

Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ  
ЧТЕНИЯ***

***СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ***

***Подсекция***

***геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых***

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Старостин В.И.

СБОРНИК  
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва  
2023

## Содержание:

1. Основы квантовой геологии В.И. Старостин, Г.В. Мышинский . . . . .	2
2. Нитчатые бактерии как основной элемент строения железомарганцевых строматолитов Мирового океана В.В. Авдонин, Е.А. Жегалло, Н.Е.Сергеева . . . . .	5
3. Критическое минеральное сырье для малоуглеродной энергетики А.Л. Дергачев, Е.М. Шемякина . . . . .	7
4. Запасы и дополнительные потребности в критическом минеральном сырье в эпоху энергетического перехода А.Л. Дергачев, Е.М. Шемякина . . . . .	9
5. Опыт использования лазерного искрового спектрометра серии LAZER Z для экспрессного приближенно-количественного определения химического состава пород и руд (на примере золоторудного месторождения Светлинское, Ю. Урал) А.А. Бурмистров, Г.Г. Мальцев . . . . .	11
6. Типы метасоматоза в пределах золоторудного месторождения Наседкино (Забайкальский край) Д.М. Коршунов, М.А. Богуславский, Е.И. Ярцев . . . . .	15
7. Особенности минерального состава руд золоторудного месторождения Наседкино (Забайкальский край) М.А. Богуславский, Д.М. Коршунов, Г.Н. Овсянников . . . . .	18
8. Геолого-экологическая характеристика хвостохранилища АНОФ-3 (Мурманская область) А.А. Самсонов . . . . .	21
9. Медно-серебряные месторождения Кодаро-Удоканского рудного района, Забайкалье (Россия) А.С. Якубчук . . . . .	24
10. Определение параметров геологоразведочной сети Буруктальского месторождения на основе количественных показателей А.А. Борисов . . . . .	26

## ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ГЕОЛОГИИ

Г.В. Мышинский, В.И. Старостин

Под Естественным нуклеосинтезом во Вселенной мы понимаем преобразование одних химических элементов в другие химические элементы в низкоэнергетических ядерных реакциях (НЭЯР, LENR – Low Energy Nuclear Reactions). Естественный нