в таушанской свите имеется 16 основных типов пород (таблица).

Распространенность тех или иных разновидностей пород в пределах свиты различная. По петрохимическим особенностям (39 анализов) среди терригенных пород таушанской свиты выделяются (метод ГАК, %): аркозы – 41, граувакки – 21, глины гидрослюдистые – 15, субграувакки – 10, граувакки, переходные к глинам, – 10, туфы кислого состава – 3, что является показателем резко контрастного строения области сноса [2].

Таблица. Типы пород таушанской свиты

Терригенные породы	Метасоматические породы	Туфотерригенные породы	Карбонатные породы	Эффузивные породы
Песчаник	Сланец	Туфопесчаник	Известняк	Липарит-дацитовый порфир
Гравелит	Метапесчаник	Туфоалевролит	Доломит	Андезит-порфир
Конгломерат	Метаалевролит	Туфогравелит		
Брекчия	Метасоматит			
	Роговик			

Проведенный литолого-фациальный анализ пород вулканогенно-осадочной толщи, слагающих таушанскую свиту, позволил выделить разности пород по степени удаленности их от центров вулканизма.

Породы жерловой фации. Среди отложений нижнетаушанской толщи встречаются линзы и линзовидные прослои риолитов и их туфов. В нижней части верхнетаушанской толщи среди сланцев отмечаются линзы (от 0,1 до 5 м) измененных, относительно плотных, серых андезитовых порфиритов и их туфов [1].

Риолиты (липарит-порфиры) состоят из вкрапленников кварца, микроклина и перекристаллизованной микрофельзитовой основной массы существенно кварц-полевшпатового состава.

Андезитовые порфириты состоят из порфировых выделений (20–40 %) и основной массы (60–80 %) вторичных минералов (серицит, халцедон, опал, каолин), среди которых просматриваются реликты обломков плагиоклаза и роговой обманки.

Породы околожерловой и промежуточной фаций. Туфопесчаники зеленовато-серые, состоят из угловатых обломков (до 1 мм) спилитоподобных, кремнисто-кварцевых и кремнистых яшмовидных пород, вулканического стекла, алевролитов, известняков и кварца, сцементированных агрегатом глины, серицита и микрозернистого кварца.

Туфоалевролиты андезибазальтовые неравномернозернистые со спорадическими группами обломков базальтового стекла псаммитовой размерности. Туфоалевролит с обломками песчаной размерности 10–15 % (базальтовое стекло и рассланцованные андезиты).

Породы удаленных фаций. Песчаник мелкозернистый плотный с обломочным материалом псаммитовой размерности 80–85 % (кварц 40–45 %, метаалевролиты мелкозернистые полевошпат-кварцевые 35–40%), железистый карбонат (сидерит) 7–50 %, цемент алевритистый 3–5 %.

Алевролиты (мощность от 0,1 до 5 м) серые и темно-серые, тонко-листоватые, плитчатые, часто углистые, тонкогоризонтальнослоистые, состоят из угловато-окатанных зерен кварца, кремнистых, кремнисто-слюдистых пород, хлоритовых и филлитовых сланцев, полевых шпатов, редких обломков бесцветного минерала, зерен циркона, ставролита, рудного минерала.

Гравелиты песчанистые кварц-кремнистые, обломки гравийные 55–60 % (кремни и кремнистые сланцы 45–50 %, кремнисто-сидеритовые породы 7–10 %), кварц 15–20 %.

Конгломераты. Основная масса сложена обломочными зернами кварца, обломками различных пород (сланца, микрокварцита, алевролита). По составу обломков конгломерат – полимиктовый. Диаметр обломков до 1–2 см, по размеру обломков порода соответствует мелкогалечным конгломератам. Форма окатанная, полуокатанная, оскольчатая. В цементе кремнистое вещество, серицит, глинистые частицы, реликты углистого вещества.

Известняки. Состоят в основном из кальцита, реже отмечаются обломки кварца. Порода рассланцованная. Кварц бесцветный, прозрачный. Зерна достаточно малы, чтобы разглядеть волнистое погасание. Форма зерен неокатанная, остроугольная, часто вытянута вдоль сланцеватости. Размер зерен от 0,01–0,0*n* до 0,1–0,1 мм.

Околорудные измененные породы. Сланцы альбит-серицит-хлоритовые (по алевролиту) с обильными бластопорфировыми выделениями гидроксидов железа (гетита с гидрогетитом и лепидокрокитом). Альбит 20–25 %, серицит 7–10 %, хлорит 50–55 %, гидроксиды железа 7–10 %.

Метапесчаники алевритистые интенсивно рассланцованные (гнейсированные) сидерит-(сидероплезит)-кварц-полевошпатовые. Полевой шпат (преимущественно альбит в алевритовой составляющей породы) 45–50 %, кварц (преимущественно в псаммитовой составляющей породы) 25–30 %, сидероплезит 3–5 %, хлорит 10–15 %, серицит 2–3 %.

Метаалевролиты сложены микрообломками основной массы андезита и обломками лейстовидных кристаллов плагиоклаза. Основная масса алевролита хлоритизирована, рассечена микрожилковатыми выделениями гидроксидов железа. Некоторые из наиболее крупных зерен андезита интенсивно альбитизированы, явно автономно от всей остальной массы породы. Вероятно, это обломки более ранних андезитов и туфов андезитовых порфиритов, альбитизированных в условиях пропилитизирующей литификации.

Метасоматиты. Метасоматические изменения представлены в основном окварцеванием, серицитизацией. В составе породы основной материал – кварц, а также примесь полевых шпа-

тов. Кварц бесцветный, наблюдается волнистое погасание. Форма зерен неокатанная, угловатая, редко остроугольная, также отмечаются зерна с корродированными краями. Местами зерна плотно прилегают друг к другу. Размер обломков от 0,0*n* до 0,1–0,2 мм, с преобладанием размеров 0,05–0,1 мм. Содержание кварца среди обломков в шлифе до 80–85 %.

Литологическая разнообразность, складчатость и очень сложная дислокация отложений таушанской свиты усложняют понимание генезиса оруденения. Но анализ распространения жерловых, околожерловых, промежуточных и удаленных фаций вулканогенно-осадочных пород дает нам возможность определить стратиграфическую последовательность образования пород таушанской свиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Айсанов Я. Б., Егоров А. И. Геологическое строение и основные черты минерагении палеозойских образований гор Кульджуктау. – Т. : Фан, 1978. – 120 с.
2. Джурабоев А. Б. и др. Особенности локализации и вещественный состав золотого оруденения месторождения Таушан (Кульджуктау) // Горный вестник Узбекистана. – 2020. – № 2. – С, 39–43.
3. Миркамалов Р. Х. и др. Геологическое строение гор Кульджуктау (Центральные Кызылкумы) // Геология и минеральные ресурсы. – 2021. – № 3. – С. 8–17.
4. Миркамалов Р. Х. и др. Республиканская научная и научно-техническая конференция по теме «Актуальные проблемы геологического образования в Республике и перспективы развития наук о Земле» 3–4 апреля 2020 г., Ташкент.
5. Разиков О. Т., Шарипов Ш. Ф., Нуртаев Б. Х. Структурный анализ гор Кульджуктау на базе дешифрирования космических снимков // Горный вестник Узбекистана. – 2023. – № 1. С. 32–36.
6. Узгеолфонд. Геологический отчет № 36980, 2020 г.

Хоменко М. О. (_homenocka_@mail.ru), Гибшер Н. А., Бульбак Т. А., Шапаренко Е. О. (shaparenko@igm.nsc.ru), Петрова М. А., Томиленко А. А. (tomilen@igm.nsc.ru), Затолокина К. И.

ФГБУН ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ОЛИМПИАДИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ: ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Олимпиадинское месторождение вкрапленно-прожилкового типа на Енисейском кряже является одним из крупнейших месторождений золота в России, запасы которого на сегодняшний день оцениваются более чем в 1560 т. В результате комплексного термобарогеохимического исследования жильного кварца и рудных минералов, а также изотопно-геохимических анализов, получены новые данные о параметрах минералообразующих растворов на глубоких горизонтах месторождения Олимпиада.

Ключевые слова: Енисейский кряж, месторождение золота Олимпиада, термобарогеохимия, глубокие горизонты.

Каменный материал с глубоких горизонтов месторождения был проанализирован комплексом современных методик, который включает в себя микротермометрию, КР-спектроскопию, газовую хромато-масс-спектрометрию, изотопно-геохимические анализы $\delta^{34}S$ сульфидов, $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ карбонатов. Установлено, что формирование золото-сульфидно-кварцевых жильных зон Олимпиадинского золоторудного месторождения протекало в интервале температур 195–500 °С, соленость флюида колебалась от 7 до 17,5 мас. % (NaCl-экв.), флюидное давление составляло 1,8–3,1 кбар (рис. 1). Широкие диапазоны температур, давлений и солености характерны как для глубоких, так и для вышележащих горизонтов месторождения (см. рис. 1) [1].

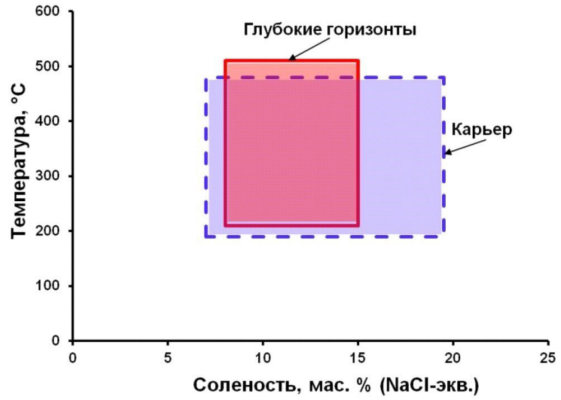


Рис. 1. Температуры гомогенизации и соленость первичных и первично-вторичных флюидных включений в кварце из рудного тела № 4 в карьере и на глубоких горизонтах Олимпиадинского золоторудного месторождения

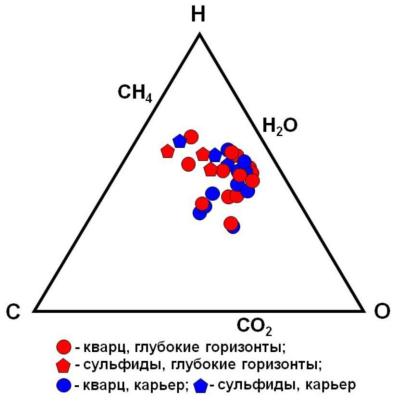


Рис. 2. C-O-H диаграмма состава флюидов, формировавших рудное тело № 4 в карьере и на глубоких горизонтах Олимпиадинского золоторудного месторождения (по данным хромато-масс-спектрометрического анализа)

Согласно КР-спектроскопическим исследованиям, состав первичных и первично-вторичных флюидных включений как в кварце из карьера, так и на глубоких горизонтах представлен, помимо воды, углекислотой, азотом и метаном.

Впервые с помощью газовой хромато-масс-спектрометрии определен состав флюидных включений в пирротине, пирите, арсенопирите, сфалерите, антимоните и кварце из рудного тела № 4 на глубоких горизонтах Олимпиадинского месторождения. По данным хромато-масс-спектрометрического анализа было установлено от 133 до 260 летучих соединений (рис. 2).

В составе флюидных включений в кварце и сульфидах обнаружены вода, углекислота, широкий спектр алифатических (парафины, олефины), циклических (нафтены, арены, полициклические ароматические углеводороды – ПАУ) и кислородсодержащих углеводородов (спирты и эфиры, альдегиды, кетоны и карбоновые кислоты), а также азот-, серо- и галогенсодержащих соединений в различных соотношениях.

Вариации таких параметров, как CO_2/CH_4 = 0,1–499,0, $CO_2/(CO_2 + H_2O)$ = 0,3–0,8, H/(H + O) = 0,44–0,64, указывают на смену окислительно-восстановительных условий в процессе формирования рудных залежей. Так же, как в вышележащих горизонтах, выявлено два типа флюида, принимавших участие в формировании золото-сульфидно-кварцевых жильных зон рудного тела № 4: водно-углекислотный и углекислотно-углеводородный. При этом углекислотно-углеводородный флюид преобладает в зонах с повышенным содержанием золота.

Изотопный состав серы на глубоких горизонтах определен в антимоните ($\delta^{34}S$ составляет от +1,9 до +11,2 ‰ (n = 7)), пирротине (более узкий интервал от +2,1 до +10,8 ‰ (n = 4)), арсенопирите (+6,8 ‰ (n = 1)). Характер распределения $\delta^{34}S$ с глубиной не меняется [1].

В кальцитах глубоких горизонтов $\delta^{13}C$ составляет от -6,9 до 0,35 ‰, $\delta^{18}O$ меняется от 17,7 до 25,3 ‰. В кальцитах из карьера значения изотопов углерода ($\delta^{13}C$) и кислорода $\delta^{18}O$ составляют интервалы от -5,1 до 0,0 и от 15,3 до 24,3 ‰ соответственно. Такие значения изотопов углерода и кислорода указывают на коровый источник флюидов, причем близкий по составу к морским известнякам.

Таким образом, проведенные термобарогеохимические и изотопно-геохимические исследования показали, что формирование рудного тела № 4 Олимпиадинского золоторудного месторождения на глубоких горизонтах и на вышележащих горизонтах в карьере происходило в близких физико-химических условиях, что может быть веским основанием для положительного прогноза на золотоносность рудного тела № 4 на глубоких горизонтах месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гибшер Н. А., Томиленко А. А., Сазонов А. М., Бульбак Т. А., Рябуха М. А., Сильянов С. А., Некрасова Н. А., Хоменко М. О., Шапаренко Е. О. Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов, $\delta^{34}S$

сульфидов, $^{3}He/^{4}He$ флюидов, Ar-Ar возраст и продолжительность формирования // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 9. – С. 1310–1329.

Хотылев О. В. (KhotylevOV@rusgeology.ru)
АО «Зарубежгеология», г. Москва

АЛМАЗОНОСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ МЬЯНМА И ВОЗМОЖНОСТИ ПОИСКОВ В СТРАНЕ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ ДАЛЬНЕГО СНОСА

Обобщена информация по алмазоносности республики Мьянма. Проведен анализ поисковых работ. Предложен рациональный комплекс методов для поисков в стране россыпей алмазов дальнего сноса с предварительным выделением в долинах рек структурных ловушек и определением участков концентрации гидродинамических спутников алмаза.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, поиски, геодинамические спутники, структурные ловушки.

Алмазы являются потенциально важным ресурсом Мьянмы. Однако об их месторождениях имеется очень мало информации. Всего алмазы обнаружены в семи точках страны (рис. 1) и получены только попутно, при промывке россыпей золота, олова или шпинели.

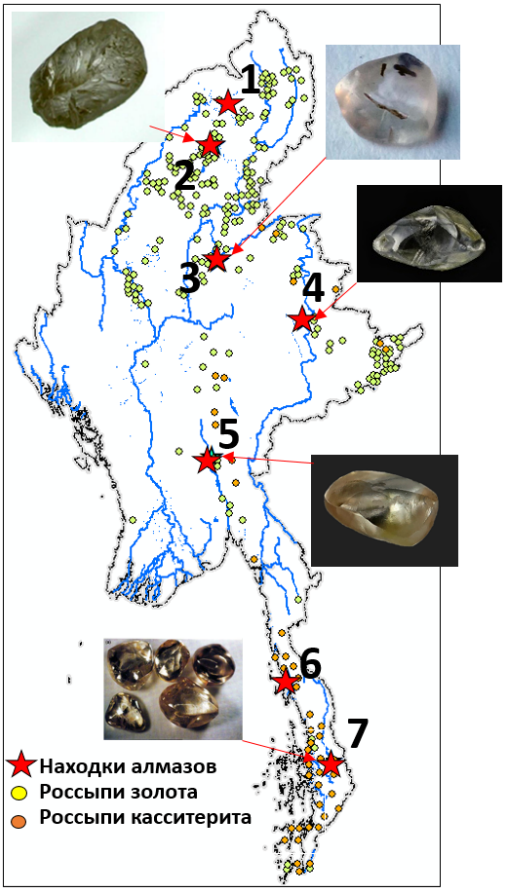


Рисунок. Региональное положение точек с находками алмазов и образцы кристаллов (по [7, 11, 12]):
1 – Hukawng Valley, 2 – Namyazeik, 3 – Mohauk (Momeik), 4 – Thanlwin river, 5 – Toungoo, 6 – Kyaukmedaung, 7 – Theindaw

Первое сообщение о находке алмаза в стране появилось в 1959 г. В 1961 г. группа управления геологической службы страны (DGSE) идентифицировала на аэрофотоснимках несколько кольцевых структур и в аллювии около г. Mohauk (рисунок, 3) обнаружила еще два алмаза – 2 и 0,3 карата [11]. В период с 1971 по 1992 гг. поисковые работы в районе Mohauk (Momeik) были продолжены. В 1974 г. район Mohaung посетили геологи из группы «De Beers». По их сообщениям, в речных песках были найдены минералы-индикаторы [7, 8]. В 1980 г. местными жителями, искавшими золото в 10 км от г. Taungoo (см. рисунок, 5), было обнаружено пять небольших алмазов. С января 1987 по декабрь 1988 гг. DGSE здесь был проведен массовый отбор проб из тридцати карьеров. После обнаружения трех небольших камней разведка алмазов прекратилась [11]. В 1981 г. в районе Kyaukmedaung (см. рисунок, 6) при отработке россыпи касситерита также были извлечены пять небольших алмазов [11, 8]. В июле 1985 г. алмазы были обнаружены в аллювиальной россыпи касситерита на прииске Theindaw (см. рисунок, 7). Единичные находки алмазов были также зафиксированы в гравийных пластах в долине Hukawng (см. рисунок, 1) на севере страны [8], на шпинелевых россыпях Namyazeik (см. рисунок, 2) и на реке Thanlwin river (см. рисунок, 4) в процессе добычи россыпного золота [12].

Находки алмазов фиксируются в гравийно-галечных отложениях четвертичного и более древнего (третичного – точные датировки отсутствуют) возрастов, слои которых приурочены к террасам рек. На разных участках фиксируются один или два алмазоносных горизонта [7, 9].

Максимальное количество камней было получено при отработке касситеритовой россыпи Theindaw, где с 1985 по 1992 гг. были добыты 1886 камней общим весом 1458 кар, размером от 0,02 до 72,55 кар. Кроме того, на площади Mohauk (Momeik) к 1989 г. были найдены более трехсот кристаллов общим весом более 200 кар. Максимальный из камней весил 7 кар, а средний вес камня составил 0,35 кар [10].

Алмазы в основном ювелирного качества и представлены преимущественно целыми кристаллами в виде округлых додекаэдров (включая плоские, удлиненные и составной формы), реже обломками. Цвет камней желтый и коричневый различных оттенков от бледных до темно-красно-коричневых. Фиксируется обилие камней с потертостями, трещинами и коричневыми пятнами радиационного повреждения [7].

Коренные источники алмазов в стране не обнаружены, однако сами алмазы обладают набором признаков, характерных для лампроитов и кимберлитов, но с особенностями, более типичными для лампроитов [11]. Генетические спутники алмазов (без уточнения вида и количества) были обнаружены в районе Mohaung (см. выше). Подтвержденные промежуточные коллекторы алмазов в Мьянме пока также не известны. Предположение о поступлении кристаллов в россыпи из карбон-пермских терригенных пород Mergui Group является проблематичным, поскольку породы этой серии распространены достаточно локально. Аналогично обстоит ситуация с кембрийскими кварцитами и конгломератами Pangyun Formation [8]. В целом состав кристаллов, их морфология и крупность чрезвычайно схожи с алмазами из россыпей Урала [1, 4], что может предполагать источники, аналогичные источникам уральских россыпей.

Отсутствие генетических спутников алмаза в аллювии Мьянмы можно объяснить тем, что таковые или уничтожены в процессе транспортировки и переотложения материала, или в стране имеются коренные источники алмазов, которые не содержат классических генетических спутников этого минерала. Наличие на значительном количестве кристаллов следов дальней транспортировки [7] свидетельствует о том, что наиболее вероятен первый вариант и мы имеем дело с россыпями, сформированными из алмазов дальнего переноса. В этом случае анализ поисковых работ предшественников показывает, что стратегия их проведения по принципу «ищи руду возле руды» была избрана неправильно. Процессы дальнего переноса селективно воздействуют на минералы тяжелой фракции, в результате чего исходные генетические ассоциации преобразуются в гидродинамические ассоциации [6], и в таком случае наличие алмазов в россыпях золота и касситерита является случайным событием. Гидродинамическая же ассоциация алмаза будет состоять из других минералов, со схожими с алмазом плотностями [3, 5], и список таковых может сильно варьироваться в зависимости от состава пород, представленных на территории исследований. Участки высоких концентраций алмазов будут располагаться в других частях долин, нежели россыпи золота и касситерита. Положительным признаком возможности накопления алмазов в аллювии будет наличие в пробе множественных крупных зерен относительно редких в районе гидродинамических спутников, а отрицательным – наличие в пробе повышенных содержаний крупных зерен минералов с плотностью выше 4,5 (циркон, магнетит, ильменит, монацит и пр.)

Кроме того, распределение алмазов в продольном профиле реки будет соответствовать положению структурных ловушек, обусловленных неотектоникой района и историей развития речной сети, которые определяются при структурно-геоморфологическом картировании площади [1].

Таким образом, при поисках россыпей алмазов дальнего переноса в республике Мьянма представляется рациональным использовать следующий комплекс работ:

1. Фиксация участков с находками алмазов;
2. Составление структурно-геоморфологической карты площади с находками алмазов в целях выявления структурных ловушек;
3. Составление карты одновозрастных комплексов рельефа той же площади в целях определения этапов развития речной сети и положения ее отмерших фрагментов;
4. Проведение шлихового опробования выделенных ловушек на предмет определения наличия, количества и размеров гидродинамических спутников алмаза;

5. Проведение крупнообъемного опробования на перспективных участках, выделенных на предыдущих этапах в целях оценки их россыпной алмазоносности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кухаренко А. А. Алмазы Урала. – М. : Гос. науч. тех. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1955. – 515 с.
2. Корчуганова И. И., Костенко Н. П., Межеловский И. Н. Неотектонические методы поисков полезных ископаемых. – М. : МПР РФ, Геокарт, МГГА, 2001. – 211 с.
3. Макеев Б. А. Гидродинамические спутники алмаза россыпи Ичетъю, Средний Тиман // Минералогические музеи : Материалы 4-го Междунар. симпозиума. – СПб, 2002. – С. 190–191.
4. Силаев В. И., Шанина С. Н., Ракин В. И., Филиппов В. Н., Чайковский И. И. Алмазы из туффизитов Урала (кристалломорфология и флюидные включения) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении : Мат-лы научных чтений памяти П. Н. Чирвинского. – Пермь : Изд-во Пермского ун-та, 2010. – Вып. 13. – С. 3–23.
5. Хотылев О. В., Сурков А. В. Гидродинамические спутники алмаза в аллювиальных россыпях реки Макона (Республика Гвинея) // Мат-лы XV международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РКВ – 2015). – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2015. – С. 235–237.
6. Шило Н. А. Учение о россыпях. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 576 с.
7. Kyaw Thu, Khin Zaw. Myanmar: Geology, Resources and Tectonics. Chapter 23. Gem deposits of Myanmar // Geological Society, London, Memoirs. – 2017. – 48 (1). – P. 516–529. – DOI:10.1144/M48.23.
8. Mitchell A. Chapter 17: Popa–Loimye Arc, correlations with Tibet, and alluvial diamonds in Myanmar // Geological Belts, Plate Boundaries, and Mineral Deposits in Myanmar. – Amsterdam : Elsevier. – 2018. – P. 473–482. – DOI: 10.1016/B978-0-12-803382-1.00017-1.
9. Than Htoo Aung. Economic Mineral Occurrences of Momeik-Mohauk Area, Northern Shan State // Dagon University Research Journal. – 2014. – V. 6. – P. 157–166.
10. Thyesun Tay, Thet Tin Nyunt. Diamond Mining at Theindaw, Myanmar // The Journal of Gemmology. – 2019. – 36(7). – P. 594–595. – DOI: 10.15506/JoG.2019.36.7.594.
11. Win T. T, Davies R. M., Grifin W. L., Wathanakul P., French D. H. Distribution and Characteristics of Diamonds from Myanmar // Journal of Asian Earth Sciences. – 2001. – 19. – P. 563–577. – DOI: 10.1016/S1367-9120(00)00055-9.
12. Diamond from Myanmar [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mindat.org/locentries.php?p=5998&m=1282 (дата обращения 06.03.2024).

Черных А. И. (chernykhai@)polyus.ru)
УК «ПОЛЮС», г. Москва

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОЛОТА ЗАПАДНОЙ И ЮЖНОЙ ЧАСТЕЙ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

На основе анализа комплекса дистанционных, геологических, геохимических, геофизических и металлогенических данных обосновано выделение в западной и южной частях Алтае-Саянской складчатой области трех герцинско-каледонских золотоносных (Алтае-Салаирской, Алатауско-Тувинской, Западно-Саянской) и незолотоносной герцинской (Кузнецко-Тувинской) металлогенических субпровинций. На основе анализа авторских данных, фондовых геолого-производственных материалов, результатов разномасштабных геологосъемочных работ и многочисленных публикаций охарактеризованы палеогеодинамические обстановки формирования золотоносных субпровинций, определены их металлогеническая специализация и ведущие рудно-формационные типы золотого и золотосодержащего оруденения.

Ключевые слова: Алтае-Саянская складчатая область, золото, металлогения, островные дуги, гранитоиды.

Алтае-Саянская металлогеническая провинция (АСМП), выделяемая в границах одноименной складчатой области (АССО), расположена в северной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. АСМП – это один из старейших горнодобывающих регионов России, известный с середины XVII века. Начало промышленного освоения региона было связано с добычей угля и железа, позже меди, цинка, свинца и серебра. Учтенная добыча коренного золота на территории АССО ведется около 135 лет, а россыпного – более 190 лет. Основной объем коренного золота добыт из золотосодержащих колчеданно-полиметаллических, золото-скарновых, жильных золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений. Несмотря на наличие отдельных относительно слабо изученных на золото районов (Республика Тыва), территория Алтае-Саянского региона характеризуется высокой геологической изученностью. Большинство известных золоторудных районов с поверхности хорошо опоискованы, и вероятность обнаружения новых крупных рудных полей и месторождений низкая. В этой связи региональные металлогенические исследования, направленные на выявление закономерностей распространения золотого оруденения, позволяют более эффективно проводить поисковые работы.

Выполненные исследования основаны на авторских данных, анализе фондовых геолого-производственных работ о геологии и металлогении территории АСМП, результатах геолого-съемочных работ масштаба 1 : 200 000–1 : 1 000 000 и многочисленных публикаций Л. В. Алабина, Г. А. Бабина, Е. А. Белоножко, Н. А. Берзина, А. Н. Берзиной, А. С. Борисенко, А. Я. Булынникова, И. В. Гаськова, А. И. Гусева, Н. И. Гусева, Э. Г. Дистанова, С. М. Жмодика, В. В. Зайкова, Ю. А. Калинина, А. М. Козлова, В. О. Конышева, А. Ф. Коробейникова, Р. В. Кужугета, И. В. Кучеренко, В. И. Лебедева, В. А. Макарова, О. В. Мурзина, Е. А. Наумова, П. А. Неволько, Г. В. Нестеренко, А. А. Оболенского, А. И. Перепелицына, А. Н. Платонова, К. Р. Рабиновича, Н. А. Рослякова, С. Н. Руднева, В. И. Сотникова, В. А. Сыроватского, С. П. Шокальского, А. Н. Уварова, А. Б. Шепеля, Ю. Г. Щербакова и многих других.

Анализ геолого-структурного строения, геодинамической истории формирования, распределения полезных ископаемых, геохимических, геофизических, минералого-геохимических и изотопно-геохронологических данных позволил обосновать выделение в западной и южной частях АСМП трех крупных золотоносных металлогенических субпровинций: Алтае-Салаирской, Алатауско-Тувинской и Западно-Саянской (рисунок). Кроме того, выделяется Кузнецкая мезозойская металлогеническая зона, золотое оруденение которой наложено на более древние породы. Все эти металлогенические подразделения отличаются геодинамическими условиями формирования и металлогенической специализацией геологических комплексов, закономерностями распределения полезных ископаемых, набором золоторудных рудно-формационных типов и возрастом металлогенических эпох. Внутри каждой субпровинции выделены металлогенические зоны, рудные районы и узлы.

Алтае-Салаирская герцинско-каледонская субпровинция сложена преимущественно вендскими терригенно-карбонатными породами пассивной континентальной окраины в восточной части и кембрийско-ордовикскими офиолитовыми и островодужными вулканогенно-осадочными породами в западной. Среди островодужных комплексов широко распространены не только вулканогенные, но и склоновые терригенные турбидитовые комплексы пород. Отличительной особенностью геологического строения субпровинции является широкое распространение девонских вулкано-плутонических комплексов активной окраины андского типа. Ранне-среднедевонские вулканогенно-осадочные породы слагают наложенные грабены и вулкано-тектонические структуры, а интрузивные породы представлены широко распространенными массивами диорит-гранодиорит-гранитоидного состава. Металлогенический профиль Алтае-Салаирской субпровинции определяет сочетание магматизма на активных окраинах островодужного типа кембрийского и андского типа девонского возраста.

Для субпровинции характерно присутствие широкого спектра полезных ископаемых и металлогеническая специализация на Fe, Zn, Pb, Au, а также Cu, Mn, фосфориты, W, Ni, Cr. В пределах всей субпровинции распространены разновозрастные, преимущественно среднекембрий-

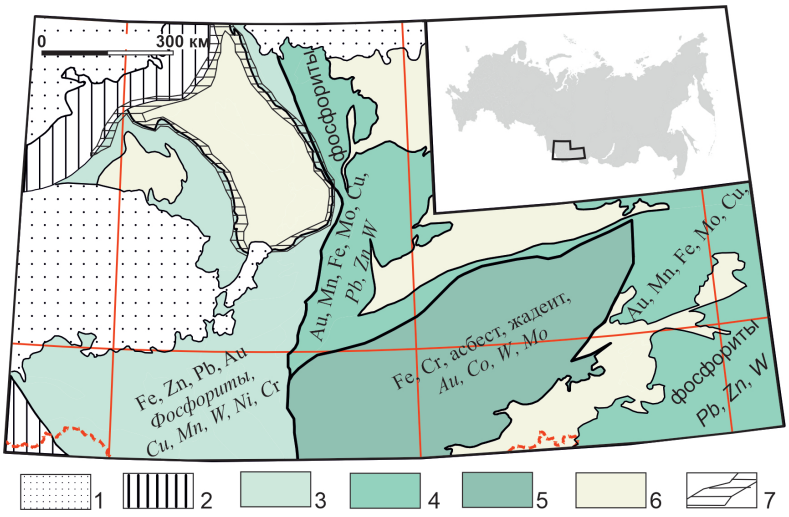


Рисунок. Региональная схема металлогенического районирования западной и южной частей Алтае-Саянской складчатой области:

1 – Западно-Сибирская металлогеническая провинция; 2 – Обь-Зайсанская металлогеническая провинция; 3–7 – Алтае-Саянская металлогеническая провинция: 3 – Алтае-Салаирская субпровинция, 4 – Алатауско-Тувинская субпровинция, 5 – Западно-Саянская субпровинция, 6 – Кузнецко-Тувинская субпровинция, 7 – Кузнецкая металлогеническая зона. Металлогеническая специализация: прямым шрифтом – главные виды полезных ископаемых, курсивом – второстепенные

ские и позднесилурийско-девонские, иногда золотосодержащие, проявления и месторождения железа; кембрийские и девонские средние и мелкие по масштабам месторождения и проявления колчеданно-полиметаллического типа; в отдельных районах устанавливается марганцевое и редкометалльное оруденение.

Золотое и золотосодержащее оруденение в Алтае-Салаирской субпровинции сформировано в две металлогенические эпохи. Золотосодержащее колчеданно-полиметаллическое оруденение образовалось в раннем кембрии в островодужной геодинамической обстановке. Девонская металлогеническая эпоха характеризуется формированием золотого оруденения в условиях активной окраины андского типа. В это время образовались месторождения золото-скарнового и золото-сульфидно-кварцевого типов, связанные с интрузиями, и эпитермального золото-серебряного типа, связанные с вулканитами. Как правило, девонские золотоносные скарны сопровождаются повышенным содержанием меди.

Алатауско-Тувинская герцинско-каледонская субпровинция сложена вендскими терригенно-карбонатными отложениями пассивных океанических поднятий в западной части и широко распространенными вулканогенно-осадочными и интрузивными породами ранне-среднекембрийского возраста, которые прорываются массивами габбродиорит-гранодиорит-гранитного состава средне-позднекембрийско-ордовикского возраста. Формирование ранне-среднекембрийских пород происходило в пределах энсиматической островной дуги и сопряженного задугового океанического бассейна. Образование средне-позднекембрийско-ордовикских гранитоидных комплексов пород происходило в аккреционно-коллизионных условиях. К наиболее крупным тектоническим зонам внутри субпровинции приурочены небольшие линейные грабены и депрессии, сложенные ранне-среднедевонскими преимущественно вулканогенно-осадочными породами. Формирование этих пород происходило в тылу активной окраины континента андского типа в локальных структурах растяжения.

Алатауско-Тувинская субпровинция характеризуется металлогенической специализацией на Au, Mn, Fe, Mo, Cu, фосфориты, а также Pb, Zn, W. Такой металлогенический профиль субпровинции определяется сочетанием широко распространенных магматических пород, сформированных в надсубдукционной геодинамической обстановке (островная дуга – задуговый бассейн) кембрийского возраста и коллизионно-аккреционного типа средне-позднекембрийско-ордовикского возраста. В пределах всей субпровинции распространены месторождения железа и марганца, при этом в отличие от Алтае-Салаирской субпровинции известны крупные

марганцевые и железо-марганцевые месторождения, а собственно железорудные образуют преимущественно мелкие месторождения. Широко распространены признаки оруденения молибден-меднопорфирового типа. Колчеданно-полиметаллическая минерализация распространена в пределах всей субпровинции, однако известно всего несколько мелких и одно крупное месторождение. С полями многочисленных интрузий средне-позднекембрийско-ордовикского возраста связано распространение шеелитовой минерализации.

В пределах Алатауско-Тувинской субпровинции на ранне-среднекембрийском островодужном этапе в связи с интрузивными комплексами формировалось прожилково-жильное оруденение золото-сульфидно-кварцевого и золото-скарнового типов. Предполагается, что образование месторождений золотосодержащего молибден-меднопорфирового типа происходило на заключительных стадиях островодужного магматизма и при аккреции островодужных комплексов. Наиболее масштабно формирование золотого оруденения проявилось на средне-позднекембрийско-ордовикском аккреционно-коллизионном этапе в связи с гранитоидным магматизмом. В эту эпоху формировались золото-кварцевые, золото-сульфидно-кварцевые и золото-скарновые месторождения. В ранне-среднедевонское время в тылу активной андийской окраины в связи с вулканогенными и субвулканическими комплексами образовывались мелкие месторождения эпитермального золото-серебряного типа.

Западно-Саянская герцинско-каледонская субпровинция в центральной части сложена преимущественно кембрийско-ордовикскими островодужными и турбидитовыми комплексами пород и позднекембрийско-силурийскими терригенно-карбонатными шельфовыми отложениями. По периферии субпровинции вдоль крупных разломов развиты метаморфизованные карбонатно-вулканогенно-терригенные венд-раннекембрийские(?) комплексы с крупными массивами альпинотипных гипербазитов, предположительно островодужной и океанической природы. Породы субпровинции прорываются многочисленными девонскими интрузиями коллизионных гранитоидов.

В целом для субпровинции характерна специализация на Fe, Cr, асбест, жадеит, а также Au, Co, W, Mo. Широкое распространение гипербазитовых массивов определяет наличие месторождений и проявлений хромитов, никеля, жадеита, нефрита и хризотил-асбеста. Месторождения железа, в том числе средние и крупные, представлены магнетитовыми скарнами и горизонтам железистых кварцитов.

Признаки золотоносности Западно-Саянской субпровинции приурочены к ее границам, где распространены метаморфические комплексы с телами гипербазитов. Здесь встречается золото-кварц-сульфидная минерализация в метасоматитах (листвениты и березиты) и мелкие месторождения золото-сульфидно-кварцевого типа.

Кузнецкая металлогеническая зона приурочена к сложно дислоцированным окраинам Кузнецкого и Горловского угленосных прогибов. Породы зоны представлены преимущественно терригенно-карбонатными отложениями позднедевонско-каменноугольного возраста, формирование которых происходило на шельфе в мелководном морском бассейне. К тектоническим зонам приурочены многочисленные дайки и силлы пермско-триасовых долеритов, формирование которых происходило во внутриплитной континентальной обстановке и связано с Сибирским суперплюмом.

Для Кузнецкой металлогенической зоны характерно наличие эпитермального золото-(кварц)-сульфидного оруденения в терригенно-карбонатных комплексах, близкого по ряду признаков к оруденению типа Карлин. Данное оруденение накладывается на палеозойские породы и имеет, вероятнее всего, пермско-триасовый возраст.

Таким образом, различные части Алтае-Саянской складчатой области отличаются разными металлогеническими особенностями. Золотоносность выделенных субпровинций определяется геодинамической историей формирования пород, характером магматизма и литогенеза различных крупных блоков земной коры. Понимание металлогении золота южной и западной частей АСМП и их специализации на различные рудно-формационные типы золотого и золотосодержащего оруденения позволит более целенаправленно вести прогнозно-минерагенические и поисковые работы.

Чуйко В. А. [1], Ёлшин А. В. [1, 2], Плюснин И. А. [1]
[1] ООО «Алмайнинг», г. Пермь,
[2] АО «Нью Граунд», г. Пермь

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ – ОДИН ИЗ ПУТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Состояние сырьевой базы алмазов Российской Федерации в среднесрочной перспективе вызывает определенные опасения. В соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы до 2035 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р, алмазы относятся ко второй группе полезных ископаемых, для которых достигнутые уровни добычи недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г. Алмазы также входят в перечень стратегических видов минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 16.01.1996 № 50-р. Одним из способов увеличения сырьевой базы алмазов является повышение эффективности использования известных месторождений алмазов, в том числе за счет увеличения глубины их отработки, а также вовлечения в эксплуатацию беднотоварных месторождений. Специалистами ООО «Алмайнинг» и АО «Нью Граунд» разработана и предлагается к обсуждению новая технология разработки подкарьерных запасов кимберлитовых руд, обеспечивающая добычу запасов до глубин 2000–3000 м, высокую экономическую эффективность и безопасность добычных работ.

Ключевые слова: алмазы, подкарьерные запасы, способ отработки, подвесной грейфер с водным заполнением выработанного пространства (ПГВЗВП).

Российская Федерация является мировым лидером по добыче природных алмазов и по запасам в недрах, которые составляют около 30 и 37 % соответственно [1]. Основа сырьевой базы алмазов – коренные месторождения алмазов, находящиеся на территории Якутии и Архангельской области. Интенсивная отработка уникальных месторождений алмазов Якутии ведется уже более 60 лет. При этом очевидна тенденция исчерпания запасов, пригодных для отработки открытым способом. Остановлены карьеры трубок Интернациональная (1980), Айхал (1997), Мир (2001), Удачная (2015) и несколько более мелких. Ряд действующих карьеров (трубка им. В. П. Гриба, Юбилейная, Комсомольская, Нюрбинская и др.) в обозримом будущем достигнут предельных отметок и также будут остановлены. Особенно острая ситуация складывается на месторождениях Архангельской области. Карьер на трубке им. В. П. Гриба планируется закрыть в конце 2027 г., что приведет к значимому сокращению (на 12–14 %) валовой добычи алмазов в Российской Федерации и негативным социальноэкономическим последствиям. Важно отметить, что ниже карьера останется не менее 40–50 % запасов месторождения им. В. П. Гриба, которые будут потеряны, так как их отработка подземным способом не обеспечивает приемлемых экономических показателей из-за сложных горно-геологических условий и низкого содержания алмазов в руде.

В сложившихся условиях одним из способов увеличения сырьевой базы алмазов Российской Федерации является разработка новых высокоэффективных технологий добычи, которые смогут обеспечить отработку подкарьерных запасов на известных месторождениях и вовлечение в эксплуатацию беднотоварных месторождений алмазов.

Предлагаемая новая технология отработки подкарьерных запасов на основе использования подвесного грейфера с водным заполнением выработанного пространства (ПГВЗВП) обеспечивает эффективную работу на глубинах до 2000–3000 м и соответствует следующим критериям:

1. Безопасность. При организации работ весь персонал находится на поверхности, исключаются все известные факторы негативного воздействия на людей при работе в подземных выработках;

2. Экологичность. При работе производится выемка только алмазосодержащих руд при минимальном количестве вмещающих пород;

3. Высокая производительность. Технология позволяет гибко управлять производительностью объекта и выбирать оптимальное значение добычи;

4. Низкие капитальные затраты. Все подготовительные работы и монтаж оборудования выполняются на поверхности по строительным технологиям;

5. Быстрые сроки строительства. Оборудование монтируется на бортах карьера в течение 1–2 лет, после чего объект готов к запуску;

6. Низкая себестоимость добычи. Значительное снижение себестоимости добычи при данной технологии будет достигнуто за счет сокращения количества производственного персонала, необходимого для работы, количества технических средств, а также полным отсутствием затрат, связанных с обеспечением безопасности подземного рудника (водоотлив, вентиляция, защита от взрывов горючих газов и проч.). Также отличительной особенностью технологии является ее энергоэффективность: грейфер перемещается от забоя до поверхности по практически кратчайшему маршруту.

Реализация технологии ПГВЗВП состоит из следующих этапов:

1. Определение проектных границ отработки с учетом морфологии рудного тела;

2. Строительство промплощадок и монтаж оборудования на бортах карьера;

3. Добычные работы (рыхление руды и подъем на поверхность).

По данным геологоразведочных работ и разработанной на их основе геологической модели рудного тела определяются пространственные границы будущей отработки. Борта выработки проектируются таким образом, чтобы угол падения любой части проектного борта был направлен к ее центру либо был вертикальным (получается своеобразный «стакан»). На противоположных бортах карьера оборудуются две промплощадки (рис. 1), на которых устанавливаются станции, их конструкция представлена на рис. 2.

Основной принцип добычных работ – оказание управляемого воздействия на массив пород в каждой точке, планируемой к выемке. Для этого необходимо, чтобы рабочие инструменты (рыхлитель и грейфер) могли быть перемещены в плане в каждую точку выработки. Это достигается за счет:

- возможности перемещения станций по рельсовым путям;
- возможности перемещения ограничителя хода грейферной тележки при наматывании/ослаблении троса основного подвеса (7 и 8 на рис. 1).

Добычные работы состоят из двух стадий – рыхление руды и ее подъем на поверхность. Рыхление породы выполняется с помощью рыхлителя оригинальной конструкции. Рыхлитель массой 8–10 т присоединяется к приводному тросу. При ослаблении приводного троса под действием силы тяжести рыхлитель и тележка перемещаются вниз по тросу основного подвеса до момента контакта тележки с ограничителем хода грейферной тележки. При дальнейшем ослаблении приводного троса рыхлитель перемещается вертикально вниз до забоя. Рыхление руды происходит при последовательном подъеме со сбрасыванием рыхлителя с высоты 1–1,5 м на забой. На обработанной площади будет сформирован слой разрыхленной руды мощностью 0,4–0,5 м. Отмечаем, что и рыхлитель, и грейфер являются простыми чисто механическими устройствами, которые способны нормально работать при экстремальном гидростатическом давлении на глубинах до 3000 метров и более.

Захват разрыхленной руды выполняется с помощью однотросового грейфера, при этом способ доставки грейфера на забой аналогичен описанному выше для рыхлителя. После закрытия грейфера с захваченной на забое рудой он поднимается вертикально вверх до контакта с грейферной тележкой. При дальнейшем наматывании приводного троса грейфер вместе с тележкой начинают движение вдоль троса основного подвеса в сторону станции. На станции происходит разгрузка руды в карьерный автосамосвал и цикл повторяется снова.

Выполненные нами расчеты показывают возможность отработки запасов кимберлитовых руд по данной технологии до глубины 3000 м. При этом устойчивость вертикальных бортов будет обеспечиваться за счет гидростатического давления воды (природных рассолов, заполняющих выработку). Аналогичный способ поддержания бортов выработки использовался нами при разработке и реализации технологии проходки грейферных шурфов при крупнообъемном опробовании глубокозалегающих россыпей алмазов на территории Пермского края. На Сюзёв-

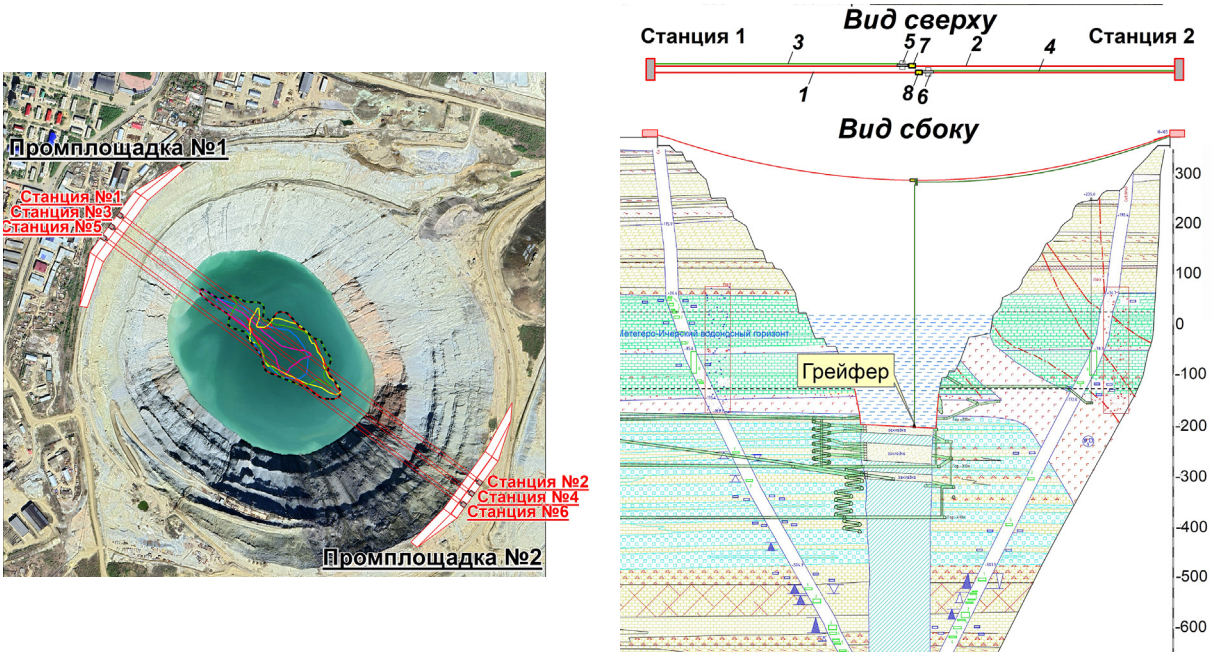


Рис. 1. Компоновка основного оборудования (на примере карьера трубки Мир):
цифрами обозначены: 1 и 2 – тросы основного подвеса; 3 и 4 – тросы привода грейфера; 5 и 6 – грейферная тележка; 7 и 8 – ограничитель хода грейферной тележки. Основа: план – космоснимок Google Earth, разрез – материалы АК «АЛРОСА» к открытому конкурсу на восстановление рудника Мир

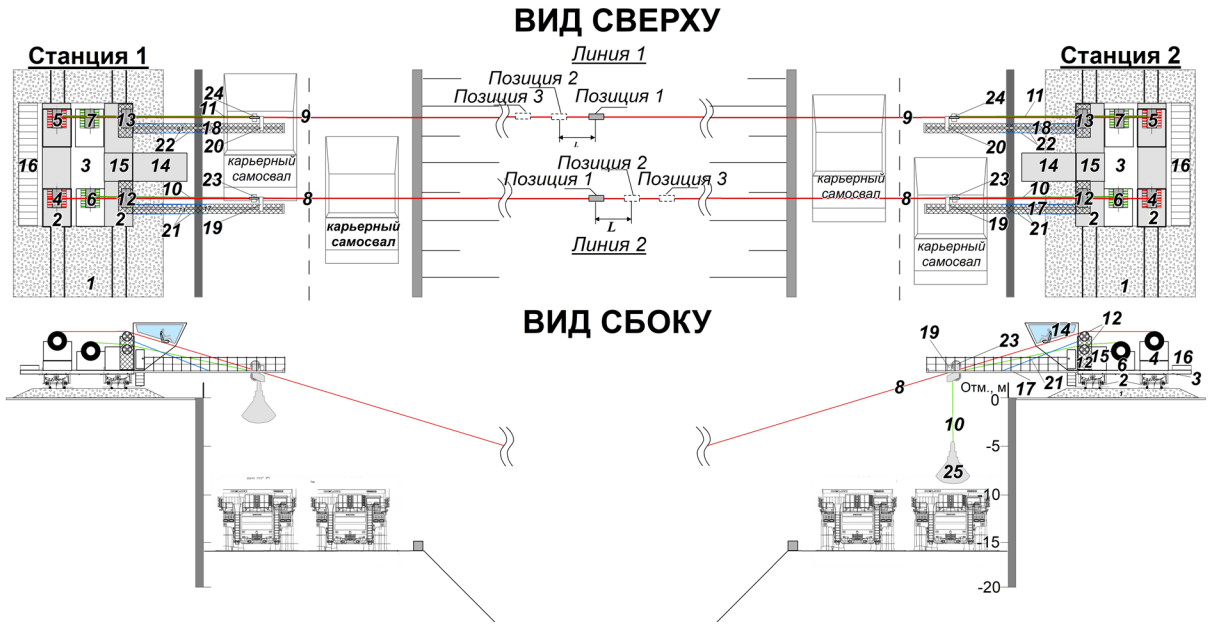


Рис. 2. Конструкция промплощадки и станций:
цифрами обозначены: 1 – основание железнодорожных путей; 2 – фишинговая железнодорожная платформа; 3 – основание станции (металлический каркас); 4 и 5 – тяговые лебедки основного подвеса; 6 и 7 – лебедки привода грейфера; 8 и 9 – тросы основного подвеса; 10 и 11 – тросы привода грейфера; 12 и 13 – фермы с роликами направления троса основного подвеса и троса привода грейфера; 14 – пункт управления; 15 – электрощитовая; 16 – противовесы; 17 и 18 – подвесная балка с трапом; 19 и 20 – ограничитель; 21 и 22 – тросовые оттяжки; 23 и 24 – грейферная тележка; 25 – грейфер однотросовый

ском месторождении россыпных алмазов были пройдены шурфы сечением 0,85 × 2,85 м глубиной до 60 м в рыхлых неустойчивых породах (супеси, пески, гравийно-песчаные отложения). Проходка выполнялась без крепи и устойчивость стенок шурфов обеспечивалась только за счет заполнения водным раствором.

Впервые концепция применения способа ПГВЗВП была представлена на совещании в АК «АЛРОСА» в г. Мирный 16.10.2023 г. От специалистов компании мы получили 45 вопросов, на которые подготовили подробные ответы. В основном вопросы касались уточнения механизма реализации представленной технологии и не отрицали принцип ее работы. На технологию ПГВЗВП нами получен Патент РФ № 2813518 от 12.02.2024 г.

Применение инновационных технологий для отработки подкарьерных запасов может существенно увеличить сырьевую базу месторождений алмазов в Российской Федерации и продлить сроки эксплуатации действующих рудников. За счет низкой себестоимости добычи есть возможность вовлечения в отработку способом ПГВЗВП беднотоварных месторождений, которые нерентабельно разрабатывать традиционными способами. Возможности применения технологии ПГВЗВП не ограничиваются только месторождениями алмазов. При субвертикальной форме рудной залежи и ее распространении на большие глубины способ ПГВЗВП может применяться для отработки других полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году. – М., 2021.
2. Патент № 2813518 Российская Федерация. Способ отработки подкарьерной части залежей полезных ископаемых. № 2023121291: заявл. 15.08.2023: опубл. 12.01.2024 / Чуйко В. А., Ёлшин А. В.

Чумаков А. В. [1, 2], Аликин О. В. [1], Рудашевский В. Н. [1], Удинцова С. А. [1, 3]
[1] ООО «ЦНТ Инструментс», г. Санкт-Петербург
[2] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург
[3] ФГБОУ ВО «Санкт-Петебургский горный университет», г. Санкт-Петербург

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ ЗОЛОТОНОСНЫХ ЛИСТВЕНИТОВ

В настоящей работе приводятся результаты исследования вещественного состава технологической пробы золотоносных лиственитов. Определена форма нахождения золота и его минералов-спутников, размер частиц и их химический состав.

Ключевые слова: самородное золото, лиственит, сульфиды, метод гидросепарации, руда.

В настоящее время Российская Федерация располагает значительной минерально-сырьевой базой (МСБ) золота и обладает перспективами увеличения добычи из недр за счет интенсивного освоения не только месторождений с упорными и труднообогатимыми рудами, но и комплексных объектов, в которых содержание золота считается рентабельным для его извлечения. В течение последнего десятилетия на территории России в эксплуатацию введены одно уникальное и три собственно золоторудных месторождения, целый ряд средних и мелких по запасам объектов, а также одно комплексное медно-магнетитовое золотосодержащее [1].

При условии повсеместного внедрения эффективных технологий производства, осуществляющих извлечение полезного компонента с минимальными потерями, и сохранения текущего уровня добычи, работа золотодобывающей промышленности РФ будет обеспечена в течение 14 лет [1]. В оптимизации технологических процессов обогащения, обеспечивающих максимальное использование сырья, существенную роль играет комплексная минералого-технологическая оценка месторождений, состоящая в детальном изучении методами технологической минералогии вещественного состава для выявления характерных свойств руд, влияющих на их обогащение.

Методы, принципы и задачи технологической минералогии и оценки руд подробно изложены в трудах многочисленных исследователей [2, 3, 6], указывающих на важность изучения на всех уровнях свойств отдельных минералов и их ассоциаций для наиболее эффективного и комплексного использования минерального сырья. В работах Н С. Рудашевского и В. Н. Рудашевского [4, 5] отражены объединяющие признаки руд благороднометалльных объектов. Главные факторы, влияющие на извлечение золота, – формы его нахождения и размер частиц, влияющие на раскрытие сростков при проведении рудоподготовительных операций, а также ассоциации с другими вредными или полезными компонентами [3]. Все вышеперечисленное устанавливает необходимость операций эффективного дробления и интенсивного обогащения первичного материала для успешного минералогического исследования золоторудных объектов.

В рамках выполнения работ по технологической минералогии золотоносных лиственитов изучен минеральный состав композитной пробы первичных сульфидных руд. Среди сульфидов в первичных сульфидных рудах преобладают пирит. В подчиненных количествах установлены борнит, сфалерит, халькопирит, галенит и др.

Для выполнения поставленных практических задач авторами применена универсальная технология минералого-геохимических исследований [4].

С учетом минерального состава и структурно-текстурных особенностей крупнокусковой материал руд (половинки кернов 72 мм) измельчался на шаровой мельнице с короткой экспозицией (кратковременными циклами) до класса 100 % – 20 мм в целях бережного раскрытия минералов благородных металлов и минимизации переизмельчения.

Дезинтегрированные пробы усреднялись перемешиванием с последующим отбором представительных навесок методом квартования для рентгенофазового и валового химического анализов.

Анализ валового химического состава проводился на макрокомпоненты (XRF), микрокомпоненты (ICP MS, AAS) и золото (пробирный анализ). По результатам анализов проводился расчет парных коэффициентов корреляции элементов для выявления единых геохимических и минеральных ассоциаций. Нерудные минералы оценивались методом количественного фазового рентгеновского анализа.

Каждая проба разделялась на 11 размерных классов (в порядке уменьшения, мм): +5, -5+2,5, -2,5+1,0, -1,0+0,5, -0,5+0,315, -0,315+0,2, -0,2+0,125, -0,125+0,071, -0,071+0,045, < 0,045. Для всех проб дополнительно отделялась тонкая составляющая (< 0,010 мкм) из фракций < 0,045 мм методом ультразвуковой седиментации.

Одним из наиболее эффективных способов обогащения твердых полезных ископаемых в лабораторных условиях является метод гидросепарации, лежащий в основе универсальной технологии минералого-геохимических исследований [4]. Применение гидросепарации позволяет разделять минеральные частицы по их удельной плотности, а не по весу частиц, что характерно для большинства гравитационных технологий. На начальных стадиях гидросепарации удаляются преимущественно легкие минералы жильных и вмещающих пород (кварц, гидрослюды, полевые шпаты и карбонаты), а также их сростки с рудными минералами. В «тяжелых» HS-концентратах главным образом концентрируются сульфиды (пирит, халькопирит, арсенопирит и др.) и самородное золото.

Во всех размерных классах менее 0,5 мм, кроме шламового (< 0,010 мм), с помощью гидросепаратора CNT HS-11 материал каждой размерной фракции промывался в три стадии с получением «легких» хвостов, промежуточного продукта, «тяжелых» хвостов и HS-концентратов. Последние представляют репрезентативные выборки зерен рудных минералов в пределах узких классов крупности. Для определения химического состава и изучения внутреннего строения минералов в полированных шлифах и аншлифах использовались: сканирующие электронные микроскопы CamScan MV2300 (ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург).

Количественные соотношения фаз в полированных шлифах HS-продуктов оценивались методом цветокодирования в характеристических рентгеновских излучениях на электронном микроанализаторе.

Размеры зерен минералов благородных металлов (средний эквивалентный диаметр – ECD, мкм) – диаметр круга, равного по площади цифровому изображению зерна минерала, опреде-

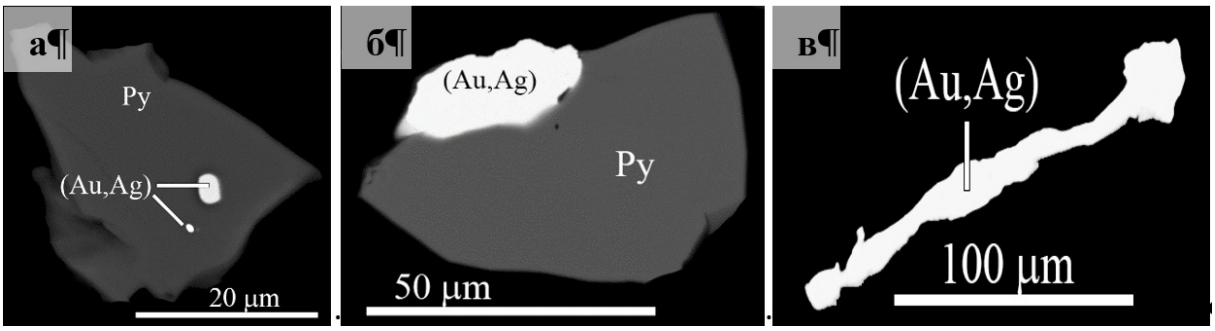


Рисунок. BSE-фото самородного золота из проб первичных сульфидных руд различных размерных фракций (ППШ). Au, Ag – самородное золото, Py – пирит

лялись по их оптическим (в отраженном свете) микрофото или по BSE-фото с использованием программного пакета ImageJ.

Результаты исследований. Среди нерудных минералов в первичной сульфидной пробе преобладают минералы, характерные для лиственитовой ассоциации: кварц, полевые шпаты, мусковит, анкерит, в меньшей степени – актинолит, тальк, титанит.

По наблюдаемым структурно-текстурным характеристикам в ходе минераграфических и геохимических исследований изученную руду стоит отнести к кварц-малосульфидному золоторудному типу.

В изученных рудах определена единственная форма нахождения благородных металлов – серебристое золото (рисунок). Химический состав 91,16 ± 0,76 мас. % и Ag: 8,54 ± 2,34 мас. % (n = 288).

На основе представительных выборок микрорентгеноспектральных анализов (> 500) рассчитаны средние химические составы главных рудных минералов, определены их формульные коэффициенты.

По результатам измерений свободных зерен самородного золота определен эффективный размер раскрытия частиц в окисленных рудах – ECD = 73,2 ± 15,9 мкм (n = 68), в первичных сульфидных – ECD = 41,7 ± 7,2 мкм (n = 45).

Таблица. Содержания главных рудных минералов в изученной пробе первичных сульфидных руд (мас. %)

Минерал	Формула	Содержание
Пирит	FeS_2	3,376
Борнит	Cu_5FeS_4	0,033
Сфалерит	(Zn,Fe)S	0,014
Халькопирит	$CuFeS_2$	0,006
Галенит	PbS	0,004
Арсенопирит	FeAsS	0,002
Самородное золото	(Au,Ag)	0,001
Сумма:	3,437	

По данным химического состава проб, рентгенофазового анализа и количественной оценки зерен в HS-концентратах, а также состава самих минералов рассчитан минеральный баланс композитной пробы первичных сульфидных руд (таблица).

По минеральному составу в первичных рудах преобладает пирит (до 3,3 мас. %), в подчиненных количествах встречаются борнит (0,033 мас. %) и сфалерит (0,014 мас. %).

Благодаря применению универсальной технологии минералого-геохимических исследований золотоносных лиственитов получена статистически достоверная информация о полном наборе минеральных видов, реальном размере их зерен, а также минеральных ассоциациях с другими рудными и нерудными минералами.

На основе выявленных технологических особенностей руд составлены рекомендации по технологическому регламенту обогащения первичных сульфидных руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевой базы Российской федерации в 2020 году / Глав. ред. Петров Е. И, Тетенькин Д. Д. – М. : Роснедра, 2021. – С. 572.
2. Гинзбург А. И. и др. Задачи технологической минералогии, пути и методы их решения // Советская геология. – 1977. – № 5. – С. 7–19.

3. Изоитко В. М. Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб. : Наука, 1997. – 582 с.
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. Рудашевский В. Н., Рудашевский Н. С., Антонов А. В., Набиуллин Ф. М., Пастухов Д. М. Технологическая минералогия золота // Записки Российского минералогического общества. – 2017. – № 1. – С. 103–125.
6. Челищев Н. Ф. Основные направления технологической минералогии // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1977. – № 11. – С. 86–94.

Шатилова Л. В. (shatilova@tsnigri.ru), Позднякова Н. Н. (natali-silver@bk.ru), Яблокова С. В.
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

О МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЯХ «ИЗУЧЕНИЕ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ»

В обновленном издании Методических рекомендаций показаны возможности использования количественно оцененных признаков самородного золота при прогнозно-поисковых работах. Описаны и проиллюстрированы основные признаки самородного золота, приведены сведения о традиционных и современных аналитических методах изучения золота в полевых и лабораторных условиях, включая многократное структурное травление. Рекомендована единая терминология для обеспечения преемственности изучения золота и сопоставления данных различных исследователей.

Ключевые слова: самородное золото, типоморфные признаки, внутреннее строение, элементы-примеси, рудно-формационные типы, методика, рекомендации, геологоразведочные работы.

Выявление признаков самородного золота и их применение при проведении разнообразных геологических исследований многие годы является одним из приоритетных направлений работ ЦНИГРИ.

Накопленный материал по минералогии золота был обобщен Л. А. Николаевой с коллегами в Атласе «Самородное золото рудных и россыпных месторождений России» (2003, 2015). В работе нашло отражение развитие нового научного направления – использование типоморфизма самородного золота при прогнозно-металлогенических исследованиях территорий на разных стадиях их изучения. Оно основано на анализе комплекса признаков, характерных для различных рудно-формационных типов месторождений с количественной оценкой каждого признака (признаковые модели золота), и их изменений под влиянием воздействия поскристаллизационных эндогенных процессов, а также преобразований в зоне гипергенеза и при формировании россыпей.

В методических рекомендациях для геологоразведочных работ «Типоморфизм самородного золота» (2003) подробно рассмотрены способы, методы исследований и интерпретации типоморфных признаков золота при оценке прогнозных ресурсов различных металлогенических объектов (рудных и россыпных районов, полей, месторождений), показаны детали и последовательность изучения золота этих таксонов. Систематизация признаков золота, выполненная с применением разработанной в ЦНИГРИ единой терминологии, обеспечивает преемственность изучения золота и возможность сопоставления данных различных исследователей. Опыт использования специалистами-недропользователями «Методических рекомендаций…, 2003» показал необходимость их дальнейшего усовершенствования, детализации описания классических и новых методов исследований признаков золота в полевых и лабораторных условиях, а также дополнения пояснительным иллюстративным материалом.



ВВЕДЕНИЕ 7

1. ОСНОВНЫЕ ПРИЗНАКИ РУДНОГО И РОССЫПНОГО ЗОЛОТА 9
1.1. Золотоносные минеральные ассоциации 9
1.2. Размеры 11
1.3. Формы 12
1.4. Поверхность 18
1.5. Пробность 20
1.6. Элементы-примеси 21
1.7. Внутреннее строение 22

2. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА 31
2.1. Отбор проб и полевые исследования 31
2.2. Лабораторные исследования 32
2.3. Обработка наблюдений 39

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТИПОМОРФНЫХ ПРИЗНАКОВ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ 41
3.1. Рудно-формационные типы коренных источников 41
3.2. Вторичное и гипогенное золото, изменённое в корах выветривания и карсте 48
3.3. Древние россыпи и промежуточные источники питания 50
3.4. Типоморфные признаки золота как критерии поисков перспективных золоторудных полей 52
3.5. Типоморфные признаки золота как критерии поисков золоторассыпных полей 54
3.6. Типоморфные признаки золота как критерии поисков перспективных участков 59

4. ОТРАЖЕНИЕ ДАННЫХ ПО ТИПОМОРФИЗМУ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КАРТАХ РАЗНОГО МАСШТАБА 65

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 71
Рекомендуемая литература 72

Рисунок. Методические рекомендации «Изучение самородного золота при геологоразведочных работах», 2023 г.

Переработанные и расширенные методические рекомендации **«Изучение самородного золота при геологоразведочных работах»**, изданные в **2023 г.**, основаны на обобщении на новом уровне обширного материала по исследованию золота всех золотоносных провинций России за последние 20 лет (рисунок).

Применение разнообразных аналитических методов создает возможность уточнения и расширения признаков золота, оценки их информативности. Выявление геохимических особенностей золота повышает достоверность интерпретации результатов исследований.

Определение признаков золота, отражающих условия его формирования, важно на ранних стадиях геологоразведочного процесса, когда проявления золоторудной минерализации недостаточно изучены и нередко единственным источником информации служит даже незначительное количество золота из рыхлых отложений. Трудности получения материала и высокая информативность особенностей золота при анализе любого количества золотин, вплоть до единичных зерен, делают такие исследования целесообразными.

Своеобразие самородного золота во многом зависит от условий его кристаллизации на разных глубинах, вмещающей среды, последующих эпигенетических эндогенных и гипергенных воздействий. Геологическая интерпретация результатов минералогических исследований золота осложняется широкой изменчивостью и конвергенцией его признаков, поэтому более эффективным является использование комплексов типоморфных признаков.

В комплекс входят размеры, формы, химический состав (пробность, элементы-примеси), характер поверхности, внутреннее строение, вторичные изменения, минералы-спутники, отражающие типы золоторудной минерализации.

Изучение этих признаков рассматривается для трех этапов существования самородного золота: образование в первичных рудах и эндогенная перекристаллизация → преобразование в зоне гипергенеза (коре выветривания) → пребывание в россыпи. Изменения золота в эндогенных и гипергенных условиях приводят к существенным трансформациям его отдельных признаков или всего комплекса в целом.

Основные черты самородного золота определяются особенностями формирования золотоносных рудных формаций, отраженных в составе и последовательности рудообразующих **минеральных ассоциаций** (основных и второстепенных).

Размеры золотин обусловлены обстановками формирования **руд**, что позволяет использовать крупность частиц в качестве типоморфного признака для установления рудно-формационной принадлежности золотого оруденения. **Гранулометрический состав россыпного золота** зависит от типов коренных источников, гидродинамического режима формирования россы-

пей, ряда других факторов и широко варьирует в пределах золотоносных провинций, районов и по протяжению россыпей. В методике приводятся *классификации гранулометрии рудного и россыпного золота по данным разных источников как в обобщенном виде*, так и с учетом региональной принадлежности.

Формы и рельеф поверхности золотин служат показателями характера среды, в которой золото отлагалось, состава и фазового состояния растворов, условий кристаллизации и последующих преобразований. В «Методических рекомендациях…» в виде таблиц и фотографий наглядно показано разнообразие форм и характера поверхности золотин.

Пробность самородного золота и ее изменчивость, помимо указаний на формационную принадлежность золоторудной минерализации, может быть использована и при установлении минеральной зональности, проявлений интра- и пострудных преобразований.

Важным геохимическим индикатором условий образования золоторудных месторождений и их формационной принадлежности служат **элементы-примеси** в самородном золоте. Максимальное их число присутствует в золоте средне- и малоглубинных месторождений с многостадийным формированием оруденения или проявлениями гибридизма.

Впервые аналитиками ЦНИГРИ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП МС) в золоте обнаружены редкоземельные, редкие щелочные и щелочноземельные элементы. Установлены группы элементов-примесей в самородном золоте трех наиболее распространенных рудно-формационных типов золоторудных месторождений: золото-полисульфидно-кварцевых, золото-кварцевых малосульфидных и золото-серебряных.

Особенности **внутреннего строения** золота служат показателями многократности и последовательности его отложения, степени и типа метаморфизма. *Впервые разработаны критерии отличия структур эпикристаллизационного преобразования рудного золота от последующих гипергенных изменений* остаточного золота. Подробно рассмотрены характерные признаки изменений внутреннего строения россыпного золота, что позволяет реконструировать историю формирования россыпей, оценить время их образования, дальность переноса золота, а также роль промежуточных коллекторов в питании россыпи.

В разделе *«Методы изучения самородного золота»* изложены традиционные и современные методы изучения золота в полевых и лабораторных условиях. Для аналитических методов указаны их точность, наборы исследуемых элементов, количество и качество необходимого материала. *Впервые детально описана методика многократного структурного травления золота для изучения его внутреннего строения.*

В разделе *«Использование типоморфных признаков самородного золота при геологоразведочных работах»* рассмотрены направления и пути практического применения типоморфизма золота в сочетании с геологическими, геоморфологическими и минералогическими критериями прогнозирования и поисков золоторудных и золотороссыпных районов, полей и месторождений для решения различных прикладных задач.

Для удобства пользователей комплексы признаков самородного золота, используемые для решения разнообразных геологоразведочных задач, обобщены и собраны в отдельные таблицы. В сводной таблице показан круг основных вопросов, при изучении которых могут быть использованы признаки самородного золота.

Данные по типоморфизму золота, вынесенные на геолого-геоморфологические карты различного масштаба уточняют направления геологоразведочных работ, позволяют выявить закономерности распространения золота различных рудно-формационных типов и способствуют расширению площадей их прогнозирования и поисков.

В «Методических рекомендациях…» представлены блоки легенд, приведены примеры карт и разрезов. Совокупности признаков самородного золота на них отражены в виде круговых диаграмм, содержащих как **конкретные** характеристики, так и **полученные выводы** о типах коренных источников и присутствии в россыпях разновозрастного кластогенного золота.

«Изучение самородного золота при геологоразведочных работах» – это методические рекомендации исследования особенностей золота и их применения при обосновании, стандартизации и совершенствовании методов и технологий прогноза и поисков коренных и экзогенных месторождений на разных стадиях ГРР.

Книга согласована Роснедра и предназначена служить справочным пособием при изучении типоморфизма золота и использовании комплекса его признаков для решения научно-прикладных задач.

Шатов В. В. (Vitali_Shatov@vsegei.ru), Кашин С. В. (Sergey_Kashin@vsegei.ru), Белова В. Н. (Valentina_Belova@vsegei.ru), Молчанов А. В. (Anatoly_Molchanov@vsegei.ru), Шатова Н. В. (Nadezhda_Satova@vsegei.ru)
ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ПРОГНОЗУ ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАРТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГСР-200 (ГСР-50)

Рассмотрены задачи и основные методические приемы петрографо-геохимического подхода к изучению и картированию полей гидротермально измененных пород в целях прогноза оруденения при производстве ГСР-200/2. Приводятся примеры прогнозирования гидротермального оруденения различных геолого-промышленных типов: жильного золото-кварцевого малосульфидного, золото-сульфидного, золото-медно-порфирового, золото-колчеданного, колчеданно-полиметаллического, золото-уранового, золото-серебряного эпитермального и др. на основе использования предлагаемых методических приемов к изучению и картированию гидротермалитов.

Ключевые слова: гидротермально-метасоматические образования, геохимические методы, петрография, прогнозирование твердых полезных ископаемых, картирование.

Практическое пособие под таким названием вышло в 2023 г. в издательстве ВСЕГЕИ. Оно является своего рода итогом многолетних тематических исследований, проводимых в институте Карпинского [1–5]. Главное предназначение пособия – дать в руки геологов-съемщиков дополнительный инструмент для повышения поисковой эффективности обнаружения скрытых, не выходящих на дневную поверхность рудных месторождений в дополнение к таким традиционным методам поисков, как литогеохимия по вторичным и первичным ореолам рассеяния, шлиховая съемка, съемка по потокам рассеяния, магниторазведка, гравиразведка, электроразведка, гаммаспектрометрия и т. д. Петрографо-геохимическое опробование с отбором из одного штуфа геохимической пробы и сколка для шлифа производится по относительно равномерной сети заданного масштаба. В шлифе, помимо названия исходной породы, устанавливается количественно вся метасоматическая минерализация, выявляются ассоциации метасоматических минералов и последовательность их образования. Анализ полученных петрографических данных в совокупности с геохимической информацией позволяет построить геохимические карты и карты гидротермально-метасоматических образований (ГМО) и, по сути, реставрировать историю гидротермальной деятельности на изученной площади и поведение в гидротермальных процессах рудных элементов.

Для решения этих задач разработана классификация гидротермально-метасоматических минералов, основанная на их природной распространенности и ассоциативности. Восемь породообразующих элементов слагают 99 % земной коры: O, Si, Al, K, Na, Fe, Ca, Mg. Если вынести их (кроме кислорода) на треугольную диаграмму, в углах которой будут Si, Al – K, Na – Fe, Ca, Mg, то слагаемые ими 20 главных метасоматических минералов, составляющих 99 % метасоматической минерализации, образуют три обособленных группы: кварц-светлослюдистую, темноцветную и полевошпатовую.

Опыт картирования ГМО показал, что все локальные полнопроявленные (околорудные) метасоматиты всегда имеют обширные (сотни км^2) периферические зоны, которые зачастую можно выявить только по шлифам. Сочетание центральной и периферической зон образует региональную гидротермально-метасоматическую формацию (ГМФ).

Периферические зоны ГМФ отвечают областям питания гидротермальных систем. Они представлены проявлениями субщелочного (Fe–Ca–Mg) или кремне-щелочного (Si–Na–K) метасоматоза (пропилитовые, кварц-альбитовые, кварц-калишпатовые изменения), сформировавшиеся в условиях, близких к элизионному гидродинамическому режиму (выжимание растворов в сторону дренирующих трещин). Распределение микроэлементов характеризуется близкларковыми содержаниями, пониженной дисперсией или отрицательными аномалиями. Это возможные зоны выноса рудных элементов, определяющих рудную специализацию гидротермальных растворов.

Центральные зоны ГМФ являются проявлениями кислотного (Si–Al) метасоматоза с наложением запаздывающих щелочных ассоциаций (аргиллизация, вторичная кварцитизация, грейзенезация, березитизация) или щелочного (Na–K) метасоматоза (фениты, альбититы, калишпатиты, скарны). Они соответствуют областям разгрузки гидротермальных систем и формируются в условиях, близких к напорному фильтрационному гидродинамическому режиму (открытая трещинно-поровая проницаемость). Поведение микроэлементов характеризуется неравномерным, местами контрастным высокодисперсным распределением, положительными аномалиями вплоть до рудных концентраций и месторождений.

На основе изучения ГМО в пределах складчатых поясов фанерозоя выделены три генетических типа РМФ: плутоногенные, вулканогенные и тектоногенные в зависимости от геологического события, обусловившего возникновение гидротермальной системы.

В практическом пособии на примере прогнозируемого Чумышского рудного поля (Магаданская область) подробно рассмотрен алгоритм работ по прогнозированию оруденения на основе петрографо-геохимического картирования. Данные работы состоят из ряда последовательных шагов (рис. 1), которые позволяют достичь искомого результата:

1. В полевых условиях создается равномерная сеть опорных пунктов петрографо-геохимического опробования. Важно, чтобы образец, сколок для изготовления шлифа и штуфная геохимическая проба максимально соответствовали друг другу как по составу исходной породы, так и по характеру и степени проявления наложенной гидротермальной минерализации;

2. В камеральных условиях производится описание прозрачно-полированных шлифов и на их основе готовится минералого-петрографическая база данных;

3. Составляются промежуточные карты распределения отдельных минералов, фациальных разновидностей метасоматитов и как итог – Карты интенсивности проявления ГМ-процессов и Карты гидротермально-метасоматической зональности;

4. Подготавливается геохимическая базы данных, составляются моно- и полиэлементные геохимические карты;

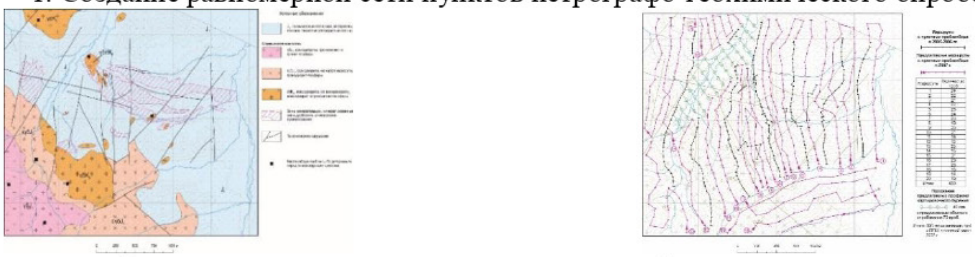
5. Составляется интегральная итоговая полиэлементная Карта аномального геохимического поля по данным опробования коренных пород;

6. Производится сравнительный анализ, то есть синтез вещественных и геохимических характеристик гидротермально измененных пород, оценивается привнос-вынос элементов в зависимости от степени и характера проявления наложенных процессов, создаются модели формирования вертикальной метасоматической, геохимической и рудно-метасоматической зональностей и на их основе разрабатывается комплекс минералого-петрографических и геохимических критериев прогноза гидротермального оруденения;

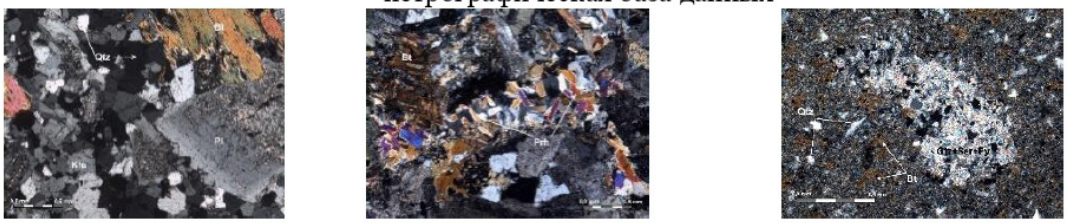
7. Финальный этап исследований – прогнозирование, в ходе которого производится подготовка Карты прогнозного районирования (рис. 2), суммирующей в себе всю полученную информацию прогнозно-минерагенического характера. Анализ карты позволяет осуществить локализацию перспективных участков недр в целях проведения в их пределах поисково-оценочных работ на порфировое и стратиформное золото-серебряное полисульфидное оруденение (см. рис. 2).

«Практическое пособие …» содержит конкретные рекомендации и подводит итоги использования петрографо-геохимического картирования ГМО. В институте Карпинского накоплен богатейший опыт прогнозирования скрытого с поверхности гидротермального оруденения различных геолого-промышленных типов: золото-уранового, молибден-уранового, медно-колчеданного, колчеданно-золото-полиметаллического, скарнового золото-полиметаллического, стра-

1. Создание равномерной сети пунктов петрографо-геохимического опробования



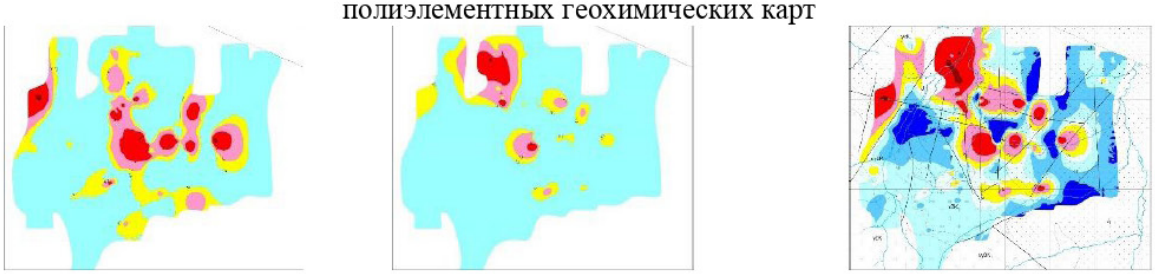
2. описание прозрачно-полированных шлифов и подготовка минералого-петрографическая база данных



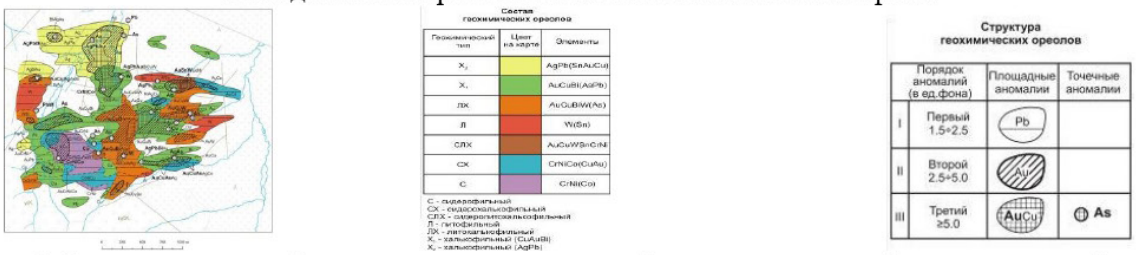
3. Подготовка карты гидротермально-метасоматической зональности



4. Подготовка геохимической базы данных, составление моноэлементных и полиэлементных геохимических карт



5. Подготовка карты аномального геохимического фона



6. Создание модели формирования вертикальной метасоматической, геохимической и рудно-метасоматической зональности

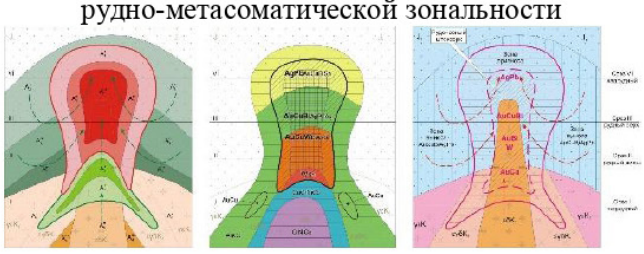


Рис. 1. Технологическая схема проведения локального прогноза оруденения на основе петрографо-геохимического изучения и картирования полей гидротермальноизмененных пород

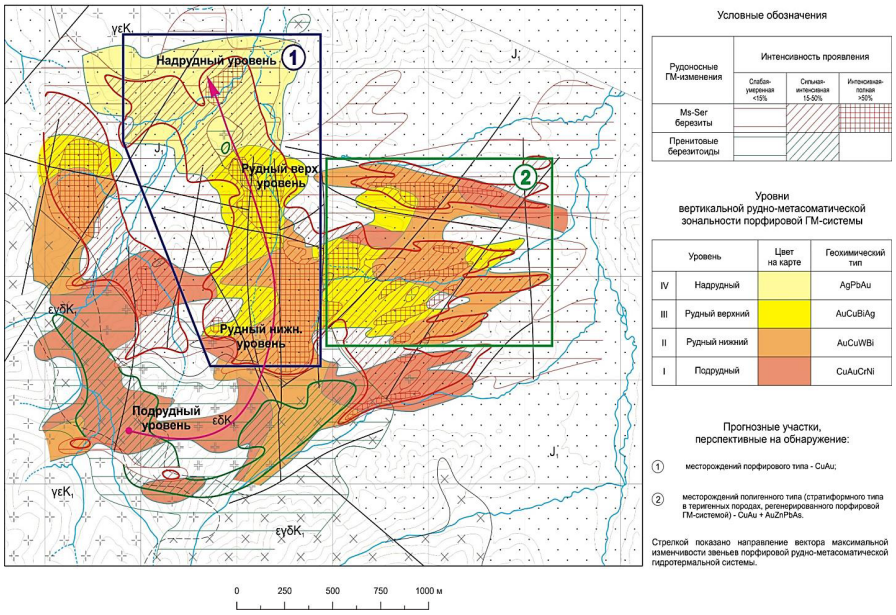


Рис. 2. Карта прогнозного районирования территории Чумышского золоторудного поля

тиформного барит-полиметаллического, грейзенового редкометалльного, жильного золото-кварцевого малосульфидного, золото-сульфидного, эпитермального золото-серебряного, золото-медно-молибден-порфирового и др.

К настоящему времени по данной методике в общей сложности изучено более 70 определившихся и потенциально рудных узлов и полей. С ее помощью открыт целый ряд перспективных рудных объектов, в том числе золоторудное месторождение Тама в Центральном Казахстане и Морозкинское в Центрально-Алданском рудном районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Плющев Е. В., Ушаков О. П., Шатов В. В., Беляев Г. М. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. – Л. : Недра, 1981. – 262 с.
2. Плющев Е. В., Шатов В. В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. – Л. : Недра, 1985. – 247 с.
3. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. – 2012. – Т. 354. – 560 с.
4. Шатов В. В., Петров О. В., Кашин С. В., Белова В. Н., Молчанов А. В., Шатова Н. В. Практическое пособие по прогнозу оруденения на основе петрографо-геохимического изучения и картирования полей гидротермально измененных пород при производстве ГСР-200 (ГСР-50). – СПб. : ВСЕГЕИ, 2023. – 104 с.
5. Электронный справочник-определитель околорудных метасоматитов (рудоносных гидротермально-метасоматических образований) // Сайт ВСЕГЕИ. – 2018.

Шкурихин А. С. (senya.shkurikhin@mail.ru), Проказов Е. П. (e_prokazov@inbox.ru)
НИТУ «МИСиС», г. Москва

ИНТЕГРАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) В МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАССИВОВ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Комплексный мониторинг и визуализация данных состояния геологического массива является одним из важных направлений при эксплуатации месторождений полезных ископаемых, а также в предотвращении на горных предприятиях таких негативных последствий, как

оползни, обвалы и прочее. Для эффективного анализа и управления становится все более актуальной задача интеграции геоинформационных систем.

Ключевые слова: комплексный мониторинг, геоинформационные системы, BIG DATA, горные предприятия, визуализация данных, пространственная информация.

Геоинформационные системы предоставляют возможность объединить пространственную информацию с различных источников в удобной для анализа и визуализации форме. Их внедрение в геологический мониторинг позволяет значительно улучшить процессы сбора, анализа и интерпретации геологических и геофизических данных.

Одним из ключевых преимуществ интеграции ГИС является возможность создания высокодетализированных трехмерных моделей отрабатываемого массива. Это поможет геологам и геофизикам в вопросах более детального изучения геологических структур, определении проблемных зон при отработке полезных ископаемых, а также прогнозировании и управлении геологическими рисками [1].

Другим важным аспектом является возможность интеграции данных с различных источников, с учетом развития технологий и методов сбора данных это уже возможно делать с помощью дистанционного зондирования, промышленных дронов, датчиков, геодезических измерений, геохимических анализов и прочими способами. Все это обеспечивает наиболее оперативный доступ к значительно большему объему информации для исследования и принятия решений [2].

Потенциал проведения более комплексного анализа и моделирования данных в реальном времени на основе информации, поступающей из различных источников, повышает эффективность взаимодействия между специалистами и повышает общий уровень безопасности ведения геологических работ.

Однако, несмотря на все преимущества, в процессе интеграции ГИС в мониторинг геологических массивов можно столкнуться с некоторыми сложностями, включая необходимость качественного обучения специалистов, а также обеспечение обновления и точности данных.

В целом возможность интеграции ГИС-систем в мониторинг геологических массивов представляет собой мощный инструмент для более глубокого понимания и изучения геологических процессов на разрабатываемом объекте, обеспечивая эффективное управление и безопасность работ на горных предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лебедев И. В. Гис и геология [Электронный ресурс] // Scienceforum.ru: X Международная студенческая научная конференция Студенческий научный форум – 2018. – URL: https://scienceforum.ru/2018/article/2018004438 (дата обращения: 15.02.2024).
2. Ядрышникова О. А., Беляков В. О. ГИС – основа интеграции данных геологоразведки в Компании [Электронный ресурс] // ESRI CIS ArcReview. – URL: https://arcreview.esri-cis.ru/2015/03/06/gis-integration-of-exploration-data/ (дата обращения: 15.02.2024).

Эйсфельд О. А. (eisfeld1982@gmail.com)
ГУ «Регионалгеология», г. Ташкент, Республика Узбекистан

ГЕОЛОГО-ЛАНДШАФТНОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПО ДАННЫМ ДЗЗ И ГИС НА ПРИМЕРЕ ГОР ГОБДУНТАУ

Рассмотрены результаты применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и их комплексирования для выделения ландшафтных комплексов при геологических и геохимических исследованиях с применением геоинформационных систем на основе мультиспектрального космического снимка Landsat-8, цифровой модели местности SRTM, расчетных спектральных индексов. В качестве примера применимости и эффективности методики приведен фрагмент полученной геолого-ландшафтной карты для района гор Гобдунтау (западные отроги Туркестанского хребта, Узбекистан).

Ключевые слова: ландшафтная карта, космический снимок, рельеф местности, комплексное изображение, классификация, комплексирование данных, ландшафтные комплексы, геологические формационные зоны, химико-геологические среды (ХГС).

Ландшафтная карта – важный элемент при интерпретации геохимических съемок, поскольку ландшафты находятся в числе основных факторов при формировании вторичных геохимических ореолов рассеяния. Такие ореолы представляют собой один из критериев получения информации о распределении содержаний химических элементов, необходимый для правильного определения геохимического фона и обоснованного выбора значений коэффициентов остаточной продуктивности при оценке прогнозных ресурсов по вторичным ореолам и потокам рассеяния [2].

Согласно методическим рекомендациям [4] для выявления локальных (элементарных) ландшафтов территории исследований при полевом картировании определяются: водотоки, водоразделы, крутизна и экспозиционная ориентировка склонов, элементы локальной геологии, коры выветривания, современные рыхлые покровные отложения, степень обнаженности коренных (материнских) пород, гидрогеологические особенности, растительность.

По результатам обработки и дешифрирования космического снимка и производных рельефа местности (спектральные каналы Landsat-8, гипсометрия, уклон и экспозиция местности) в программных пакетах ArcGIS и ERDAS Imagine составлена геолого-ландшафтная карта, отражающая ландшафтно-индикационные признаки территории, с применением следующих действий:

1. Проведение классификации космического снимка;

2. Идентификация вещественного состава по космическому снимку и спектральным библиотекам отражательных способностей горных пород и минералов [1, 5] для определения границ ХГС, формационных зон и кор выветривания домезозойских и мезозой-кайнозойских образований;

3. Дешифрирование растительности – расчет индекса NDVI и проективного покрытия растительности по территории работ;

4. Выявление геоморфологических особенностей территории (водотоки, водоразделы, уклон местности, экспозиция местности);

5. Определение других ландшафтных особенностей территории, проявляющихся на космическом снимке, – почвы, гидроморфные образования, антропогенные комплексы;

6. Комплексирование данных, полученных в результате дешифрирования космических снимков и геоморфологических характеристик рельефа местности, с составлением итоговой геолого-ландшафтной карты.

Классификация космического снимка проводилась методом К-средних в ERDAS Imagine на основе комплексного изображения, объединяющего: семь спектральных каналов космического снимка Landsat-8; отношения спектральных каналов – 5/7 (глинистые минералы и латериты), 5/4 (железистые минералы), 3/1 (оксиды железа), 4/3 (присутствие растительности); гипсометрию местности SRTM. Отклассифицированное изображение послужило базовой основой для построения геолого-ландшафтной карты. К классам изображения присоединяется другая информация по территории (геологические типы объектов, крутизна склонов, генезис четвертичных отложений, наличие/отсутствие растительности, идентифицированный вещественный состав и т. п.). По результатам проведенной классификации выделены следующие ландшафтные комплексы, представленные на рисунке: геологические формационные зоны; ХГС; зоны развития регионального метаморфизма; современные четвертичные отложения; прочие ландшафты. Комплексирование и обобщенная интерпретация полученной информации проведены в ArcGIS.

Разделение территории на геологические формационные зоны проведено по вещественному составу. На территории работ выделены: *вулканогенно-терригенная формация* – в обрамлении северной и северо-восточной частей гор Гобдунтау; *метасоматическая формация*, имеющая значимые проявления в южной части гор, протянутая на 20 км в северо-западном направлении и имеющая ширину до 5 км; метаморфическая формация, проявленная линзообразными выходами повсеместно в домезозойском комплексе; *карбонатная формация*, проявленная протяженной зоной шириной в 3 км, приуроченная в основном к среднему–верхнему кембрию и гранича-

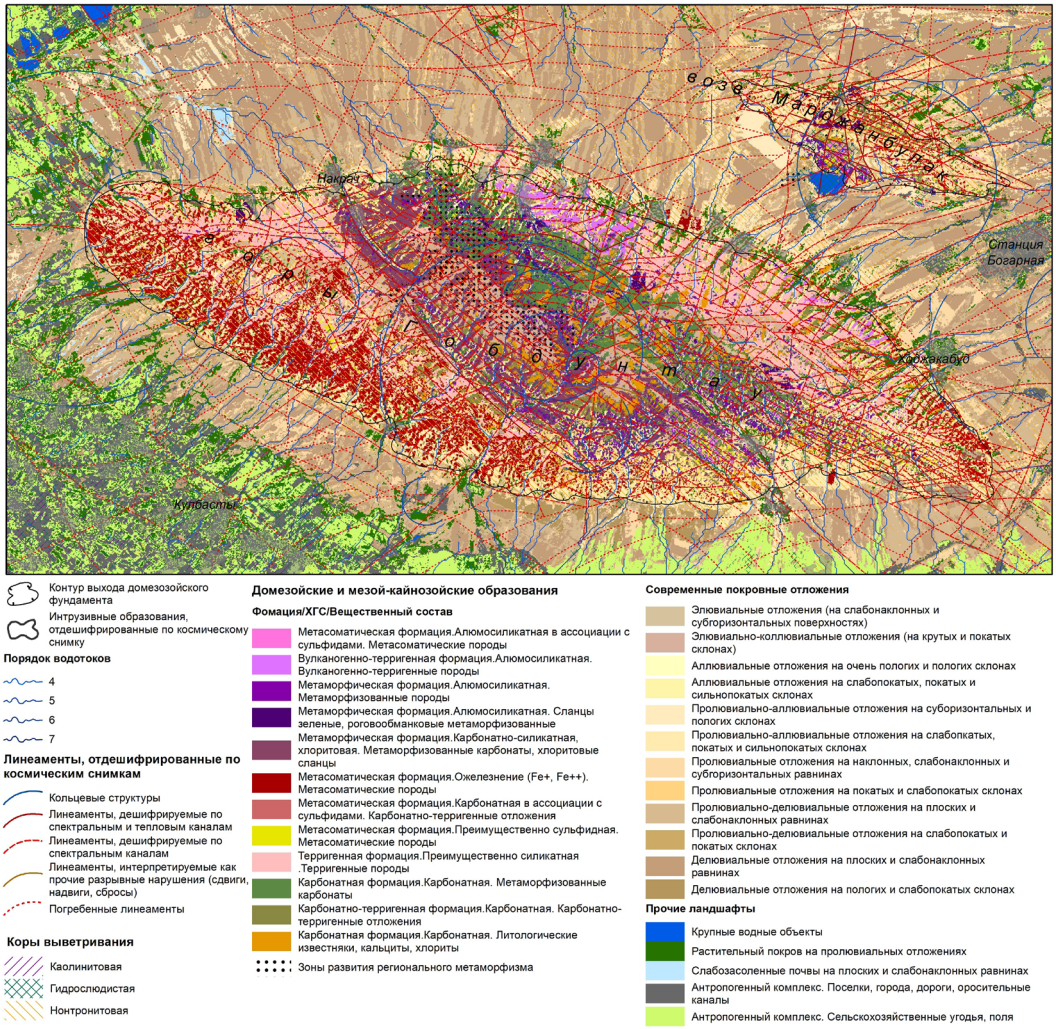


Рисунок. Фрагмент геолого-ландшафтной карты в представлении химико-геологических сред, идентифицированных по космическому снимку, спектрам отражения минералов и горных пород библиотек USGS, ASTER

щая непосредственно с локализованными проявлениями *карбонатно-терригенной формации*; *терригенная формация*, проявленная в северной и северо-восточной частях гор, приуроченная к нижнему силуру; *современные покровные отложения*, объединяющие неоген-четвертичные и четвертичные (рыхлые аккумулятивные и др.) образования.

Химико-геологические среды представлены несколькими группами вещественного состава поверхности, распространенными в домезозойских (покрывающих 11 % территории) и, частично, мезозой-кайнозойских образованиях. По территории работ, по данным ДЗЗ, распространены следующие типы ХГС:

Алюмосиликатные, идентифицированные по спектрам отражения наиболее распространенных на поверхности минералов и горных пород – каолинита, гранита, зеленых сланцев. Алюмосиликаты распространены по всем горным возвышенностям на территории работ и приурочены к метаморфическим и вулканогенно-осадочным геологическим формациям силура–ордовика.

Зоны ожелезнения (Fe^{+}, Fe^{++}) идентифицированы по спектрам отражений лимонита, гетита, гематита, магнетита и чаще всего соответствуют метасоматической формации. Зона ожелезнения шириной 3 км и протяженностью 22 км выделяется на южном склоне Гобдунтау и северных склонах возвышенности Марджанбулак и приурочена к породам нижнего силура, представленным терригенным флишем, углисто-кремнистыми сланцами, алевролитами и песчаниками.

Сульфидные (или преимущественно сульфидные) ХГС идентифицированы по спектрам отражения пирита, арсенопирита, халькопирита, халькозина, пирротина. Зоны сульфидизации распространены по палеозою, прослеживаются неширокими протяженными полосами, имею-

щими высокую пространственную корреляцию с линеаментами и алюмосиликатными и карбонатными средами.

Карбонатные ХГС идентифицированы по спектрам отражения литологических известняков, хлорита, кальцита, мраморов, доломитов; эта среда проявляется карбонатной и карбонатно-терригенной формационными зонами. Карбонатные среды включают метаморфизованные карбонатные, собственно карбонатные и карбонатно-терригенные отложения, выявленные по космическим снимкам и спектрам отражения. Метаморфизованные карбонаты приурочены к среднему–верхнему кембрию и нижнему силуру, представленным карбонатным флишем, метапесчаниками, метаалевролитами.

Современные рыхлые покровные отложения ранжированы по генезису с учетом крутизны склонов [3] и занимают 46 % от всей площади работ. На территории работ выделены элювиальные, элювиально-коллювиальные, коллювиальные, коллювиально-пролювиальные, пролювиальные, аллювиальные, аллювиально-пролювиальные, делювиальные и делювиально-пролювиальные отложения. Наибольшую часть территории занимают пролювиальные и делювиальные отложения, сформированные за счет сноса и аккумуляции продуктов выветривания горных пород. Также отдельными пунктами легенды представлены антропогенные комплексы (43 % площади), разделенные на сельскохозяйственные угодья (поля, сады, огороды) и урбанизированные территории, и распространенные преимущественно в южной и западной частях площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Глух А. К., Поторжинский М. Г., Эйсфельд О. А. Анализ космического снимка Landsat 7 для идентификации пород и минералов и составления карт структурно-вещественных комплексов // Геология и минеральные ресурсы. – 2012. – № 5. – С. 13–16.
2. Григорян С. В., Кузин М. Ф., Соловов А. П. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М. : Недра, 1983. – 191 с.
3. Жучкова В. К., Раковская Э. М. Методы комплексных физико-географических исследований : учебное пособие для вузов. – М. : Академия, 2004. – 368 с.
4. Скрябин В. Ф., Диваев Ф. К., Пирназаров М. М.. Геохимические поиски рудных месторождений в Узбекистане: общие сведения, опыт применения, задачи и пути их решения, рекомендации : методмческое пособие. – Ташкент : ГП ИМР, 2017. – 150 с.
5. Clark R. N., Swayze G. A., King T. V. V., Livo K. E., Kokaly R. F., Dalton J. B., Vance J. S., Rockwell B. W., McDougal R. R. Surface Reflectance Calibration of Terrestrial Imaging Spectroscopy Data: a Tutorial Using AVIRIS. – URL: http://speclab.cr.usus.gov/PAPERS.calibration.tutorial.

Эйсфельд О. А. (eisfeld1982@gmail.com),
Мурашкин С. С. (sergej.murashkin.1990@gmail.com)
ГУ «Регионалгеология», г. Ташкент, Республика Узбекистан

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ, КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ И ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ДЕТАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ГОР БУКАНТАУ, УЗБЕКИСТАН)

Приведен способ комплексирования геофизических, космогеологических, тектонических и геохимических прогнозных данных для выделения первоочередных участков при постановке поисковых и оценочных работ в среде ArcGIS.

Ключевые слова: комплексирование, поисковые признаки, пространственная геостатистика, перспективные участки, космические снимки, геохимические ореолы, геофизические трансформанты.

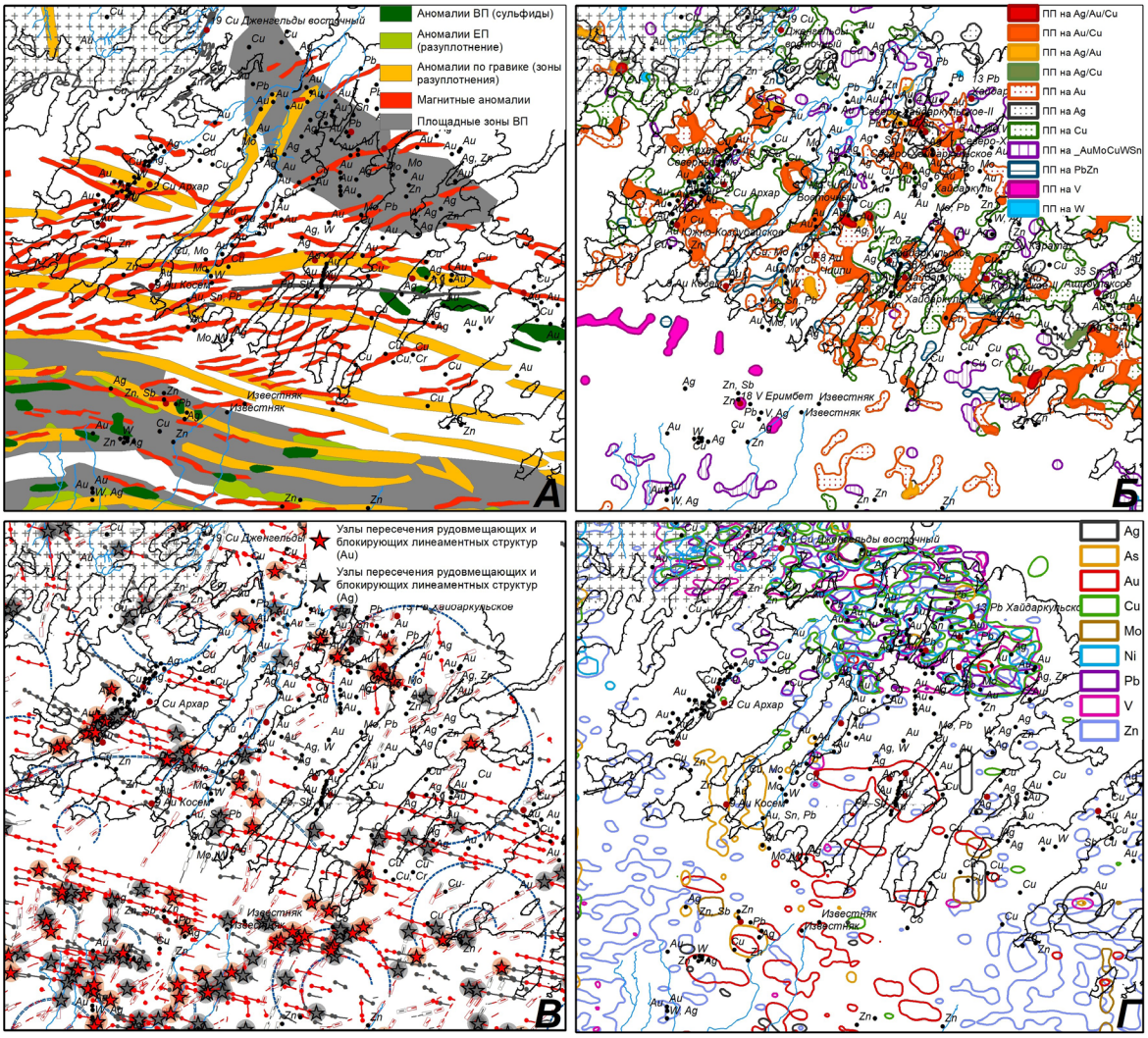


Рис. 1. Исходные данные для проведения комплексирования:
перспективные участки: *А* – по геофизическим данным, *Б* – по космогеологическим данным; *В* – по результатам анализа линеаментов; *Г* – по геохимическим данным

Комплексирование геофизической, космогеологической и геохимической информации проводится в целях выделения площадей, наиболее перспективных с точки зрения выбранных поисковых критериев. При этом определяются участки очередности постановки детальных геологоразведочных работ. Комплексный анализ проведен в среде ArcGIS с помощью инструментов модуля *SpatialAnalyst*, как пространственное наложение, пространственная геостатистика и операторы комбинаторного анализа на основе прогнозных параметров, определенных для каждого из типов исходных данных (рис. 1).

В качестве исходных данных для комплексирования были использованы определенные благоприятные для поисков оруденения признаки:

1. Геофизические данные X_{gf} (см. рис. 1, *А*), включающие пять параметров, интерпретируемые как благоприятные признаки на поиски оруденения: площадные аномалии кажущейся поляризуемости (ВП), gf_1; зоны скарнирования и ороговикования, выделенные по локальным гравитационным максимумам и положительным магнитным аномалиям в зоне экзоконтакта интрузива, gf_2; отрицательные аномалии естественного электрического поля (ЕП), gf_3; зоны разуплотнений, выделенные по локальным гравитационным минимумам, gf_4; зоны сульфидизации, выделенные методом ВП, gf_5; локальные магнитные аномалии, gf_6.

2. Космогеологические данные X_{cs} (шесть параметров), представленные перспективными площадями на поиск полезных ископаемых: Cu, cs_1; Ag, cs_2; Au, cs_3; W, cs_4; PbZn, cs_5; AuMoCuWSn, cs_6. Эти площади выявлены по спектральным характеристикам космических

снимков (Sentinel-2, Landsat-8, Aster), плотности линеаментов и кольцевых структур, трансформантам цифровой модели местности SRTM [2, 3] и эталонным позициям (см. рис. 1, *Б*).

3. Тектонические данные X_{tc} (два параметра), полученные в результате автоматизированного выделения линеаментов и проведенного на их основе анализа линеаментных структур дистанционным структурно-статистическим методом [1] (см. рис. 1, *В*). Данные представлены распределением узлов пересечения рудоподводящих и блокирующих структур, благоприятных на поиски золотого (Au, tc_1), и серебряного (Ag, tc_2) оруденений.

4. Геохимические данные X_{gh} (девять параметров), представленные картами ореолов распределения поэлементных металлометрических аномалий (см. рис. 1, *Г*) на: Ag, gh_1; As, gh_2; Au, gh_3; Cu, gh_4; Mo, gh_5; Ni, gh_6; Pb, gh_7; V, gh_8; Zn, gh_9.

Комплексирование поисковых прогнозных участков по всем четырем типам исходных данных X_i, выявленных по различным видам исследований, выполнено с соблюдением следующих условий: входные данные являются достоверными признаками, соответствующими критерию перспективности для каждого из параметров (gf_n, cs_n, tc_n, gh_n); каждый входной параметр для каждого X_i имеет равное влияние при комплексировании; значимыми результатами являются участки, на которых имеется положительный результат совпадения не менее чем по трем типам исходных данных (например, геофизика – космогеология – геохимия, геофизика – космогеология – тектоника и т. д.); статистический анализ при комплексировании охватывает объединенный экстент (граничные точки) всех используемых параметров.

Собственно комплексирование всех исходных данных осуществлялось в последовательности:

1. Создание растров для каждого из параметров (gh_n, cs_n, tc_n, gf_n). В таблице атрибутов добавляется поле N_Code, в которое записывается номер параметра.

2. Определение числа сочетаний параметров для каждого *n* на основе алгоритмов комбинаторного анализа (разнообразие значений). В результате расчета получим комплексные растры со значениями, соответствующими количеству комбинаций параметров.

3. Полученным растровым данным в таблице атрибутов присваивается собственный уникальный код, который позволяет провести интерпретацию комбинированных данных. Так, комплексным геофизическим данным присвоено значение X_{gf} = 1000; космогеологическим X_{cs} = 100; тектоническим X_{tc} = 10, геохимическим X_{gh} = 1. Далее по присвоенному коду проводится повторная переклассификация для каждого растра.

4. Проводится расчет статистики по ячейкам с использованием функции суммы (SUM), где входными данными являются переклассифицированные значения. В результате будем иметь растр, где значения ячеек (Value) обозначают количество и тип комбинаторных признаков. На основании полученных значений в таблице итогового растра создается поле Name, которому по кодовому значению Value присваивается соответствующий коду текст (рис. 2, *А*), например, ячейкам со значением 1010 в поле Name будет присвоен атрибут «Геофизические и тектонические признаки» (таблица).

5. К атрибутам этого же растра добавляется числовое поле Code_X, в котором рассчитывается количество комбинаций (совпадений) комплексируемых типов данных по количеству символов «1» в поле Value. Полученные значения будут соответствовать количеству совпадений типов данных X_i.

В результате комплексирования методами пространственной геостатистики был выбран критерий Code_X ≥ 3, соответствующий пространственному совпадению для любой комбинации исходных типов данных (см. рис. 2, *Б*).

Оконтуривание участков, соответствующих совпадениям по четырем поисковым признакам и считающихся наиболее достоверными, проведено в ArcGIS с использованием блоковой статистики по максимуму и расстоянию (заданной ячейке блока) *R* = 500 м. В результате по комплексным признакам вероятности проявления оруденения для исследуемой территории выявлены 15 участков, имеющих совпадение по всем четырем типам исходных данных и рекомендуемых в качестве первоочередных для проведения детальных геологоразведочных работ. Участки перспективности второй очереди могут быть выбраны при совпадении любых трех комплексных признаков.

Таблица. Кодировка комбинаций совпадения геофизических, космогеологических, тектонических и геохимических данных

Value	Name	Code_*X*
1	Геохимические признаки	1
10	Тектонические признаки	1
11	Тектонические и геохимические признаки	2
100	Космогеологические признаки	1
101	Космогеологические и геохимические признаки	2
110	Космогеологические и тектонические признаки	2
111	Космогеологические, тектонические и геохимические признаки	3
1000	Геофизические признаки	1
1001	Геофизические и геохимические признаки	2
1010	Геофизические и тектонические признаки	2
1011	Геофизические, тектонические и геохимические признаки	3
1100	Геофизические и космогеологические признаки	2
1101	Геофизические, космогеологические и геохимические признаки	3
1110	Геофизические, космогеологические и тектонические признаки	3
1111	Геофизические, космогеологические, тектонические и геохимические признаки	4

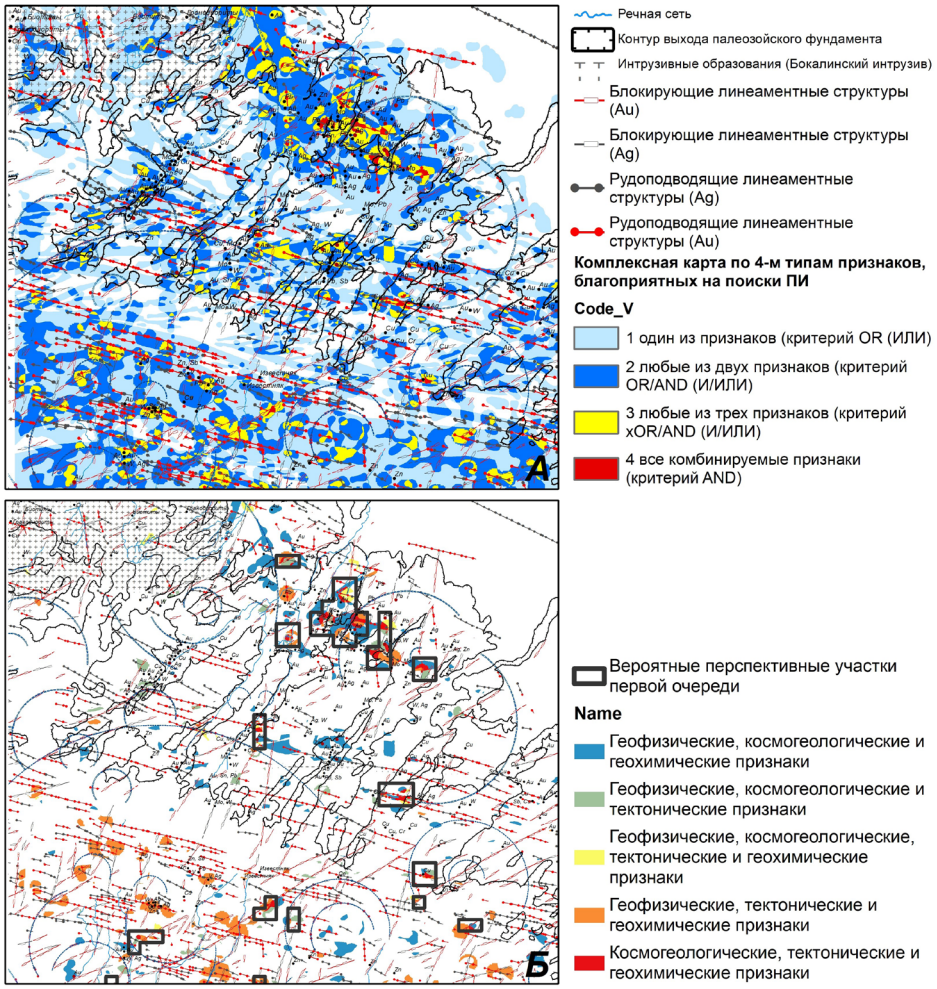


Рис. 2. Результаты комплексирования геофизической, космогеологической, тектонической и геохимической информации и выбранные участки по уровню совпадающих параметров $X_i \geq 3$. Ограничение участков проведено методом блоковой статистики по расстоянию R = 500 м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Петров С. Ю., Юлдашев О. А. Дистанционное структурно-статистическое прогнозирование оруденения гидротермального типа. – Ташкент : ГП ИМР, 2014. – 268 с.
2. Поторжинский М. Г., Эйсфельд О. А. Космогеологические методы выделения перспективных площадей и проведение комплексирования с геофизическими данными при геологических исследованиях // Материалы Международной научно-технической конференции «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан». – Ташкент. – С. 283–285.
3. Поторжинский М. Г. Эйсфельд О. А., Глух А. К. Метод автоматизированного дешифрирования материалов космических снимков и выделения перспективных на эндогенное оруденение площадей, по данным обработки космических съемок (на примере восточного обрамления Зирабулакских гор) // Геология и минеральные ресурсы. – 2010. – № 1. – С. 39–42.

Юркевич Л. Г., Миллер В. Я., Семенов М. И., Соболь Е. С.
АО Росгеология «Сибирское ПГО», г. Красноярск

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЕРСПЕКТИВНОЙ МЕДНО-МОЛИБДЕН-ПОРФИРОВОЙ РУДОГЕННОЙ СИСТЕМЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА

Рассматриваются перспективы выявления медно-молибден-порфировой рудогенной системы по результатам выделения иерархических зональных систем неоднородностей геохимического поля ранга рудного района, рудного узла, рудного поля на материалах картографирования данных геохимических съемок 1000, 200, 50 по потокам рассеяния.

Ключевые слова: медно-молибден-порфировая рудогенная система, структурный анализ геохимического поля, потоки рассеяния, Сорская рудогенная система.

Представлены материалы обработки данных ГХС-1000 по потокам рассеяния, выполненной на территории листа N-46-III в рамках проекта «Геохимическое картирование масштаба 1 : 1 000 000 Южно-Красноярской площади» [1].

На площади листа выделена трехуровневая системная геохимическая аномалия, отражающая три последовательных этапа становления потенциально перспективной рудогенной системы – от ранга рудного района (РР) до ранга рудного поля (РП).

Уровень рудного района (РР) характеризуется зональным расположением ассоциаций элементов, полученных по результатам факторного анализа методом главных компонент, литофильная группа Y – Sc – Al – La занимает центробежную позицию, а сидерохалькофильная группа Mo – Zn – Ag – Cu – V – Fe – Ni – Co, пространственно сопряженная с повышенным полем Na, подчеркивает ядерную зону очаговой системы, которой соответствует поле относительно пониженных значений гравитационного поля.

Уровень рудного узла (РУ) очерчен по максимальной интенсивности проявления сидерохалькофильного фактора с включением в контур близлежащих повышенных содержаний золота в устьях водотоков – 30 и 60 мг/т.

АГХП-РП Кулюкское оконтуривает площадь водосбора, дренируемую ручьями, в устье которых зафиксированы контрастные аномалии Mo – Cu – Ag. Отмечаются следующие содержания: Mo – (0,5–3) × 10^{-3} % при фоне 0,15 × 10^{-3} %, Cu – (8–15) × 10^{-3} % при фоне 3 × 10^{-3} %, Ag – (0,015–0,03) × 10^{-3} % при фоне 0,01 × 10^{-3} % (Рис. 1).

По результатам выполненых позднее в 2001 г. на подготовительном этапе ГДП-200 листа N-46-III потоковых съемок м-ба 1 : 200 000 в пределах ГХУ и м-ба 1 : 50 000 в пределах АГХП-РП произведено уточнение границ АГХП-РП Кулюкское. Внешние контуры геохимической системы ранга РП определены повышенными содержаниями сидерофилов MnCo, аномальными полями Mo, Cu, Ag.

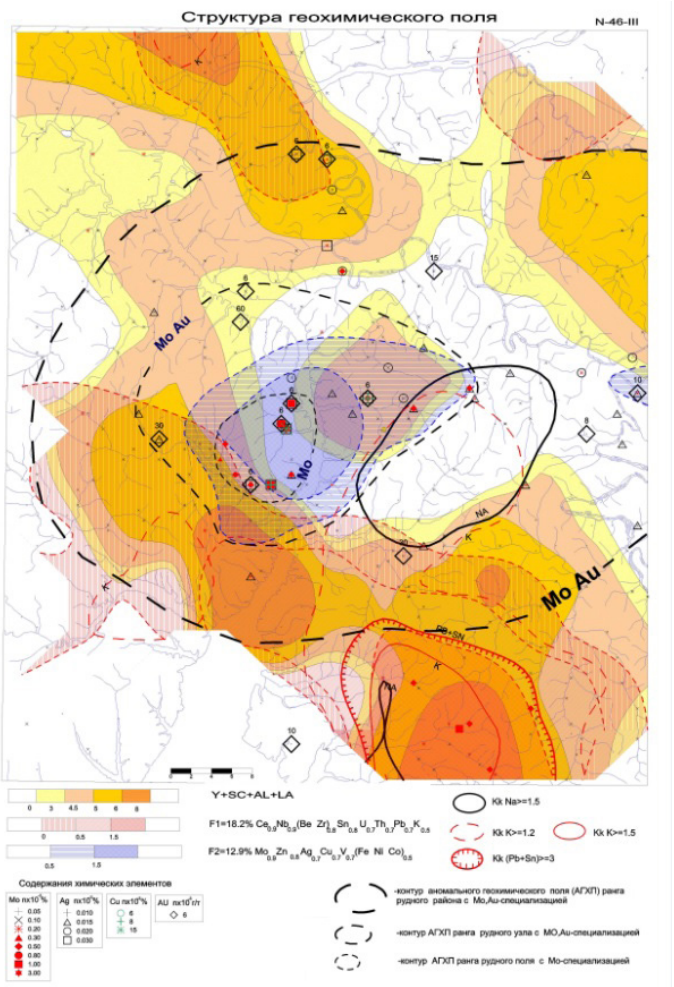


Рис. 1. Структура геохимического поля листа N-46-III, по данным потоковой съемки м-ба 1 : 500 000

Локальные контрастные повышения содержаний Mo (от 1,0 до 5,0) × 10^{-3} % и Cu (от 8,0 до 20,0) × 10^{-3} %) при отчетливо наблюдаемых понижениях содержаний Pb фиксируются на трех площадях размером 1,5 км^2, 2 км^2, 5 км^2. Локальная аномалия Mo – Cu № 2 окружена по периферии повышенным полем Ag, для аномалий № 2 и № 3 отмечается повышение содержаний As (6–8) × 103 % и Sb (2 × 10^{-3} %) на уровне порога обнаружения и чуть выше.

Прогнозные ресурсы, оцененные по данным потоковой съемки м-ба 1 : 50 000, составляют для Mo – 200 тыс. т, для Cu – 360 тыс. т.

В 2004 году на площади аномалий № 2 и № 3 в рамках полевых работ при подготовке комплекта Госгеолкарты масштаба 1 : 000 000 листа N-46 было проведено литохимическое опробование по вторичным ореолам (ВОР) по сети 200 × 200 и 200 × 50 метров и донное опробование для контроля работ 2001 года. Судя по положению изоконцентрат Mo в ВОР, наиболее крупная линейная аномалия субмеридионального направления протягивается на расстояние около 2 км при ширине 100–300 м. В пределах этой аномалии находятся 24 пробы с содержаниями Mo от 1,5 × 10^{-3} % до 4,0 × 10^{-3} %.

На представленных материалах показана реализация принципа последовательной локализации перспективных площадей на основе выделения аномальных геохимических полей (АГХП) ранга рудного района (РР), ранга рудного узла (РУ), рудного поля (РП).

В 2006 г. проведен небольшой объем горных работ, поисковых маршрутов и повторного опробования по вторичным ореолам, по результатам которых установлена устойчивость аномального поля Mo в потоках и вторичных ореолах рассеяния. В штуфных и керновых пробах содержания элементов составили: Mo – (6–10) × 10^{-3} %, Cu – (10–50) × 10^{-3} %. В трех скважинах, пробуренных в центре контрастной аномалии Mo в ВОР (Рис. 3), по всему разрезу присут-

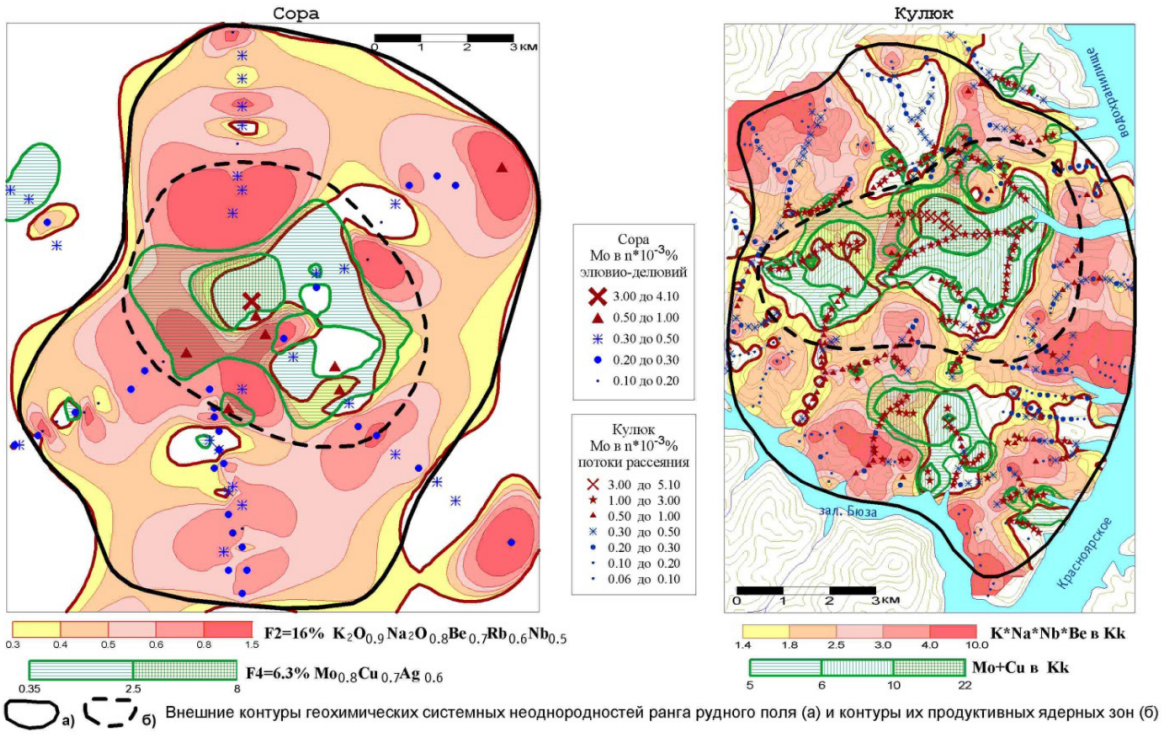


Рис. 2. Зональные системы распределения Mo, Cu и ассоциации элементов-литофилов K – Na – Nb – Be ранга рудного поля на Сорской и Кулюкской площадях

ствует сульфидная минерализация. Рудные минералы, кроме резко преобладающего пирита, представлены халькопиритом, редко блеклыми рудами, встречены зерна самородной меди.

Учитывая геологические особенности участка, предполагается следующая модель возможного оруденения. Рудогенерирующими являются малые интрузии субщелочного состава, один из представителей которых – Каменский массив – выходит на дневную поверхность. Над апикальной поверхностью малых массивов формируются штокверки кварц-сульфидного прожилкования, которые на современном уровне затронуты процессами окисления и трансформируются в брекчиевидные породы с кварц-лимонитовым цементом. Таких массивов на Кулюкской площади было как минимум три. Они отражены в обособленных геохимических аномалиях.

В целом геологическая обстановка типична для медно-молибден-порировой рудной формации.

Нами было произведено изучение внутренней структуры геохимического поля в пределах Сорского рудного узла по интенсивной технологии В. М. Питулько [2], выполнено опробование элювио-делювия и коренных пород с шагом 500 м по трем профилям длиной 16–18 км, пересекающимся на Сорском карьере.

Сравнительная характеристика геохимических полей Сорской площади и перспективной Кулюкской показывает идентичность структуры в распределении литофильной группы K – Na – Be – Nb и аномальных содержаний Mo и Cu (рис. 2). По внешнему контуру повышенных содержаний K – Na – Be – Nb очерчиваются зональные системные аномалии изометричной формы, центральные части которых характеризуются выносом литофилов и контрастными полями Mo – Cu. Площади Сорского и Кулюкского АГХП-РП составляют ~ 100 км^2 и ~ 75 км^2 соответственно. Поведение группы сидерофилов Mn – Ni – Co – Cr и B, которые в Кулюкском АГХП занимают позицию, аналогичную группе Mo – Cu, свидетельствует о надрудном уровне среза Кулюкской рудогенной системы. Эти же элементы в геохимическом поле Сорского узла занимают центробежную позицию. По уровню аномальных содержаний молибдена в элювио-делювии Сорской площади и в коренных породах Кулюкского участка, на порядок превышающих кларковый, обе рудогенные системы сопоставимы.

Таким образом, Кулюкская потенциально перспективная рудогенная система нуждается в дальнейшем углубленном изучении горно-буровыми работами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Кириченко В. Т. Кулюкская геохимическая аномалия молибдена, ее перспективы и проблемы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири и прилегающих территорий : Материалы научно-практической конференции, г. 10–12 апреля 2007 г. – Красноярск : Издательство ОАО «Красноярскгеолсъемка». – С. 188–193.
2. Питулько В. М., Мкртычьян А. К., Юркевич Л. Г. Теория и практика интенсивной технологии геохимических работ при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений. – СПб. : Нестор-История, 2014. – 424 с.

Яковлев И. В. [1, 2] (YakovlevIgV@alrosa.ru), Мальковец В. Г. [1, 2] (MalkovetsVG@alrosa.ru), Гибшер А. А. [1, 2] (GibsherAA@alrosa.ru), Милаушкин М. В. [1, 2] (MilaushkinMV@alrosa.ru)
[1] Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,
[2] АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Новосибирск

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ГРАНАТОВ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ИМ. 23 СЪЕЗДА КПСС И ПРОБЛЕМА РАСЧЕТА «АЛМАЗНОГО ОКНА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОМИНЕРАЛЬНОЙ ГЕОТЕРМОБРАОМЕТРИИ

Приведены результаты изучения 339 гранатов из концентрата тяжелой фракции, полученного после термохимического растворения проб кимберлита из трубки им. 23-го съезда КПСС. Химический состав гранатов определен методом РСМА; содержание редких элементов в гранатах определялось методом ICP MS. По содержанию основных элементов установлено, что среди изученных гранатов резко преобладают перидотитовые парагенезисы, при этом большая доля гранатов относится к гарцбургит-дунитовому парагенезису – 51,9 %, около 17 % гранатов относятся к алмазной ассоциации (по Соболев, 1974). При реконструкции палеогетермы по рассчитанным PT-параметрам гранатов (с использованием термобарометра Griffin, 1995) величина теплового потока составила 35,3 мВт/м^2, мощность литосферы около 250 км, мощность «алмазного окна» около 40 км. Однако возникает неоднозначная ситуация, при которой метод расчета «Y края» (граница деплетированной литосферы, по Griffin, 1995) может работать некорректно, поскольку в выборке практически полностью отсутствуют высокотитанистые гранаты (TiO_2 > 0,5 %), которые свидетельствуют о преобразовании пород литосферной мантии силикатными метасоматическим агентами. «Y край», определенный на глубине около 160 км, в данном случае может свидетельствовать лишь об отсутствии гранатсодержащих пород ниже этой границы. Таким образом «алмазное окно» может простираться на большую глубину.

Ключевые слова: кимберлит, литосферная мантия, геотерма, перидотитовый гранат, «алмазное окно».

Проблемы поиска и оценки коренных алмазоносных месторождений за последние два десятилетия приобрели особую актуальность в алмазодобывающей индустрии. За этот период значительно сократилось число обнаруженных алмазоносных кимберлитовых тел, что наводит на мысль о необходимости пересмотра и совершенствования существующих методов и подходов к их поискам. Для разработки более эффективных методов поиска и оценки месторождений алмаза важно понимать процессы, при которых образовались не только эти месторождения, но и сами алмазы.

Кимберлитовая трубка им. 23 съезда КПСС относится к Мирнинскому кимберлитовому полю (Мало-Ботуобинский район, Сибирский кратон). Трубка характеризуется уникальными по качеству и цвету алмазами и в настоящее время полностью отработана. По аналогии с остальными кимберлитовыми телами Мирнинского поля предполагается, что кимберлиты трубки им. 23 съезда КПСС также внедрялись в среднепалеозойскую эпоху (D_3–C_1).

Геотермальный режим и мощность литосферной мантии под Мирнинским кимберлитовым полем ранее исследованы по составам минералов-спутников алмаза трубок Мир, Интернациональная, Таежная и Амакинская [2], тепловой поток составил 35 мВт/м^2, а мощность литосферы около 190 км. В работе [1] приводятся исследования с использованием более современной модели построения геотермы, тепловой поток составил 37 мВт/м^2, а мощность литосферы около 210 км.

В данной работе исследованы геотермальный режим, мощность литосферы и мощность «алмазного окна» трубки им. 23 съезда КПСС по результатам исследования состава гранатов, отобранных после термохимического разложения кимберлитовых проб.

Химический состав гранатов определялся методом РСМА на приборе Jeol JXA 8100 в ОЛО ГРР (ЦАЛ) (г. Мирный). Определение содержания редких элементов в гранатах проводилось методом масс-спектрометрии с использованием квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой XSERIES2 в НГУ (г. Новосибирск). Для определения PT-условий образования гранатов использовались Ni-in-Gar геотермометр и Cr-in-Gar геотермобарометр [3].

Исследованы составы 339 гранатов из концентрата тяжелой фракции, полученные после термохимического растворения кимберлитовых проб трубки им. 23 съезда КПСС. Среди изученных гранатов значительная часть (> 90 %) представлена гранатами перидотитового парагенезиса. По классификации Schulze (2003) среди перидотитовых гранатов преобладают зерна гарцбургит-дунитового парагенезиса (176 зерен, 51,9 %), к лерцолитовым гранатам относится 101 зерно (29,8 %), к верлитовым 33 зерна (9,7 %). При этом из 310 перидотитовых гранатов 220 зерен (71 %) имеют содержания Cr_2O_3 > 5 мас. %. В поле включений в алмазах (алмазная ассоциация, по Соболев, 1974 [9]), попадают 52 граната (16,8 % от перидотитовых). Также обнаружено 27 гранатов (8 %) эклогитового состава. По классификации Ramsay (1993) резко преобладают гранаты с низким содержанием титана (TiO_2 < 0,5 мас. %) – гранаты из зернистых перидотитов (312 зерен, 92 %). Среднее содержание TiO_2 в перидотитовых гранатах составляет 0,27 мас. % (медиана 0,29 мас. %).

По содержаниям Y (г/т) в гранатах и температуре их образования, полученной с помощью мономинерального гранатового термометра (Griffin, Ryan, 1995), можно сделать вывод, что положение основания деплетированной (относительно неизмененной) литосферы («Y край») находится в интервале глубин, соответствующим температурам около 960 °С, однако такой вывод вероятнее всего будет ошибочным, так как для данной кимберлитовой трубки отсутствуют данные по гранатам, расположенным ниже этой границы, а также в выборке практически полностью отсутствуют высокотитанистые гранаты из катаклазированных перидотитов, отражающие преобразование пород литосферной мантии силикатными расплавами в основании литосферной мантии. Вероятнее всего это связано с практически полным отсутствием гранатсодержащих пород ниже данной границы в разрезе литосферной мантии под трубкой им. 23 съезда КПСС.

Для модельной реконструкции палеогеотермы под кимберлитовой трубкой им. 23 съезда КПСС использовались данные по оценкам PT-параметров низкокальциевых гарцбургитовых гранатов (что связано с ограничениями и особенностями геобарометра, Griffin, 1995). Определение параметров палеогеотермы производилась в программе FITPLOT [4] и «Геохимия граната – эксперт» (АК «АЛРОСА» (ПАО)). Значение теплового потока составило 35,3 мВ/м^2, а мощность литосферы ~ 250 км (рисунок). При этом мощность «алмазного окна» (от границы графит–алмаз до нижней деплетированной границы литосферы) составила около 40 км. Однако «Y край», определенный на глубине около 160 км, в данном случае может свидетельствовать лишь об отсутствии гранатсодержащих пород ниже этой границы. Таким образом, «алмазное окно» может простираться на большую глубину, а термальный режим и мощность деплетированной литосферной мантии под трубкой им. 23 съезда КПСС требуют дополнительного исследования по другим минералам-спутникам алмаза, которые могли находиться в перидотитах ниже границы 160 км.

Источники финансирования: собственные средства АК «АЛРОСА» (ПАО), грант РНФ № 22-27-00724.

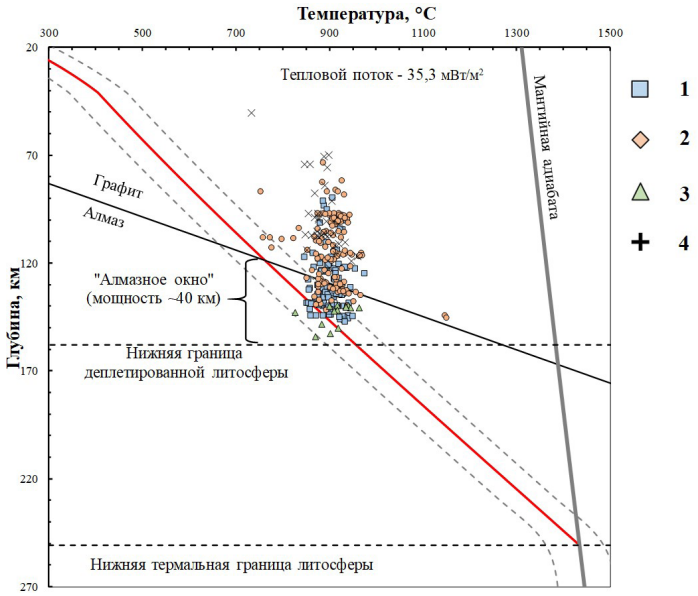


Рисунок. Модельная палеогеотерма для литосферной мантии в районе тр. им. 23 съезда КПСС: красная линия – палеогеотерма и ее доверительные интервалы (серые пунктирные линии); 1 – гранаты из кальциевых гарцбургитов, 2 – гранаты из лерцолитов, 3 – гранаты из низкокальциевых гарцбургитов, 4 – гранаты из верлитов (по Griffin, 1995)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Dymshits A. M. et al. Thermal state, thickness, and composition of the lithospheric mantle beneath the Upper Muna Kimberlite Field (Siberian Craton) constrained by clinopyroxene xenocrysts and comparison with Daldyn and Mirny Fields // Minerals. – 2020. – V. 10, № 6. – P. 549.
2. Griffin W. L. et al. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton // Tectonophysics. – 1999. – V. 310, № 1–4. – P. 1–35.
3. Griffin W. L., Ryan C. G. Trace elements in indicator minerals: area selection and target evaluation in diamond exploration // Journal of geochemical exploration. – 1995. – V. 53, № 1–3. – P. 311–337.
4. Mather K. A., Pearson D. G., McKenzie D., Kjarsgaard B. A., & Priestley K. Constraints on the depth and thermal history of cratonic lithosphere from peridotite xenoliths, xenocrysts and seismology // Lithos. – V. 125 (1–2). – P. 729–742.

Карась С. А. (karas@tsnigri.ru), Трач Г. Н. (trach@tsnigri.ru),
Панасенко Ю. М. (panasenko@tsnigri.ru)
ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ГАЗОРТУТНЫМ МЕТОДОМ

В настоящее время наблюдается некоторое оживление интереса к газортутному методу поисков месторождений, в том числе золота. Это связано с необходимостью поисков перекрытых и скрытых рудных объектов и, в какой-то степени, с появлением отечественного ртутного анализатора нового поколения РА-915М на основе зеемановской поляризационной спектроскопии, производимого в г. Санкт-Петербург фирмой «Люмэкс». В тезисах доклада изложена краткая история развития газортутного метода поисков и указаны материалы, которые были использованы для обзора результатов поисков газортутным методом. Обзор составлялся для реальной оценки возможностей метода газортутной съемки и определения путей повышения его эффективности.

Ключевые слова: ртутометрия, газортутный анализатор, газортутная съемка, ртуть, атмогеохимические поиски.

Газортутный метод поисков месторождений впервые был применен сотрудниками Всесоюзного института техники разведки под руководством Е. А. Сергеева в 1957 г. на Хайдарканском ртутном месторождении. Однако из-за несовершенства методики определения ртути работы были практически прекращены. Лишь в 1963 г. с помощью созданного И. И. Степановым и В. З. Фурсовым атомно-абсорбционного газоанализатора, предназначенного для измерений концентраций ртути в газообразных (нижний предел 500 нг/м^3) и твердых (n × 10^{-8} %) пробах, оказалось возможным определить газовые и сорбированные ореолы ртути над скрытым ртутным оруденением [2]. Определение концентраций ртути в них основывалось на поглощении парами ртути в воздухе ультрафиолетового излучения ртутной лампы (длина волны 253,7 нм) прибора [5]. В почвенном и атмосферном воздухе имеются мешающие примеси в виде различных газов, влаги и пыли, способные поглощать ультрафиолетовое излучение ртутной лампы. Поэтому необходимо было использовать селективное измерение паров ртути. Для этого использовалось предварительное накопление паров ртути на золотом сорбенте с последующей десорбцией при измерениях или эффект Зеемана.

Газортутный метод разрабатывался и совершенствовался в СССР в Казахском филиале ВИРГа (г. Алматы), ИМГРЭ (г. Москва), ИМР (г. Симферополь) и ЛГУ (г. Санкт-Петербург).

Первый портативный ртутный анализатор КазРАФ-1 был создан И. И. Степановым и В. З. Фурсовым в Казахском филиале ВИРГа (НПО «Рудгеофизика»). В анализаторе использовалось предварительное накопление паров ртути на золотом сорбенте. До 1970 г. его модификации выпускались мелкими сериями заводом Казгеофизприбор. Анализаторы довольно продолжительное время эксплуатировались в производственных организациях, но не получили широкого распространения из-за большой массы, габаритных размеров и энергопотребления. В 1984 г. был разработан газоанализатор АГП-01, который был принят за основу при серийном выпуске газоанализаторов опытным заводом скважинной геофизики объединения «Уралгеология». Он был полностью снабжен утвержденными методиками измерений, обеспечивал определение содержания паров ртути на уровне ПДК атмосферного воздуха (0,0003 мг/м^3) и ниже. Выпускался с 1986 по 1999 гг., заменен на АГП-01М. Более современные версии АГП-01-2М производились до настоящего времени в г. Екатеринбурге на ФГУП «Завод «Уралгеофизприбор». Сейчас они также сняты с производства, но еще есть в продаже. Это самый известный и широко применяемый ртутный анализатор. Было выпущено более 2000 приборов, именно этими анализаторами были оснащены большинство центров госсанэпиднадзора, подразделений ГО и ЧС и атмогеохимические партии геологоразведочных экспедиций [1].

В ИМГРЭ В. А. Бабакиным и В. З. Фурсовым совместно с заинтересованными геологическими организациями создано 20 газоанализаторов ИМГРЭ-4 с предварительным накоплением паров ртути на золотом сорбенте, а в 1976–1982 гг. совместно с Бронницкой геолого-геохимической экспедицией ещё несколько анализаторов ИМГРЭ-6 и ИМГРЭ-7[3]. Этими приборами были проведены опытно-методические работы в Таджикистане, Киргизии, Казахстане, на Южном Урале, Украине, в Забайкалье, Дальнем Востоке, Болгарии и Чехии [5]. Однако широкого применения эти анализаторы не нашли из-за сложности эксплуатации, низкой производительности, незначительной надежности [1].

В институте минеральных ресурсов (г. Симферополь) был создан ртутный газоанализатор ИМР-1 по конструкции сходный с конструкцией газоанализатора ИМГРЭ-4. Анализатор ИМР-1 использовался в основном для атмогеохимических работ в Крыму и на Донбассе [2].

Исследования по атмогеохимии ртути, проводимые с начала 1970-х годов сотрудниками Ленинградского государственного университета под руководством Г. Т. Свешникова, были направлены в первую очередь на разработку аппаратуры для активного дистанционного атомно-абсорбционного спектрального анализа паров ртути в атмосфере. Созданные макеты двух типов приборов установили преимущества двухволнового зеемановского анализатора. В настоящее время в г. Санкт-Петербург фирмой «Люмэкс» производится анализатор ртути нового поколения РА-915М на основе зеемановской поляризационной спектроскопии [2]. Именно он сейчас применяется при проведении газортутной съемки для определения концентраций ртути в почвенном воздухе.

Обзор результатов поисков месторождений цветных и благородных металлов газортутным методом, который будет приведен в докладе, составлен на основе фондовых материалов и в не-

которой степени по материалам, предоставленным недропользователями, редких статьях [4], а также собственных данных.

Поиск фондовых материалов, содержащих результаты газортутных съемок, осуществлялся в электронных каталогах карточек геологической изученности и геологических документов на сайте ФГБУ «Росгеолфонд». Большинство отчетов, отмеченных как содержащие атмогеохимические работы, связаны с поисками нефти и газа, когда проводилось определение концентраций углеводородов, гелия и др. газов, а также с поисками радиоактивных элементов, когда проводилась эманационная съемка. В целом, найдено около 60 отчетов, содержащих результаты газортутной съемки.

Большая часть отчетов до 1990 г., включающих результаты поисков месторождений газортутным методом, относится к опытно-методическим работам по разработке, усовершенствованию, внедрению и оценке эффективности газортутного метода поисков. Очевидно, это связано с тем, что промышленный выпуск серийного отечественного газортутного анализатора АГП-01 начался в 1986 г. До этого периода проводились в основном опытно-методические работы с применением различных газоанализаторов, которые выпускались небольшими партиями.

В период 1970–1989 гг. по результатам опытно-методических газортутных съемок (в том числе и на закрытых территориях) были достигнуты многообещающие результаты. В пределах выявленных атмогеохимических аномалий, по результатам заверочных работ были вскрыты рудные тела киновари (участок Хошчан в Киргизии, участок Рузи-Обнак в Таджикистане, участок Танриохишинский в Азербайджане), медноколчеданные залежи на участках Гунинском, Байгазинский и Кугалинском на Южном Урале и на участке Кафан в Армении, золота на месторождении Амантайтау в Узбекистане. Успехов за пределами южных территорий СССР было меньше – на участке Кулон (месторождение Карамкен в Магаданскокй области) в пределах атмогеохимической аномалии ртути под пролювиально-аллювиальными отложениями мощностью 30–40 м выявлены зоны серебряной минерализации [5].

Поиски месторождений цветных и благородных металлов газортутным методом, проведенные в 1990–2022 гг., за пределами известных рудных объектов такой результативностью не отличаются. В ряде случаев их применение оказалось эффективным на открытых территориях, где перспективный участок выделялся и по данным стандартных литохимических поисков по вторичным ореолам. Однако в большинстве проанализированных работ значимые результаты не были получены. Необходимо отметить, что в рамках ГРР за счет бюджетного финансирования, в 2000–2023 гг. поиски месторождений благородных и цветных металлов газортутным методом практически не проводились. Существенный объем этих работ в последние годы (в том числе и опытно-методических) проводился недропользователями, причем материалы их в основном недоступны. Поэтому на данный момент времени обзор результатов поисков месторождений цветных и благородных металлов газортутным методом, который будет приведен в докладе, нельзя считать полным. Анализ успехов и неудач газортутного метода поисков месторождений позволит оценить реальные возможности этого метода и в идеале повысить его эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Жеребцов Ю. Д., Политиков М. И., Сикорский В. Ю. Технология ртутометрических поисков рудных месторождений. – М. : Недра, 1992. – 175 с.
2. Карасик М. А., Кирикилица С. И., Герасимова Л. И. Атмогеохимические методы поисков рудных месторождений. – М. : Недра, 1986. – 247 с.
3. Методические рекомендации по газортутному методу поисков рудных месторождений. – М. : ИМГРЭ, 1985.
4. Неволько П. А., Фоминых П. А. Опытно-методическая газортутная съемка на новолушниковском золоторудном месторождении (салаирский кряж) // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 6. – С. 17–20.
5. Фурсов В. З. Возможности ртутометрии. – М. : ИМГРЭ, 1998. – 188 с.

Иванова И. И. (AnisimovaII@yandex.ru)
АО «СНИИГГиМС», г. Новосибирск

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ УЛАНТОВСКОГО МАССИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ «BIG DATA» И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В работе представлены результаты анализа данных малоизученного современными методами рудного района в Новосибирской области. Участок работ располагается в пределах Улантовского плутона. Ранее в его пределах выделялись медно-молибденовые, золотые и урановые рудопроявления, но их генетический тип установлен не был.

Ключевые слова: ИИ, Улантовский плутон, РФА-анализ, медно-порфировые месторождения.

Медь и редкоземельные металлы являются неотъемлемой частью современных «зеленых» технологий, широко используются в генераторах турбин, двигателях электромобилей и других высокотехнологичных устройствах, где они незаменимы. Поэтому их поиски актуальны, особенно в районах, малоизученных современными методами.

В работе рассматривается участок, расположенный в пределах Улантовского плутона (Новосибирская область). Ранее в его пределах были выявлены медно-молибденовые, золотые и урановые рудопроявления, генетический тип которых не был установлен. Кроме того, последними работами ГДП-200 на листе N-45-VII (Тогучин) было выявлено несоответствие геологических возрастов двух интрузивных комплексов, слагающих плутон (жерновского и выдрихинского) с ранее принятыми. А именно, «возраст жерновского комплекса позднепермско-раннетриасовый – 258±5 млн лет (Ar-Ar по плагиоклазу гранит-порфиров). Недавно получена Rb-Sr дата – 423±8,4 (по валу породы и породообразующим минералам из лейкогранитов), которая не согласуется с геологическим возрастом жерновского комплекса. Причины удревнения возраста не установлены». Поскольку с данными комплексами пространственно и, вероятно, генетически связано золото-медно-молибденовое оруденение, то появилась необходимость изучить особенности пород плутона: их петролого-геохимический состав, строение сформированных ими тел, установить возможные источники генерации магматических расплавов. Данные исследования проводятся на основе комплексного анализа геолого-геофизических и геохимических материалов с применением современных систем анализа результатов на основе искусственного интеллекта (ИИ).

По данным предыдущих исследователей [1, 2], в строении Улантовского плутона участвуют породы двух интрузивных комплексов: жерновского и выдрихинского. Жерновский комплекс представлен гранитами и лейкогранитами. К этому комплексу относят граносиениты и монцодиориты, локально встречающиеся среди полей гранитов. К выдрихинскому комплексу относятся породы тоналит-диоритового типа. Предыдущие исследователи отмечают, что гранитоиды жерновского комплекса характеризуются калиевой, натро-калиевой и повышенной общей щелочностью, высокой железистостью и по составу уверенно отличаются от выдрихинских гранитоидов (рисунки 1, 2).

Для выполнения анализа данных с применением ИИ использовались архивные результаты лабораторных исследований (отчеты Кадоркина, Минаева, Беляева, Голошейкина, Мареева, Нечаева), из которых проанализировано более 3500 проб (аналитики Нечаев и др), также проанализированы данные современных лабораторных исследований, выполненных в рамках госконтракта АО «СНИИГГиМС» и лично автором в кернохранилище АО «СНИИГГиМС» с помощью портативного РФА-анализатора. Анализ указанных данных показал, что ряд интрузивных пород, сопровождаемых высокими содержаниями полезных компонентов (Cu и Mo), имеет особый состав.

Если отобразить состав пород, полученный по результатам стационарного РФА-анализа на TAS-диаграмме, то видно, что породы жерновского комплекса делятся на две группы. Первая – монцониты и сиениты, вторая – граниты, низкощелочные граниты, лейкограниты. Эти различия в составах четко отражаются и на диаграммах Rb(Sr) и Rb (Y + Nb), образуя две различные вет-

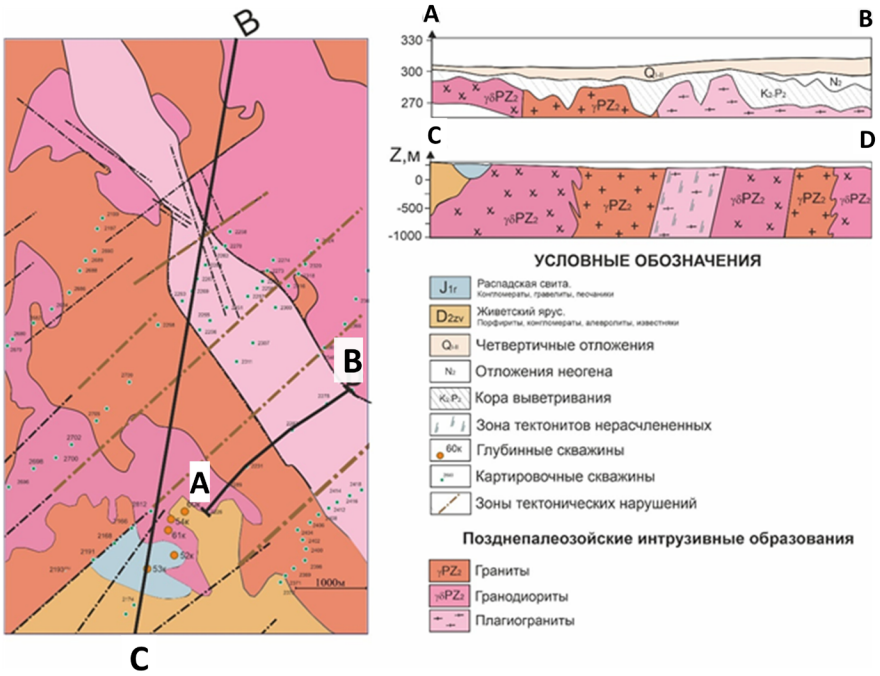


Рис. 1. Фрагмент государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 на участок работ

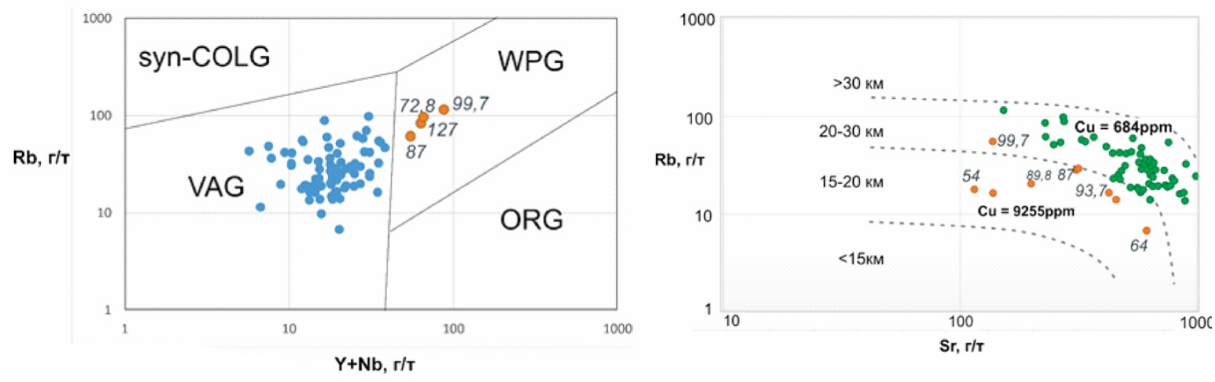


Рис. 2. Диаграмма Rb (Y+Nb) и Rb (Sr)

ви. Содержания меди и молибдена в породах второй группы максимальные. Таким образом, полученные результаты позволяют с большой степенью уверенности предполагать, что в составе Улантовского плутона, помимо выделенных ранее выдрихинского и жерновского интрузивных комплексов, относящихся к гранитоидам вулканических дуг, также присутствуют гранитоиды внутриплитного происхождения. Именно они несут повышенные содержания полезных компонентов (меди, молибдена и др.).

Пространственное расположение данных гранитоидов в пределах массива отчетливо выделяется по данным TIRS съемки с Landsat 8: они образуют кольцевую структуру (рис. 3).

Выводы. Анализ данных современными методами позволил уточнить, что в пределах Улантовского плутона существует неописанный ранее комплекс гранитоидов, отличающийся от жерновского и выдрихинского комплексов генезисом (зона WPG, отличные глубина и температура образования). Это косвенно подтверждается в отчетах Нечаева и Беляева, где отмечается «удревнение возраста» пород массива по некоторым пробам.

Выполненные ранее работы по изучению массива (в том числе в 2021–2023 гг.) не вскрыли центральные части перспективных геофизической и геохимической аномалий, где прогнозируется наличие более продуктивного гранитоидного комплекса. Для подтверждения установленных автором предпосылок, требуется дальнейшее выполнение работ в пределах Улантовского плутона.

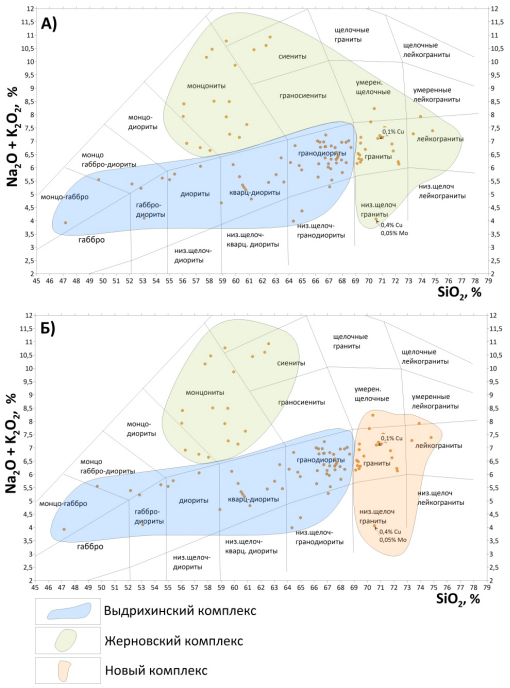


Рис. 3. Интрузивные типы пород на TAS-диаграмме по данным РФА-анализа: А – по описанию типа пород из архивных источников, Б – по комплексной аналитике состава пробы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Беляев В. И., Нечаев В. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-VII (Тогучин). Объяснительная записка. Новосибирск, ФГУП «Новосибирская геолого-поисковая экспедиция», 1999. – 275 с.
2. Кадоркин Е. М. [и др.] Отчет партии № 49 о результатах аэропоисковых работ в северной части Салаирского кряжа в 1963 г. – Новосибирск, 1964, ФБУ ТФГИ по СФО.

Chen Bo (chenbo@mail.cgs.gov.cn), Dong Zengchan, Li Leqian
Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an, China

THE FORMATION OF LITHIUM-RICH PEGMATITES IN LONG-LIVED OROGENIC SYSTEM, A CASE STUDY IN CHINESE ALTAY

Lithium-enriched pegmatite usually formed during late-stage of convergent orogenies and associated with supercontinent assembly. The key issue which geologists concerning is what controls the lithium enrichment in a long-lived orogenic belt. Altay is a typical accretionary orogenic belt in Central Asia. More than 100 thousand pegmatites formed during the nearly 300 million years' evolution. Nevertheless, the enrichment of lithium only occurred in the Triassic pegmatite. Our result suggests the preconcentration of rare metal elements and volatile compositions during the early stage of anatexis and metamorphism is necessary for forming Triassic-Jurassic Li-rich melt, with or without extensive fractional crystallization. Consequently, multi stages partial melting can be an efficient mechanism to form Li-rich pegmatite in a long-lived orogenic belt.

Keywords: lithium-enriched pegmatite, Altay, orogenies.

Pegmatite can be formed in various tectonic settings. However, Lithium-enriched pegmatite usually formed during late-stage of convergent orogenies and associated with supercontinent assembly. The key issue which geologists concerning is what controls the lithium enrichment in a long-lived orogenic belt. Altay is a typical accretionary orogenic belt in Central Asia. More than 100 thousand pegmatites

formed during the nearly 300 million years' evolution. Nevertheless, the enrichment of lithium only occurred in the Triassic pegmatite. Therefor, Altay orogenic belt can be a natural window for investigating the issue mentioned above.

The Early Devonian, the Early Permian and Triassic-Jurassic, three stages of granitoids and pegmatites have formed in accretionary orogenic processes in Altai. The Devonian and Permian high temperature (HT) or ultra-high temperature (UHT) metamorphism accompanied with contemporaneous granitoids intrusion. Mineralization of muscovite and minor beryllium occurred in the Paleozoic pegmatite. Large and giant-sized deposits of lithium-beryllium-niobium-tantalum formed only in the Mesozoic pegmatite. We choose a typical gneiss dome in the southeast Altay, which outcrops numerous Paleozoic pegmatites, to compare with the Li-Be-Nb-Ta concentration area in the middle Altay.

According to the field geological investigation, the gneiss dome shows core-mantle margin texture, which is divided into sillimanite-biotite-garnet zone (migmatite, gneiss), andalusite-staurolite zone (gneiss and schist) and chlorite-sericite zone (schist and phyllite), representing different levels of the crust. The pegmatite intruded into the andalusite bearing mica schist. The monazite and zircon U-Pb dating for the migmatite, schist and pegmatite reveal that the Early-Paleozoic sedimentary suit has both experienced the early Devonian and early Permian metamorphism and anatectic melting. Pegmatite formed in the two events, and only a few dykes show beryllium mineralization. The Devonian and Permian granitoids (I-type and A-type, respectively) also occur nearby. Although they generated in different geodynamic backgrounds, they are characterized by mantle material involved and weak fractional crystallization. Accordingly, it seems that the Devonian and Permian pegmatites do not have evolutional relationship with contemporaneous granites, and they might be products of low-grade partial melting of sedimentary rocks. Moreover, the protolish of these meta-sedimentary rocks are mainly greywacke, which is texturally and compositionally immature. Melt from this source unlikely be rich in rare metals elements, such as Li. For comparison, the granite near Li-rich pegmatite in Kaluan area in the Central Altay is typical S-type, and show strong fractional crystallization.

Although the Devonian and Permian pegmatite did not develop rare metals mineralization, the HT-UHT metamorphism and anatectic melting induced fractions of these elements. Li is enriched in the biotite, staurolite and cordierite in the sedimentary rocks with increasing grade of metamorphism. Nb and Ta are enriched in the residual portion of the parent rock during partial melting, while the volatile compositions are assembled in neosome of the migmatite. Recent research shows that Triassic S-type granite contains abundance Devonian residual zircons. It indicates that the early generation pegmatite or metamorphic products were involved as source in the late stage of magmatism. Our result suggests the preconcentration of rare metal elements and volatile compositions during the early stage of anatexis and metamorphism is necessary for forming Triassic-Jurassic Li-rich melt, with or without extensive fractional crystallization. Consequently, multi stages partial melting can be an efficient mechanism to form Li-rich pegmatite in a long-lived orogenic belt.

Leibham Polina [1] (leibham@tsnigri.ru), Krasnov Anton [1] (krasnov@tsnigri.ru), Sayapov Marat [1], Grachova Alexandra [2], Kostina Elizaveta [1]

[1] TsNIGRI, Moscow,

[2] VNIGNI, Moscow

CHARACTERISTICS OF THE ORE-BEARING SREDNENSKY PLUTON GRANITOIDS AND ALTERED ROCKS IN BABUSHKIN BAY, MAGADAN REGION, RUSSIA

Porphyry Cu-Mo and Au-Ag epithermal mineralization occurrences are widespread in the peninsulas of Koni and Pyagin. The Schkhiper area, hosting the Sulfidny and the Khrustalny occurrences, is located between the peninsulas and has sulfide veinlets and disseminated sulfide minerals hosted in altered volcanic, igneous and terrigenous-volcanogenic rocks. Here we describe the results of geological work

in 2020-2022. Igneous rocks, alterations and ore minerals identified by petrography, ore microscopy, XRD and SEM are briefly described. Results show that the ore-forming process can be divided into pre-ore (distal propylitic and superimposed phyllic alterations) stage and ore stage. Based on the mineralogical composition of the ore and the major metasomatic and igneous rocks and the geological setting, the occurrences of the Schkhyper area can be considered as related to a porphyry system.

Key words: Srednensky, porphyry system, gold, Schkhyper area.

The study area is located on the coast of Babushkin Bay (Sea of Okhotsk) between the Koni and Pyagin peninsulas. Due to the difficult accessibility, the territory has been underexplored and poorly studied.

The work of Skibin Yu.P. and other researchers in 1978-1987 provided the basis for subsequent work. porphyry Cu-Mo and Au-Ag epithermal occurrences were found and described in the area. Subsequently, research group of Shubin S.A. in 2003-2005 undertook a complex of prospecting works on Cu, Mo, Au, Ag, where the content of Cu 0.05% and Au 0.04 g/t in coastal eruptive breccias associated with zones of quartz-pyrite veinlets were established. Field work in 2020-2022 was aimed at studying this area, called Schkhiper and referenced in the works described above, included geological routes, trenching and drilling. The obtained samples are the foundation of this paper.

In this work, we tried to find and analyze signs of porphyry Cu ore mineralization in stocks belonging to the Srednensky granitoid pluton, since porphyry occurrences of Lora and Talnikovoe are known within the study area.

Geological settings. The Schkhiper area is located southeast of the Srednensky pluton, which is part of the Uda-Murgal belt consisting of island arc and continental-margin terranes. The formation of the volcanic continental margin began in the Middle Jurassic at the border with the Mesopacific. In the Early Cretaceous, subduction at the margin was interrupted due to the accretion of the Kuyul, Algan and Mainit terranes [2, 3].

The Schkhiper area is defined by Middle-Upper Jurassic terrigenous-volcanogenic rocks (basalts, andesites flows and tuffs, siltstones, sandstones, gravelstones), Lower Cretaceous terrigenous-volcanogenic rocks (andesites, dacites, basalts flows and tuffs, conglomerates, sandstones) [1]. These rocks are intruded by numerous pre-Albian dikes and stocks of gabbro, diorite, tonalite, plagiogranite and leucogranite (Figure 1). At the contact with intrusive rocks, the terrigenous-volcanogenic rocks were intensively altered with the formation of various types of metasomatites with disseminated ore mineralization.

The structure of the area is formed by discontinuous faults of northeast and northwest strike. Fault zones are superimposed on each other: the latest northwestern faults forming the Babushkinskaya fault zone are superimposed on the Odyan-Pyaginskaya meridional fault zone and sublatitudinal fault zone [1]. They are complicated by ring faults related to the Meldek intrusive-dome structure of a regional scale, the formation of which is due to the intrusion of the Sredninsky granitoid pluton.

On the Schkhiper area, we studied 2 areas called Sulfidny and Khrustalny (Figure 1). In these areas, rocks of the Khalanchikan, Beregov, and Umarin formations are common. The Khalanchikan Fm. is composed of mudstone and siltstone, less often tuff siltstone and of andesitic and dacitic tuffs. The Beregov Fm. is composed of sandstone and siltstone with an admixture of tuff material. The Umarin Fm. is composed of sandstone, gravelstone, tuff sandstone with interlayer of siltstone and dacitic tuff.

Research methods. Studies were performed on the core samples from drill holes, samples taken from rock outcrops and trenches in the Sulfidny and Khrustalny areas. The mineral composition of ores and altered volcanic rocks was studied using an Olympus BX51 optical microscope with DF and BF modes in the Laboratory of Mineralogy and Petrography of TsNIGRI. The mineralogy of the altered rocks was determined by X-ray diffraction using the ARL X'tra diffractometer with Dectris Mythen2 R 1D detector in the Laboratory of Lithology of VNIGNI. The petrochemical analysis of granodiorites, tonalites and granites was carried out at the RAC State Company in Ulan-Ude using a combination of methods: photometric (photometer KFK-3-01 ZOMS), atomic emission (spectrometer Spectro Acros, gravimetric (scales HTR-220 CE) and thermometric. The chemical composition of native gold and ore minerals was determined at SEM in the Belov Laboratory of Mineral Crystallochemistry in the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences (IGEM RAN) in Moscow.

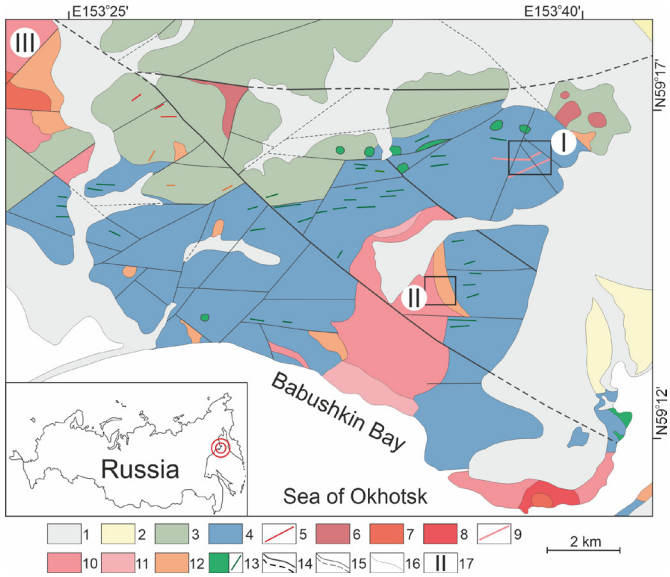


Figure 1. Modified and simplified geological and tectonic map of Schkhiper area after Shubin's group work and field work in 2020-2022:
(1) Quaternary alluvium, (2) Neogene unconsolidated sediments, (3) Lower Cretaceous terrigenous-volcanogenic rocks, (4) Middle-Upper Jurassic terrigenous-volcanogenic rocks, (5) rhyolite-porphyry dikes, (6) subvolcanic dacite-porphyry bodies, (7) leucogranites, (8) porphyritic granodiorites, (9) porphyritic tonalite dikes, (10) granodiorites, (11) quartz diorites, (12) gabbrodiorites, (13) dikes and subvolcanic basalt, (14–15) faults: (14) confirmed and inferred large faults, (15) confirmed and inferred lesser faults, (16) geological boundaries, (17) manifestations: I – Sulfidny, II – Khrustalny, III – Lora

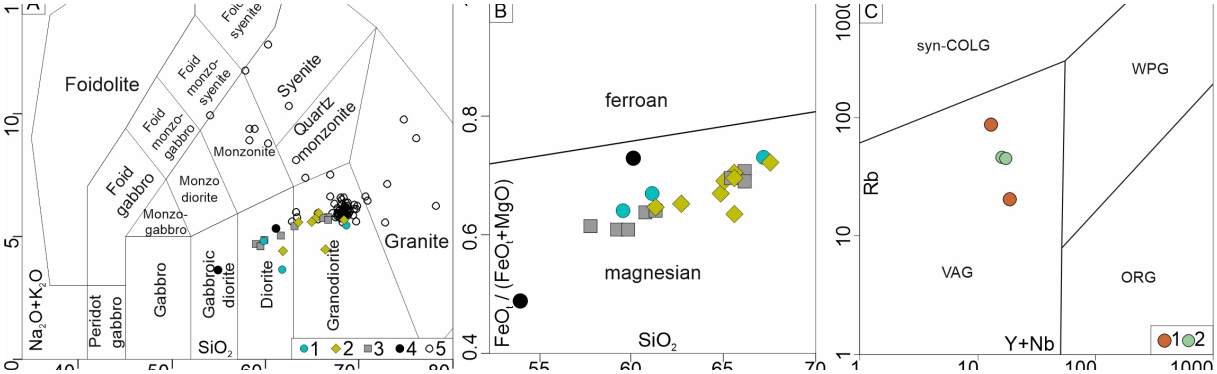


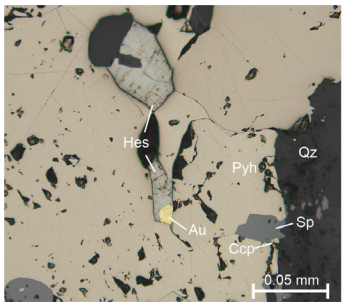
Figure 2. A – Igneous rocks of the stock in the Schkhiper area on the TAS diagram (Middlemost 1994). B – FeOt/(FeOt+MgO) – SiO_2 plot (Frost and Frost 2008). (1) samples taken near the Lora occurrence, (2) samples from trenches (Khrustalny), (3, 4) samples from rock outcrops near Babushkin Bay, (5) samples from Lora after Shubin 2003. C – Rb-(Y+Nb) discriminant diagram for granites (Pearce et al. 1984). (1) samples from the outcrops, (2) samples from the Khrustalny area

Igneous rocks. Fine-grained pyroxene diorites, biotite-pyroxene-amphibole quartz diorites and amphibole-biotite granodiorites were found at the Khrustalny area at the contact with terrigenous-volcanogenic rocks (Figure 2A). Alterations of both host rocks and igneous rocks in this area are weak.

According to the results of petrography and observations in trench walls, a large number of dikes of tonalite-porphyries and granodiorite-porphyries were found at the Sulfidny area. Due to alteration of rocks, petrochemical studies have not been carried out.

The rocks selected from the outcrops are varied: biotite-amphibole quartz diorites, amphibole-biotite granodiorites and granites. In terms of composition, the rocks are close to igneous rocks from the Lora porphyry occurrence. The last magmatic phases in this occurrence are distinguished by higher content of Na_2O+K_2O and SiO_2.

These rocks are metaluminous (ASI 0.8-1 mol.%) and magnesian (Figure 2B). The ratio A/NK varies from 1.8 to 3.6, A/CNK from 0.77 to 1.35. The ratio Fe_2O_3/FeO varies from 0.12 to 0.92. We also



Mineral	S	Fe	Zn	Ag	Cd	Te	Au
Hessite		0,57		61,43		35,44	
Hessite		0,34		62,85		36,81	
Hessite		1,02		61,33		36,02	
Gold		0,85		28,77			70,38
Sphalerite	32,54	9,18	57,67		0,61		
Pyrrhotite	39,09	60,91					

Figure 3. Polished section photograph for Khrustalny area sample and table with chemical composition of this minerals (wt. %). Native gold (Au) with hessite (Hes) in disseminated pyrrhotite (Pyh). Sphalerite (Sp) with chalcopyrite inclusions. (Qz) quartz, (Ccp) chalcopyrite

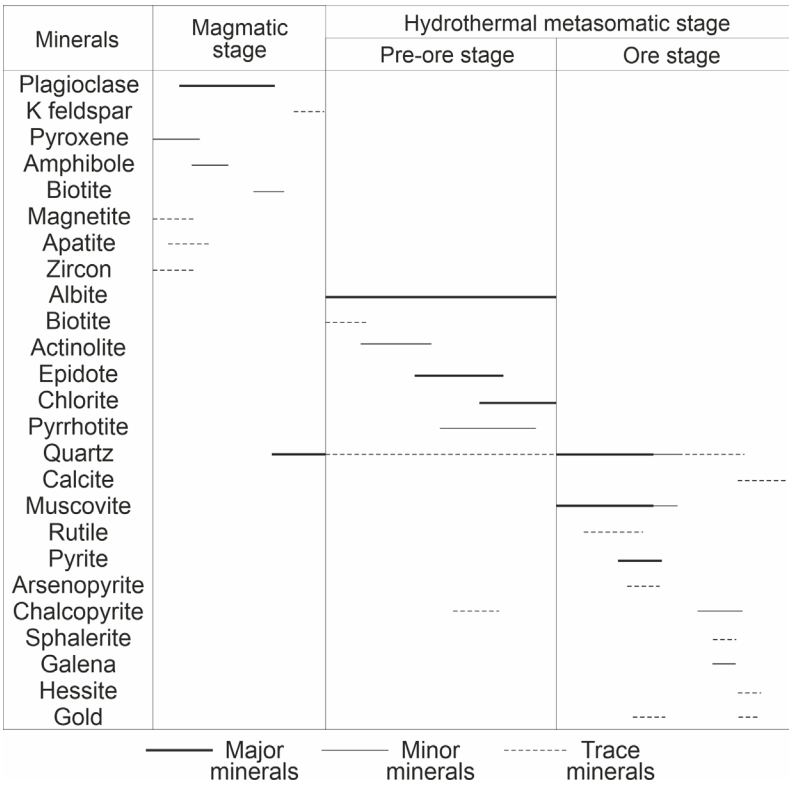


Figure 4. Paragenetic sequence of mineral formation for the Sulfidny and Khrustalny areas

obtained a small number of results on the content of rare earth elements, Rb, Y in igneous rocks from the outcrops and the Khrustalny area. These results suggest that these rocks were formed in a volcanic continental margin (Figure 2C). We are currently continuing our research.

Alteration, mineralization and ore-forming stages. Early propylitic alteration (pre-ore stage) is represented by several types of mineral associations. The first type mineral assemblage is albite, actinolite, epidote and chlorite. In addition, relics of biotite and single relics of potassium feldspar were also noted. The second type of mineral assemblage is distinguished by the lack of actinolite. The rocks contain rarely disseminated pyrrhotite and pyrite with early pyrrhotite replaced along fractures by pyrite and marcasite.

This early alteration is overprinted by later phyllic alteration (ore stage) that consist of chlorite-quartz-sericite and quartz-muscovite assemblages with disseminated pyrite (1-10 vol.%). Pyrite occurs as subhedral to euhedral cubic crystals, which have uneven boundaries and inclusion-free cores but can have inclusion-rich zones near the crystal rims. Moreover, the rocks host sulfide-rich veinlets.

In addition to alluvial gold, native gold was also found in polished sections in association with hessite and pyrrhotite (Figure 3).

Discussion and conclusion. Our studies show that the Schhiper area contains igneous rocks and metasomatites, which are typical for the transition zone from mesothermal to porphyry system.

Gold mineralization in the Sulfidny and Khrustalny occurrences is associated with phyllic-altered rocks (ore stage, Figure 4) along the dike complex of plagio- and leucogranite-porphyry, tonalite-porphyry and host terrigenous-volcanogenic rocks. The gold occurrences are related to the upper part of the Meldek intrusive-dome structure, being a continuation of the ore-magmatic system.

Initially the rocks were propylitically altered to the association of actinolite-epidote-chlorite-albite, which then changed to an assemblage without actinolite. Propylitic alteration is overprinted by phyllic alteration reflecting changes in pH of the ore-forming fluids [4] (Figure 4).

Based on the mineralogical composition of the ore minerals, altered rocks, igneous rocks and the geological setting, the occurrences of the Schkhyper area can be considered as related to a porphyry system containing gold mineralization.

We are currently continuing our research.

Acknowledgements. The authors are grateful to Nikolsky M.S. for the analysis of ore minerals.

REFERENCES:

1. Kolova E. E, Savva N. E. () The ratio of copper-molybdenum-porphyry and gold mineralization on the Koni and Pyagin peninsulas (Northern Okhotsk). Vestnik SVNTs FEB RAS, Magadan. – 2008. – 4. – P. 2–15.
2. Nokleberg W. J., Parfenov L. M., Monger W. H. [et al.] Phanerozoic Tectonic Evolution of the Circum-North Pacific // USGS professional paper 1626, U.S. Geological Survey. – 2000.
3. Sokolov S. D Tectonics of Northeast Asia: An Overview. Geotectonics. – 2008. – 6(44). – P. 60–78
4. Zharikov V. A., Rusinov V. L., Marakushev A. A. et al. Metasomatism and metasomatic rocks. – Moscow : Nauchnyi Mir, 1998.

Phani P. R. C. (phaniprc@gmail.com)
Cyient Limited, Hyderabad, India

POTENTIAL TARGET AREAS FOR DIAMOND EXPLORATION-GEOMORPHOSTRUCTURAL EVIDENCES FROM WAJRAKARUR KIMBERLITE FIELD, INDIA

Emplacement of kimberlites is associated with morphostructural features and hence act as field guides for identifying exploration targets. Several cases were reported from cratonic areas of Arkhangelsk, Yakutia and Siberia. In South Australian terrain, majority of kimberlite pipes occur in Adelaide Geosyncline and are controlled by deep-seated fractures while in NW Australia kimberlites are emplaced in fault corridors. In West Africa, the kimberlites are emplaced along the landward continuation of oceanic fault systems. Likewise, in Wajrakarur Kimberlite Field of southern India, diamondiferous kimberlite pipes occur around domal structures and also within the fault corridors. Although more than 45 pipes were reported, the area still warrants further investigations to find more pipes.

Key words: Morphostructure, Dome, Kimebrlite, Lamproite, Field guides, Prognosticaiton, Target areas.

Globally, kimberlites are associated with cratonic areas where there are deep-rooted fractures forming a favourable tectono-structural setup for emplacement of kimberlites. Common structural features that are associated with kimberlite emplacement are described below [1].

1. Intersecting and highly permeable transverse structures such as deep-seated faults which can be detected by remote sensing techniques followed by ground truth.

2. A dome- or block-shaped uplift 30-100 km in diameter with an elevation from a few tens to a hundred meters, and gradually decreasing depth.

3. Minor domal uplifts and blocks within the main dome, including intrusion-related domes and blocks, corresponding to pipes.

4. Radial and parallel fault systems, with different orientations and centered near the apex of the dome-like or block uplift.

Successful discovery of kimberlites is achieved through selection of favorable geological terrain in the reconnaissance stage. Several stages of prognostication can be framed; each corresponding to appropriate map scales carrying a different strategy depending on geology, availability of literature, presence of pipes and quantum of exploration in the past.

In the very initial stage, geological guides such as examining satellite imagery, geological maps will give some fundamental understanding about the terrain, rock types, structures, and geomorphological guides in the area. Economical diamond deposits occur on Archaean Cratons or archons and Proterozoic Cratons or protons and older mobile belts accreted to the cratonic areas [2–6].

The Indian Peninsular Shield, consisting several cratonic blocks namely Aravali, Bastar, Bundelkhand, Dharwar and Singhbhum, is a proven prospect for diamond exploration. Amongst these, the Dharwar Craton is divided into two blocks namely Western Dharwar Craton (WDC) and Eastern Dharwar Craton (EDC). The EDC comprises granitoid terrain with linear greenstone belts and widely spread Proterozoic sedimentary basins [7] and has recorded highest number of kimberlites (>150) [8, 9]. The kimberlites are distributed in Wajrakarur, Raichur, Narayanpet kimberlite fields and lamproites are grouped as Krishna, Ramadugu, Vattikodu amd Somasila lamproite fields [10] and many occurrences of lamprophyres; all of which are distributed around the crescent shaped Proterozoic Cuddapah Basin [9–14]. The presence of a number of kimberlite/lamproite occurrences itself qualifies the EDC region to be prospective for diamond exploration. Within the EDC, the Wajrakarur Kimberlite Field (WKF) forms the largest with more than 45 kimberlites [9, 10].

Recognition of above criteria increases the possibility of distinguishing and outlining favourable provinces of proposed kimberlite/lamproite fields and, consequently, enhances the effectiveness of the prognostication and subsequent prospecting. Dome-shaped uplifts are usually displayed in fairly plastic sedimentary cover rocks, while block-shaped uplifts are formed in more rigid cover rocks or within outcrops of basement on cratons. The domal uplifts exhibit structural complexity and intense jointing of the slopes or a complex block-framework combined with domes, flexures, and narrow trench-like grabens. The sizes of these uplifts are revealed during ground truth where sedimentary cover is present.

Surficial morphostructural features, which can be easily depicted in topo maps or large scale aerial/satellite/drone borne imagery, represent deep-seated structures. Kimberlite/lamproite fields show concentric- radial structures extending from few to several kilometers in diameter. The individual outcrops reflect as local ring structures which can be ring, dome, dome-ring and flat outcrops owing to their morphostructural expression. These structures are localized within the long-lived, deep-seated faults and the points of intersection with other linear structures. Uplift and arch-ring structures extending for 200-300 km in diameters consist of complex systems of many minor ring structures in their central parts. Linear structures often form a complicated structure of concentric-radial and transitional lineaments [1].

Some important examples of diamondiferous kimberlites associated with morphostructure are Daldyn-Alakit kimberlite region and Little Botuobiya of Yakutia, Zolotitsa of Zimni Bereg Field and Siberian craton forming promising prospective zones. In all these regions, the kimberlite emplacement is controlled by morphostructural features such as dome shaped uplifts, ring structures and contiguous faulting [1, 6]. Similar cases of association of kimberlites and domal structures are noticed in the Wajrakarur Kimberlite Field (WKF). The pipes of WKF are morphostructurally controlled as described above, occurring as clusters in the proximity of domal structures namely Kathrimala Dome, Cherlopalle Dome, Marutla Dome and Nasanakota Dome (Figure, a and b).

The kimberlites of Angola are emplaced within the Lucapa Graben which was a palaeostructural corridor [15]. The majority of South Australian diamondiferous kimberlites are emplaced in Adelaide Geosyncline [16]. The NW Australian kimberlites of Kimberley Province were emplaced in structural corridors [17]. In the WKF, the pipes occurring in Kalyandurgam, Timmasamudram and Golla clusters (not shown in Figure) are aligned in an ENE-WSW linear structural corridor (Figure, c).

It is noticed that kimberlite pipes in WKF occur in the intersections of major lineaments and also in the peripheries of domal structures in the Archaean granitoid terrain, also within the Proterozoic Cuddapah basin, which are corroborated with geochemical and geophysical evidences. It is to be

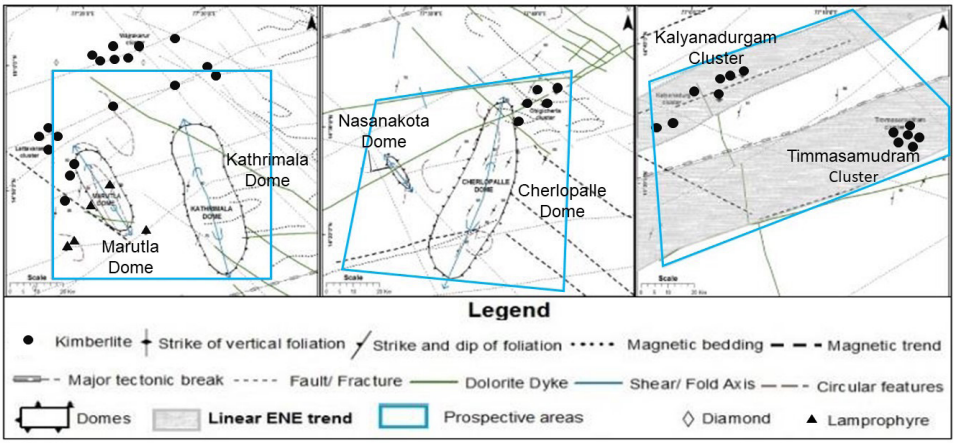


Figure. Morphostructural features in Wajrakarur Kimberlite Field showing disposition of kimberlites and lamprophyres. (a) Marutla and Kathrimala domes. (b) Cherlopalle and Nasanakota domes. (c) ENE-WSW trending fault systems in Kalyanadurgam and Timmasamudram

noted that no pipes have been identified around Kathrimala dome till now. Similarly, the eastern side of Marutla dome and Nasanakota dome also recorded no kimberlite pipes. Hence, based on morphostructural association, these areas can be priority zones and warrant detailed investigations for searching new pipes. Therefore, the WKF still holds promising prospectable ground to find many more new kimberlites.

REFERENCES

1. Kaminsky F. V. F., Feldman, A.A., Varlamov V. A., Boyko A. N., Olofinsky L. N., Shofman I. L., Vaganov V. I. Prognostication of primary diamond deposits // J. Geoch. Expl. – 1995. – V. 53. – P. 167–182.
2. Clifford T.N. Tectano-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa // Earth and Planet. Sci. Lett. – 1966. – V. 1. – P. 421–434.
3. Dawson Kimberlites and their Xenoliths. Springer-Verlag. – Berlin, 1980. – 252 p.
4. Janse A. J. A. Archons and Cratons: Modern ideas on tectonic and structural controls of economic kimberlites: Proceedings of International Round Table Conf. in Diamond Expl // Mining, New Delhi. – 1992.
5. Janse A. J. A., Sheehan P. A. Catalogue of worldwide diamond and kimberlite occurrences: A selective and innovative approach // J. Geochem. Expl. – 1995. – V. 53. – P. 73–111.

Gongwen WANG (gwwang@cugb.edu.cn)
School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, China

GOLDEN RESOURCE PREDICTION AND ASSESSMENT BASED ON 3D/4D BIG DATA MODELING AND DEEP INTEGRATION IN KEY ORE DISTRICTS OF NORTH CHINA

Keywords: Geoscience big data, 3D/4D modeling, Weights of evidence, Random forest, Target optimization and resources assessment, Gold district in North China.

The North China district has been subjected to significant research with regard to the ore-forming dynamics, processes, and quantitative forecasting of gold deposits; it accounts for the highest number of gold reserves and annual products in China. Based on the top-level design of geoscience theory and the method adopted by the National Key R & D Project (deep process and metallogenic mechanism of North China Craton (NCC) metallogenic system), this paper systematically collects and constructs the geoscience data (district, camp, and deposit scales) in four key gold districts of North China

(Jiaojia-Sanshandao, Southern Zhaoping, Wulong, and Qingchengzi). The settings associated with the geological dynamics of gold deposits were quantitatively and synthetically analyzed, namely: NCC destruction, metallogenic events, genetic models, and exploration models. Three-dimensional (3D) and four-dimensional (4D) geological modeling was performed using the big data on the districts, while the district-scale 3D exploration criteria were integrated to construct a quantitative exploration model. Among them, FLAC3D modelling and the GeoCube software (version 3.0) were used to implement the numerical simulation of the 3D geological models and the constraints of the fluid saturation parameters of the Jiaojia fault to reconstruct the 4D fault structure models of the Jiaojia fault (with a depth of 5000 m). Using GeoCube3.0, multiple integration modules (general weights of evidence (WofE), Boost WofE, Fuzzy WofE, Logistic Regression, Information Entropy, and Random Forest) and exploration criteria were integrated, while the C-V fractal classification of A, B and C targets in four districts was carried out. The research results are summarized in the following four areas: (1) Four gold districts in the study area have more than three targets (the depth is 3000 m), and the class A, B and C targets exhibit a good spatial correlation with gold bodies that are controlled by mining engineering at depths greater than 1000 m. (2) The Boost WofE method was used to identify the target optimization in 3D spaces (at depths of 3000–5000 m) of the Jiaojia-Sanshandao, Southern Zhaoping, and Wulong districts. (3) The general WofE method is based on the Bayesian theory in 3D space and provides robust integration and target optimization that are suitable for the Jiaojia-Sanshandao and Southern Zhaoping districts in the Jiaodong area; it can also be applied to the Wulong district in the Liaodong area using a quantitative genetic model and an exploration model. Random forest is a multi-objective integration and target optimization method for 3D spaces, and it is suitable for the complex exploration model in the Qingchengzi district of the Liaodong area. The genetic model and exploration criteria associated with the exploration model of the Qingchengzi district were constrained by the common characteristics of the gold fault structure, magmatic rock emplacement in North China, and the strata fold and interlayer detachment structure. (4) Based on the gold reserves and the 3D block unit model of the Sanshandao gold deposit in the Jiaojia-Sanshandao district, the gold contents of the 3D block units in class A and B targets of the ore concentration were estimated to be 65,5 % and 25,1 %, respectively. The total Au resources of the optimized targets below a depth of 3000 m were 3908 t (including 1700 t reserves), and the total Au resources of the targets at depths from 3000 to 5000 m were 936 t. The study shows that the deep gold deposits in the four gold districts of North China exhibit a strong “transport-deposition” spatial correlation with potential targets. These “transport-deposition” spatial models represent the tectonic-magmatic-hydrothermal activities of the metallogenic system associated with the NCC destruction events and indicate the Au enrichment zones.

Глухов А. Н. (gluhov76@list.ru), Колова Е. Е.
ФГБУН «СВКНИИ ДВО РАН», г. Магадан

О СТРАТЕГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ЗОЛОТО И СЕРЕБРО В МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Предложен новый подход к выбору объектов для проведения поисковых работ в Магаданской области. Он основан на сопоставлении региональных структур, контролирующих размещение различных геолого-генетических и технологических типов рудных месторождений, и их инфраструктурной доступности. Рекомендовано сосредоточить поисковые работы на Au и Ag на площади Яно-Колымского и Охотско-Чукотского поясов.

Ключевые слова: металлотект, доступность, инфраструктура.

Отсутствие концентрации геологоразведочных работ на тех площадях, где они будут наиболее эффективны, является серьезным барьером на пути выявления новых месторождений. Первым шагом при выборе площадей для поисковых работ является металлогенический анализ. Региональная тектоническая структура, контролирующая размещение конкретного геоло-

Таблица.

Месторождение	Запасы		Расстояние до инфраструктуры по прямой, км	Особенности инфраструктуры
	Au, т	Cu, млн. т		
Песчанка	230	4	165	порт Певек 460 км, зимник в Магадан 1300 км, аэропорт Кепервеем 165 км.
Купол	159	–	190	порт Певек 350 км, 450 км всесезонная автодорога, аэропорт Кепервеем 190 км.
Кубака	110	–	250	зимник в Магадан 400 км, аэропорт Омсукчан 250 км
Джульетта	25	–	77	всесезонная автодорога 140 км
Агат	15	–	32	всесезонная автодорога 80 км

го-генетического и технологического типа рудных месторождений, именуется металлотектом. Всего на территории Магаданской области для основных благородных и цветных металлов (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) выделяются семь металлотектов. Это Яно-Колымский складчатый пояс, Охотско-Чукотский, Уяндино-Ясачненский, Олойский и Кедонский вулканогенные пояса, Приколымское и Омулевское поднятия. Каждый из них характеризуется индивидуальными особенностями геологии и набором геолого-генетических и структурно-морфологических типов месторождений.

Интегральным показателем, характеризующим возможность экономического освоения месторождения, является доступность. Она определяет возможность эффективного и безопасного (во всех аспектах) использования руды, полученной из данного источника с учетом состояния запасов и ресурсов, потребности в них и имеющегося технологического уровня [1]. Для выбора перспективных объектов мы предлагаем вариант оценки такой доступности, включающий критерии географо-экономического положения рудного объекта, его изученности, вида полезного ископаемого и его количества в недрах. В Магаданской области транспортной и энергетической инфраструктурой охвачены порядка 30 % территории. Проведение геолого-поисковых работ в районах, удаленных от инфраструктуры, ограничено летним сезоном, а доставка грузов возможна только по зимнику. Морской путь ограничен сезоном навигации с июня по сентябрь. Все перечисленные параметры значительно увеличивают сложность и стоимость работ, что делает ключевым параметр «удаленность от инфраструктуры», который компенсируется количеством металла.

Для определения доступности мы воспользовались опытом горнорудных компаний региона, эксплуатирующих месторождения, расположенные на удаленных территориях (таблица). Как показывает анализ, экономически выгодно эксплуатировать объект, расположенный на расстоянии в 330 км с запасами золота не менее 90 т, с последующим расширением сырьевой базы; объекты с запасами золота 25 т и потенциалом их увеличения могут эффективно эксплуатироваться, если они удалены от инфраструктуры не более чем на 80 км; объекты с запасами уровня 10–15 т золота пригодны для эксплуатации, если они расположены не более чем в 30–40 км от инфраструктуры. В Магаданской области максимальное расстояние от крайней точки инфраструктуры до административной границы региона 380 км; расстояние между основными автодорогами в среднем 160 км. При удаленности от дорог до 40 км целесообразно рассматривать рудные объекты, потенциал которых не менее 10 т Au; от 40 до 80 км – не менее 25 т; от 80 до 300 км – не менее 70 т.

Как видно, применение данного критерия делает рудные объекты Приколымского и Омулевского террейнов, Уяндино-Ясачненского и Кедонского поясов не соответствующими критериям приоритетности. Эти территории удалены от инфраструктуры более чем на 100 км,

рудные объекты с запасами металлов, отвечающими критерию доступности, отсутствуют. Эти площади не могут считаться первоочередными для изучения.

Таким образом, мы считаем целесообразным сосредоточить поисковые работы на золото и серебро на площади Яно-Колымского и Охотско-Чукотского поясов. Геолого-генетическими типами месторождений, выявление которых возможно здесь, являются: золото-кварцевый, золото-редкометалльный, золото-серебряный, серебро-полиметаллический, медно-порфировый.

Поиски на новых перспективных участках, ранее не охваченных детальными работами, рекомендуется проводить на удалении до 40 км от инфраструктуры. Дальше от этой границы следует сосредоточить усилия на ревизионных работах на уже известных и разведанных в середине прошлого века месторождениях. Это может быть как переоценка ресурсного потенциала того металла, запасы которого были ранее подсчитаны, так и рассмотрение их как источников руд иного типа. К примеру, многие оловянные месторождения касситерит-сульфидного геолого-генетического и касситерит-силикатного типов содержат высокие промышленные концентрации Ag (более 1000 г/т), Pb, Zn, Cu (более 1 %) и могут быть переоценены как источники комплексных серебро-медно-полиметаллических руд, пригодных для флотационной переработки. Подобные ревизионные работы могут быть организованы быстро и с минимальными затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пешков А. А., Мацко Н. А. Доступность минерально-сырьевых ресурсов. – М. : Наука, 2004. – 280 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Аббасов Н. А., Рустамова Р. Е., Гулиев И. Ф.
ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, МАГМАТИЗМ И ОРУДЕНЕНИЕ ЗОЛОТОНОСНОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИСХАНО-ЗАНГЕЗУРСКОЙ ЗОНЫ МАЛОГО КАВКАЗА 3

Авилова О. В.
РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ КАК КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗА МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧУКОТКИ 6

Агибалов О. А., Саяпов М. А.
ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ «КОРЕННОЙ ИСТОЧНИК (КИ) – ЗОЛОТОНОСНАЯ КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ (ЗКВ) – РОССЫПЬ» НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ РИФТОГЕННЫХ ВПАДИН ВИТИМКАН-ЦИПИКАНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ) 8

Алеко С. В., Кузнецов В. В., Петухов А. А., Серавина Т. В., Зайцева М. Н., Конкина А. А., Конкин В. Д. 10
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ И ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ) 10

Александров В. В.
ФАКТОРЫ КОНТРОЛЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ, А ТАКЖЕ ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ НОВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗАПАДНО-РЕЖЕВСКОЙ ПЛОЩАДИ (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) 12

Алексеев А. С.
ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЧУЛЬБАТКАН – РЕЗУЛЬТАТ РАБОТЫ ЮНИОРНОЙ КОМПАНИИ В РОССИИ 16

Алексеев Я. В., Корчагина Д. А.
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОСТОЯНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СВИНЦА И ЦИНКА РОССИИ 18

Аленичева А. А., Касаткин Н. С., Юрченко Ю. Ю., Зубова Т. Н., Шатов В. В.
ВЫЯВЛЕНИЕ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ, ПРИ СОЗДАНИИ ГОСГЕОЛКАРТЫ-1000/3 НА ПРИМЕРЕ ЛИСТОВ О-55, О-56 (СЕВЕРНОЕ ПРИОХОТЬЕ, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) 20

Алферова В. А., Столяренко В. В., Минаева С. В., Бондаренко Н. В. Соколов Е. П.
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МАЛОМУРУНСКОЙ ТРУБКИ ЭКСПЛОЗИВНЫХ БРЕКЧИЙ С НАЛОЖЕННОЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)) 23

Андреенок А. В., Станишевская Ю. Л.
ВЫДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ НА ОБНАРУЖЕНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ 27

Антонов А. Е.
МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ: ВОЗМОЖНОСТИ ОТКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА КЫЗЫЛКУМСКОГО ТИПА 31

Аптин И. Н.
К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ И ПЕРЕОТЛОЖЕНИИ ДРЕВНИХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ БУШВЕЛЬДСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮАР) 35

Ахмадов Ш. И., Гоипов А. Б., Муротов Ф. Б.
ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ЭНДОГЕННОЙ РУДНОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГОР БУКАНТАУ 36

Ащепков И. В., Граханов С. А., Костровицкий С. И., Бабушкина С. А.,
Иванов А. С., Шелков П. Н., Логвинова А. М.
ОБОГАЩЕННАЯ СУБДУКЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ МАНТИЯ
СЕВЕРАСИБИРСКОГО КРАТОНА КАК ИСТОЧНИК АЛМАЗОНОСНОСТИ 40

Бабенко И. А., Таловина И. В.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЛИВИН-ШПИНЕЛЕВЫХ
ГЕОТЕРМОМЕТРОВ O'NWBBG, ФАБРИ, ОНО, ДЖЕКСОНА-ИРВАЙНА-РЕДЕРА
НА ПРИМЕРЕ УЛЬТРАМАФИТОВЫХ И МАФИТОВЫХ МАССИВОВ 42

Бабенышев В. М., Маринская Н. В.
ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЛЯПИНСКОГО
АНТИКЛИНОРИЯ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА 43

Барабаш Е. О., Афанасьев В. П.
О МЕХАНИЧЕСКОМ ИЗНОСЕ АЛМАЗОВ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ 47

Баранова С. А., Блинов А. В., Просекин С. Н.
СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ
КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ РАБОТ 49

Баринова М. Е., Юрченко Ю. Ю.
ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ
УЛЬИНСКОГО ПРОГИБА НА ПРИМЕРЕ СЕКЧИНСКОЙ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ
СТРУКТУРЫ (ЗАПАДНОЕ ПРИОХОТЬЕ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК) 51

Барышев А. Н., Хачатрян Г. К.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИЙ С ПОЗИЦИЙ ОБЩЕЙ МИНЕРАГЕНИИ,
ПРИРОДЫ ЕЕ ИСТОЧНИКОВ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ 54

Берзин С. В., Петров С. В., Конопелько Д. Л., Курапов М. Ю., Головина Т. А.,
Черненко Н. Я., Червяковский В. С.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ-ИНДИКАТОРОВ Cu-Mo-Au-ПОРФИРОВОГО
ОРУДЕНЕНИЯ (ЦИРКОН, АПАТИТ, ТИТАНИТ) ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРАНИТОИДОВ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ П-ВА ТАЙМЫР 57

Блинов А. В., Ефремов С. В., Просекин С. Н.
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА
И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКИХ СТРУКТУР,
СВЯЗАННЫХ С ПОРФИРОВЫМИ РУДНЫМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ 59

Божко Н. А.
ПУЛЬСИРУЮЩИЙ ХАРАКТЕР ПРОЯВЛЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВОГО
МАГМАТИЗМА И СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ 61

Борисов В. В., Вахрушев А. М., Юон Е. М., Сысоев В. С
ОПТИМИЗАЦИЯ ДОСТУПА К ПУБЛИЧНЫМ ДАННЫМ
ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 63

Будяк А. Е., Тарасова Ю. И.
ЭВОЛЮЦИЯ РУДНОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ОРОГЕННОГО ТИПА БОДАЙБИНСКОГО РЕГИОНА 66

Бужинская Е. В., Бондаренко Н. В., Герасимова В. Н.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШИЛГОНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
С МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО ТИПА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) 69

Бурмистров А. А., Хребтиевский В. В.
НЕКОТОРЫЕ СТРУКТУРНЫЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ
НА ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ СЕВЕРНОГО УЧАСТКА МИХЕЕВСКОГО
МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ) 71

Васюков В. Е., Кряжев С. Г., Двуреченская С. С., Соловьев С. Г., Бучко И. В.
СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-МЕДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ
ЦЕНТРАЛЬНО-АНАДЖАКАНСКОЙ ПЛОЩАДИ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 74

Владимирцева О. В., Прасолов А. М.
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕТИЧНЫХ ЗОЛОТОНОСНЫХ ТОЛЩ
В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ 76

Воробьев С. А.
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ РАССЕЯНИЯ
ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕК 79

Герасимов Б. Б.
МИНЕРАЛЬНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В РОССЫПНОМ ЗОЛОТЕ АНАБАРСКОГО ЩИТА 81

Гилязов Д. И., Савельев А. Д., Бураков Б. Е.
КРИТЕРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ В РЕКАХ
ЮГО-ВОСТОКА АНАБАРСКОГО ЩИТА И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ 84

Глухов А. Н., Колова Е. Е.
САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО В РОССЫПЯХ ИННАХСКОГО РАЙОНА
КАК ИНДИКАТОР ПОРФИРОВО-ЭПИТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ 86

Голобурдина М. Н.
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ЭКЛОГИТОВЫХ ГРАНАТОВ ИЗ АЛМАЗОНОСНЫХ
ВЕРХНЕТРИАСОВЫХ ТУФОГЕННЫХ ПОРОД БУЛКУРСКОЙ АНТИКЛИНАЛИ 88

Головко А. В., Антонов А. Е.
АЛМАЗОНОСНОСТЬ УЗБЕКИСТАНА – ИСТОРИЯ ИЗУЧЕННОСТИ
И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ В СТРАНЕ АЛМАЗНОЙ ОТРАСЛИ 91

Голубев Ю. К., Голубев С. Ю., Колесникова Т. И., Сомов Н. А.
ОПЫТ ОЦЕНКИ НАПРАВЛЕНИЙ И ДАЛЬНОСТИ ПЕРЕНОСА АЛМАЗОВ
В РОССЫПИ ОЛЕНЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ В ЯКУТИИ 93

Гриненко В. С., Баранов В. В.
ВЕРХОЯНО-ОХОТСКАЯ ЧЕРНОСЛАНЦЕВАЯ РУДОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРАЗИИ И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВНАЯ МИНЕРАГЕНИЯ 96

Гурьянов В. А. , Кириллов В. Е.
УЛКАНО-УЧУРСКАЯ ПАЛЕОРИФТОВАЯ СТРУКТУРА:
ВОЗРАСТ, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА, МЕТАЛЛОГЕНИЯ
(ЮГО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ) 98

Гусарова В. В. , Раткин В. В., Чугаев А. В., Елисеева О. А.
МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЮЖНОЕ: Sn-Ag-Pb-Zn ОРОГЕННАЯ
МЕТАЛЛОГЕНИЯ СИХОТЭ-АЛИНЯ 101

Дамдинов Б. Б., Горячев Н. А., Дамдинова Л. Б.
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА РУД ТРЕТЬЯКОВСКОГО
ЗОЛОТО-ФЛЮОРИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ) 103

Дегтерёв А. Ю.
ТЕХНОЛОГИИ МНОГОВАРИАНТНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ 105

Дементеенко Л. И.
ПОКРОВНО-ЧЕШУЙЧАТОЕ СТРОЕНИЕ ХРЕБТА СУЛТАНУВАЙС
И ЕГО РУДОНОСНОСТЬ 111

Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б. , Мусаев А.
МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФУЗИВНЫХ ПОРОД
И ДИАБАЗОВЫХ ДАЕК ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОЧБУЛАК
(ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН) 114

Долженко И. В.), Попов Ю. В., Шарова Т. В.
МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ СОПРЯЖЕННЫХ С АПОГИПЕРБАЗИТАМИ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА МЕТАСОМАТИТОВ 116

Душин Ю. П., Данилов А. П., Дементиенко А. И.
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ
В НАУЧНЫХ И ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ 118

**Журавлев А. И., Герасимов Б. Б., Округин А. В., Лоскутов Е. Е., Иванов А. И.,
Кравченко А. А.**
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО
ЗОЛОТА РУЧЬЯ ЕЛОВЫЙ (ЭВОТИНСКИЙ РУДНО-РОССЫПНОЙ РАЙОН,
АЛДАНО-СТАНОВОЙ ЩИТ) 121

Жураев М. Н., Саттаров А. Б., Тураев Ш. Б., Туйгунов Н. А.
ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
Au-W ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШИРОТНЫЙ (ГОРЫ ЧАКЫЛКАЛЯН) 124

Звездов В. С., Чурилова Т. А.
МИНЕРАЛЫ-ИНДИКАТОРЫ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУД:
ВОЗМОЖНОСТИ И СЛОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОГНОЗЕ И ПОИСКАХ 127

Зинчук Н. Н.
О ФАЦИАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ
ДРЕВНИХ ОСАДОЧНЫХ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ ТОЛЩ 132

Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н.
О ГИПЕРГЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ ВУЛКАНОГЕННОГО МАТЕРИАЛА
В АЛМАЗОНОСНЫХ РЕГИОНАХ 136

Зубова Т. П., Краснов А. Н.
АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ
НА ЗОЛОТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ 140

Иванов А. И., Трушин С. И.
ПОЛИГЕННОЕ И ПОЛИХРОННОЕ ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ СРЕДНЕГО УРАЛА –-
ЗОЛОТОНОСНЫЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 143

Иванов А. С., Специус З. В.
СОСТАВЫ ОСНОВНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ ПИРОПОВ НА ПУЗЫРЬКОВОЙ
БИНАРНОЙ ДИАГРАММЕ: ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ 144

Иванова О. А., Афанасьев В. П., Похиленко Н. П.
ОНТОГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛМАЗОВ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СНЭП ЛЕЙК
(КРАТОН СЛЕЙВ, КАНАДА) 147

Игнатов П. А., Еременко Р. У., Толстов А. В., Овчинников И. М., Илларионов П. Н.
НЕОДНОРОДНОСТЬ ФОНА Cr, Ni, Co, V, Sc, Zn, Ba, Sr, Zr
В НЕИЗМЕНЕННЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ НИЖНЕГО ПАЛЕОЗОЯ,
ВМЕЩАЮЩИХ КИМБЕРЛИТЫ МАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
И СЮЛЬДЮКАРСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ АЛМАЗОВ ЯКУТИИ 149

Извекова А. Д. , Дамдинов Б. Б., Рипп Г. С.
ОСОБЕННОСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РУДАХ
ГУРВУНУРСКОГО АПАТИТ-МАГНЕТИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(ОЗЕРНИНСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ, ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ) 153

Калита В. А.
ОБОБЩЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ РОССИИ ПО ЦВЕТНЫМ И БЛАГОРОДНЫМ
МЕТАЛЛАМ В 2021–2023 гг. 155

Калмыков Б. А.
ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ
И АНОМАЛИЙ ТРУБОЧНОГО ТИПА ПО МАТЕРИАЛАМ
АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ МПП ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
АЛМАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ 157

Канимбуе Л. С. , Таловина И. В.
РУДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ
ЧАСТИ ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, НОРИЛЬСКИЙ РАЙОН 160

Кара Т. В., Шац А. Л., Янюшин А. М.
ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ КРУПНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
НА ПЕРИФЕРИИ АНАБАРСКОГО ЩИТА 161

Карамышев А. В.
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КАРТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОТЕКТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 165

Кирсанов А. А., Липияйнен К. Л., Смирнов М. Ю., Кирсанов Г. А.
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПОРОД 167

Киселёв Р. В.
ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ПЛАТФОРМА NEXTGIS – ГОТОВОЕ РЕШЕНИЕ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГИС ПРЕДПРИЯТИЯ ИЛИ МИГРАЦИИ С ИНОСТРАННЫХ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ 170

Китаев А. В., Шенбергер Н. А.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТРАЖЕНИЯ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН
В ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ СТАНДАРТНОГО КАРОТАЖА
В СКВАЖИНАХ ПОИСКОВЫХ УЧАСТКОВ САЛАИРСКОЙ
ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ 171

Козлов Г. А., Мухина Е. И., Чумаков А. В., Баранов Л. Н.
ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ
РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕГМЕНТА
ЧАРО-СИНСКОЙ ЗОНЫ (РЕСПУБЛИКА САХА, ЯКУТИЯ) 173

Конкин В. Д.
ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫЕ ОБСТАНОВКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЕЙ
ТАЛАИ-КАРАЛОН-СЮЛЬБАНСКОЙ ЗОНЫ 176

Конышев В. О.
К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМАТИКИ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ КОМПЛЕКСНЫХ ЗОЛОТОНОСНЫХ И ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РФ.....179

Корольков А. Т.
ПЕРСПЕКТИВЫ БАЛЕЙСКОГО РАЙОНА ОТНОСИТЕЛЬНО ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ТИПА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ).....182

Кочетова К. Н. , Кривицкая Н. Н., Спиридонов Э. М.
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ СУЛЬФОСОЛЕЙ Pb-Sb-As и Pb-Sb ВУЛКАНОГЕННО-ПЛУТОНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА ДАРАСУН, МЕЗОЗОИДЫ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ.....187

Кошкарев Д. А., Мальцев М. В., Мальков А. А.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА АК «АЛРОСА» (ПАО) – АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....189

Красных А. В. , Макаров Д. В. , Игнатов П. А., Иванов В. В.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГНОЗА МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУН-МАНЬЁ 191

Кривко Т. Н.
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗОЛОТОРУДНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ БЕРЕЗОВЫЙ ЛОГ И ЕГО ПРОМЫШЛЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ 194

Крикун Н. С.
ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ о. КУНАШИР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОТИПНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ И МДЗ 195

Кряжев С. Г., Широбоков А. Ю. , Виленкина Ю. В. ,
Миляев С. А., Ждаников С. А.
ИОННО-СОРБЦИОННЫЙ МЕТОД ПОИСКОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....197

Кудрявцева Н. Г., Богославец Н. Н.
ОКОЛОРУДНО-ИЗМЕНЕННЫЕ ПОРОДЫ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИАРГУНСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ 199

Кузнецов А. В. , Мангал Ф. , Таловина И. В. , Илалова Р. К.
ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПЛАТИНОНОСНОСТИ ПОРОД ЛОГАРСКОГО ОФИОЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА (КАБУЛЬСКИЙ БЛОК, АФГАНИСТАН) 201

Кузнецов В. В. , Серавина Т. В., Богославец Н. Н., Кузнецова Т. П.,
Донец А. И., Петухов А. А., Иваненкова Е. В.
УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЕРАВНИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ).....204

Кузнецов Ю. А. , Варфоломеев С. Д., Цыбенова С. Б., Калиниченко В. Н.,
Мальцев А. А., Жабин А. В., Дубков А. А., Грызлов Д. Ю.
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ ЗОЛОТА ИЗ ОБЛАСТЕЙ ИХ ПЕРЕНОСА ОТ КОРЕННОЙ ПОРОДЫ ДО АККУМУЛЯЦИИ В РОССЫПИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРИЙСКОЕ (ЧИТИНСКАЯ ОБЛАСТЬ) И ХЛЕБОПЁК (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, БОДАЙБИНСКИЙ РАЙОН) 207

Кузнецова С. В., Жегалло Е. А.
БИОМОРФНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В РУДАХ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ.....210

Куликов Д. А. , Тарасов А. С., Карпухина М. В., Толкушкина Е.А.
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ УКРУПНЕННОЙ
ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ (УГЭО)
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ПРОГНОЗНЫМИ РЕСУРСАМИ
И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ БЮДЖЕТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....213

Куричев В. Г., Мазуркевич К. Н., Шатова Н. В., Павлюк В. М., Борисова Е. А.,
Игнатова М. В., Гинзбург М. А.
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ Ag-PbZn
ОРУДЕНЕНИЯ АТТЫКВЕЕМСКОГО МАССИВА
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГДП-200 (ЧУКОТКА).....215

Лаломов А. В., Волков А. В.
РОССЫПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК СТРАТЕГИЧЕСКИХ ВИДОВ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ.....218

Левочский Б. Б, Якич Т. Ю, Кириллов В. Е. , Левочская Д. В.
ПРИРОДА РЕДКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ДУНИТАХ БОГБАСИНСКОГО
БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 220

Леденгский Р. А.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ
«ТИПА НЕСОГЛАСИЯ» НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ АНАБАРСКОГО ЩИТА
ПО МАТЕРИАЛАМ КОМПЛЕКСНОЙ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ.....225

Лихоман О. А.
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА
В МЕЗОЗОЙСКИХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА.....228

Лось В. Л.
МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТРИБУТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРУДЕНЕНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА) 231

Макарова М. А., Боева Н. М., Шипилова Е. С., Внучков Д. А., Мельников Ф. П.
АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ ПРОЦЕССА БОКСИТООБРАЗОВАНИЯ
НА ПРИМЕРЕ УНИКАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ САНГАРЕДИ
(ЗАПАДНАЯ АФРИКА).....235

Макшаков А. С., Кравцова Р. Г.
ОСОБЕННОСТИ ОПРОБОВАНИЯ АЛЛЮВИЯ КРУПНЫХ РЕЧНЫХ ДОЛИН
ПРИ ПОИСКАХ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ) 237

Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Абдуллаева Ш. Ф.,
Керимли У. И., Мамедова А. Г.
ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ
ЛОК-КАРАБАХСКОЙ ЗОНЫ (АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ ЧАСТЬ МАЛОГО КАВКАЗА).....240

Махоткин И. Л.
АЛМАЗОНОСНОСТЬ И ПАЛЕОГЕОТЕРМИЯ КИМБЕРЛИТОВ
ТРУБКИ ЕРМАКОВСКАЯ-7 ТЕРСКОГО БЕРЕГА
КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА.....242

Махоткин И. Л.
ВОЗРАСТ И МОДЕЛЬ СТАНОВЛЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ
И ПОЛЕЙ РАССЕЯНИЯ ИМК МЕНДА-БАРЫЛАЙСКОГО
АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА ЮЖНОЙ ЯКУТИИ.....245

Махоткин И. Л.
ПАРАГЕНЕЗИС ВЫСОКОАЛМАЗОНОСНЫХ СЛЮДЯНЫХ КИМБЕРЛИТОВ
И НЕАЛМАЗАНОСНЫХ ОЛИВИНОВЫХ МЕЛИЛИТИТОВ В ТРУБКЕ
ВЗРЫВА КАРПИНСКОГО-1 ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ 249

Милаушкин М. В., Мальковец В. Г., Гибшер А. А., Яковлев И. В.
ТЕРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ, МАНТИЙНЫЕ ГЛУБИННЫЕ РАЗРЕЗЫ
И МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАНТИИ ПОД НЕКОТОРЫМИ ТРУБКАМИ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ.....253

Мирошниченко Ю. В. , Воробьев Ю. В. , Кокаровцева А. Б.
3D-ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ МЕТОДОМ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗОН СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ
НА ВЫЯВЛЕНИЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ
НА ЛЕБЯЖНИНСКОЙ ПЛОЩАДИ 255

Мирсаяпов Р. И., Норбобоев У. О., Менгниёзов Ф. Х.
ПРИМЕНЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ КАНАЛОВ LANDSAT 8 ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ
СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНЫХ
ОТРОГОВ ГИССАРСКОГО ХРЕБТА.....259

Михалицына Т. И., Фомина М. И.
ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИГУМЕНОВСКОЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ) 262

Молчанов А. В.
ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ ЗОН
ПЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.....265

Молчанов В. П., Голич А. Н., Иванников С. И.
ПРИРОДА БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНО-ТИТАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
АРИАДНЕНСКОГО МАССИВА УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВ
СИХОТЭ-АЛИНСКОГО ОРОГЕННОГО ПОЯСА 266

Молчанов В. П., Цянь Е., Сун Фенгуй
ЗОЛОТО И ПЛАТИНА РОССЫПЕЙ ИЗ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД
СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ
И СЕВЕРО-ВОСТОКА КИТАЯ 268

Мурзина Н. М., Мурзин О. В.
ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ СИСТЕМЫ
УЛАНТОВСКОГО ГРАНИТОИДНОГО МАССИВА (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ) 270

Некипелая С. А., Гаврилов Р. Ю.
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВА
ПРИ ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ В КУЗНЕЦКОМ АЛАТАУ 272

Николаев Г. С.
ПЕРЕНОС СУЛЬФИДНОГО ВЕЩЕСТВА В ПРОЦЕССЕ ИНФИЛЬТРАЦИИ
ИНТЕРКУМУЛУСНОГО РАСПЛАВА И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ
БУРАКОВСКО-АГАНОЗЕРСКОГО ПЛУТОНА 275

Николаев Ю. Н., Балыкова И. В., Бакшеев И. А., Калько И. А., Аплеталин А. В.
ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ПЕРИВУЛКАНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ
ЧУКОТСКОГО СЕКТОРА ОЧВП: ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ 278

Новопашина А. В., Федоров Д. Н.
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ СЮЛЬДЮКАРСКАЯ СЮЛЬДЮКАРСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ, РЕСПУБЛИКА САХА 280

Норбобоев У. О., Мирсаяпов Р. И., Рузиев С. К.
ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАНОГО ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ОТРОГОВ ГИССАРСКОГО ХРЕБТА 283

Панасенко Ю. М., Карась С. А., Трач Д. А.
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РАБОТ ПО АПРОБАЦИИ ГАЗОРТУТНОГО МЕТОДА ПОИСКОВ 285

Панченко А. Е., Камышова А. А.
ИМПЛИЦИТНЫЕ АНОМАЛИИ АЛМАЛЫКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН) 288

Петрова М. Н., Петров С. Ю., Сычев С. Н.
МИНЕРАЛЫ СЕРЕБРА И САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО В МЕТАСОМАТИТАХ СВЕТЛИНСКОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРОРУДНОГО УЗЛА (СЕВЕР МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ) 291

Петухов А. А. (petukhov@tsnigri.ru), Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Елшина С. Л., Барова Е. В.
ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЗОЛОТУШИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ МСБ РУДНОГО АЛТАЯ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ) 293

Пилицын А. Г., Кременецкий А. А.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И НАЗЕМНОЙ НАНОГЕОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПРИ ПРОГНОЗЕ И ПОИСКЕ ОРУДЕНЕНИЯ НА ПЕРЕКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ 296

Плотинская О. Ю.
ПРОБЛЕМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ СИСТЕМ: МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ; НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОЙ МЕГАЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА 298

Попов Ю. В., Пустовит О. Е., Серрат Перес М. А., Чепурной Е. А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ ОФИОЛИТОВЫХ ГИПЕРБАЗИТОВ МАССИВОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА И МАО-БАРАКОА (КУБА) 300

Попов И. В., Алексеев Я. В.
ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ МСБ АБЦМ НА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА СЧЕТ СРЕДСТВ НЕДРОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ 302

Потанин А. С., Чварова Н. В., Керцман В. М., Мойланен Е. В.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАДИЙНЫХ ПОИСКОВЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ОТКРЫТИИ НОВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 305

Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г., Хабибулин М. Ш.
СТРУКТУРЫ РАЙОНА И РУДОГЕНЕЗ КАЛГУТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ) 310

Просекин С. Н., БлиновА. В., БарановаС. А.
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ РАБОТ: КОНЦЕПЦИЯ, РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ 314

Проскурнин В. Ф., Проскурнина М. А., Курапов М. Ю., Гавриш А. В., Брусницын А. И., Шатов В. В.
ВЕРХНЕТАРЕЙСКИЙ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАЙМЫРА 316

Прусакова Н. А., Громцев К. В., Нумалов А. С.
ЛОКАЛИЗАЦИЯ АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛОК НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.....320

Пшеничкин А. Я.
ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПИРИТА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ.....323

Раков Л. Т., Прокофьев В. Ю., Киселева Г. Д., Зорина Л. Д.
ГЕНЕТИЧЕСКОЕ И ПОИСКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИМЕСИ АЛЮМИНИЯ В КВАРЦЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 325

Русак А. А., Щекина Т. И.
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ КРИОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ГРАНИТОВ УЛУГ-ТАНЗЕКСКОГО, ЗАШИХИНСКОГО И КАТУГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СРАВНЕНИИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ ПО ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ.....327

Саблуков С. М., Саблукова Л. И.
НЕКОТОРЫЕ «ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ» МАГМАТИЗМА ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО КИМБЕРЛИТОВОГО РАЙОНА (XXI ВЕК, ПЕРВАЯ ЧЕТВЕРТЬ) 329

Савельев Д. А., Айтпаева Д. Б.
ИМПЛИЦИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ БЛОКОВ: ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ.....331

Сачарысов А. С., Тихонова А. В., Федоров Д. Н., Гончаров Е. М., Адаров Т. Д.
3D-ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ 333

Секерина Д. Д.
ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ КРИТЕРИЕВ РУДОНОСНОСТИ ЗМЕИНОГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА.....336

Сенкевич В. С.
МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ ПОЛИМЕТАЛЛОВ И ЗОЛОТА В ПРЕДЕЛАХ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ ЗОНЫ И ИСАКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА.....339

Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Петухов А. А.
РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ НА СВИНЕЦ И ЦИНК 2019–2024 гг.: ОТ ПРОГНОЗА К ОЦЕНКЕ 340

Серов И. В., Мальков А. А. , Шахурдина Н. К.
ОЦЕНОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ (ПОИСКОВЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ) 343

Сидорова Е. В.
«РЫЦАРЬ РУДНОЙ ГЕОЛОГИИ АНАТОЛИЙ КРИВЦОВ» – КНИГА О КРУПНОМ ГЕОЛОГЕ И ОРГАНИЗАТОРЕ ОТРАСЛЕВОЙ НАУКИ 345

Симаков С. К., Стегницкий Ю. Б.
К ВОПРОСУ О ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
ОБРАЗОВАНИЯ ГИГАНТСКИХ АЛМАЗОВ 347

Скаковский В. Л., Романчук А. И.
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ МИРОВОГО ОКЕАНА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ 350

Соболев С. Н., Арискин А. А., Соболев А. В., Батанова В. Г., Япаскурт В. О., Пшеницын И. В., Николаев Г. С., Грошев Н. Ю.
ЗОНАЛЬНОСТЬ В КУМУЛЯТИВНОМ ОЛИВИНЕ ПО ФОСФОРУ:
РЕЖИМ КОМПАКЦИИ И УСКОРЕННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ
В ПОРАХ КУМУЛАТОВ 352

Соцкая О. Т., Горячев Н. А.
НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛОГИИ РУД РАННЕМЕЛОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕТРЕНСКОЕ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ) 354

Спиридонов Э. М.
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ПАЛЛАДИЯ, ПЛАТИНЫ,
ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ 356

Старостин И. А.
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ КЫЗЫКЧАДРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(РЕСПУБЛИКА ТЫВА) 359

Столяренко В. В., Алферова В. А., Минаева С. В.
ОСОБЕННОСТИ ПОЗИЦИИ МУРУНСКОГО РУДНОГО УЗЛА В ПРЕДЕЛАХ
ЧАРО-ОЛЕКМИНСКОЙ ГРАНИТ-ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ ОБЛАСТИ
(РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)).....361

Сулимов А. Ф.
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ТЫРСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ 365

Сурин Т. Н.
КОЛЧЕДАНОНОСНАЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (УРАЛЬСКИЙ ТИП):
ПАЛЕОВУЛКАНИЗМ, ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ
И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУДООБРАЗОВАНИЯ 367

Тарасов А. С., Захаров А. П., Карпухина М. В., Рогизный В. Ф., Толкушкина Е. А., Додриков Ю. А., Родкин М. С.
ИТОГИ АПРОБАЦИИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ
И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ,
ЗАВЕРШЕННЫХ В 2023 г. И АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МСБ ЗА ПЕРИОД 2013–2023 гг. 371

Тарасова Ю. И., Будяк А. Е.
МИНЕРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХОЛОДНИНСКОЕ
(ПЕРВАЯ И РЫЖАЯ РУДНЫЕ ЗОНЫ) 374

Уварова Е. А., Вахрушев А. М., Куликов Д. А., Закиева Э. В., Мухина Г. Ю.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ NEXTGIS WEB
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИМ
СОПРОВОЖДЕНИЕМ ТЕКУЩИХ И ПЛАНИРОВАНИЕМ БУДУЩИХ ГРР НА АБЦМ 377

Устинов С. А., Петров В. А., Минаев В. А., Нафигин И. О., Яровая Е. В.
РОЛЬ СТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНОГО ТИПА В ЛОКАЛИЗАЦИИ РУДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ 379

Федоров Д. Т.
О ТЕКУЩЕМ СОСТОЯНИИ МИРОВОГО РЫНКА МПГ 382

Фомина М. И., Михалицына Т. И.
ХАРАКТЕРНЫЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ Au-КВАРЦЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУЛЬБАТКАН (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) 383

Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е.
ПРИМЕНЕНИЕ ИК-ФУРЬЕ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ ПРИ ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА 386

Холмуродов Т. Т., Султонов П. С.
УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ ГОРЫ КУЛЬДЖУКТАУ 389

Хоменко М. О., Гибшер Н. А., Бульбак Т. А., Шапаренко Е. О., Петрова М. А., Томиленко А. А., Затолокина К. И.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ОЛИМПИАДИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ: ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ 391

Хотылев О. В.
АЛМАЗОНОСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ МЬЯНМА И ВОЗМОЖНОСТИ ПОИСКОВ В СТРАНЕ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ ДАЛЬНЕГО СНОСА 393

Черных А. И.
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОЛОТА ЗАПАДНОЙ И ЮЖНОЙ ЧАСТЕЙ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ 395

Чуйко В. А. , Ёлшин А. В., Плюснин И. А.
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ – ОДИН ИЗ ПУТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 399

Чумаков А. В., Аликин О. В., Рудашевский В. Н., Удинцова С. А.
К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ ЗОЛОТОНОСНЫХ ЛИСТВЕНИТОВ 402

Шатилова Л. В., Позднякова Н. Н., Яблокова С. В.
О МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЯХ «ИЗУЧЕНИЕ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ» 405

Шатов В. В., Кашин С. В., Белова В. Н., Молчанов А. В., Шатова Н. В.
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ПРОГНОЗУ ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАРТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГСР-200 (ГСР-50) 408

Шкурихин А. С., Проказов Е. П.
ИНТЕГРАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) В МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАССИВОВ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ 411

Эйсфельд О. А.
ГЕОЛОГО-ЛАНДШАФТНОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПО ДАННЫМ ДЗЗ И ГИС
НА ПРИМЕРЕ ГОР ГОБДУНТАУ 412

Эйсфельд О. А., Мурашкин С. С.
КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ, КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ
И ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ДЕТАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ
(ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ГОР БУКАНТАУ, УЗБЕКИСТАН) 415

Юркевич Л. Г., Миллер В. Я., Семенов М. И., Соболь Е. С.
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ
ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЕРСПЕКТИВНОЙ
МЕДНО-МОЛИБДЕН-ПОРФИРОВОЙ РУДОГЕННОЙ СИСТЕМЫ
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА 419

Яковлев И. В., Мальковец В. Г., Гибшер А. А., Милаушкин М. В.
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ГРАНАТОВ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ
им. 23 СЪЕЗДА КПСС И ПРОБЛЕМА РАСЧЕТА «АЛМАЗНОГО ОКНА»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОМИНЕРАЛЬНОЙ ГЕОТЕРМОБРАОМЕТРИИ 422

Карась С. А., Трач Г. Н., Панасенко Ю. М.
ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ
И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ГАЗОРТУТНЫМ МЕТОДОМ 424

Иванова И. И.
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ УЛАНТОВСКОГО МАССИВА
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ «BIG DATA»
И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....427

Chen Bo, Dong Zengchan, Li Leqian
THE FORMATION OF LITHIUM-RICH PEGMATITES IN LONG-LIVED
OROGENIC SYSTEM, A CASE STUDY IN CHINESE ALTAY 429

Leibham Polina, Krasnov Anton, Sayapov Marat, Grachova Alexandra, Kostina Elizaveta
CHARACTERISTICS OF THE ORE-BEARING SREDNENSKY
PLUTON GRANITOIDS AND ALTERED ROCKS IN BABUSHKIN BAY,
MAGADAN REGION, RUSSIA.....430

Phani P. R. C.
POTENTIAL TARGET AREAS FOR DIAMOND
EXPLORATION-GEOMORPHOSTRUCTURAL EVIDENCES
FROM WAJRAKARUR KIMBERLITE FIELD, INDIA 434

Gongwen WANG
GOLDEN RESOURCE PREDICTION AND ASSESSMENT BASED
ON 3D/4D BIG DATA MODELING AND DEEP INTEGRATION
IN KEY ORE DISTRICTS OF NORTH CHINA.....436

Глухов А. Н., Колова Е. Е.
О СТРАТЕГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ
НА ЗОЛОТО И СЕРЕБРО В МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ 437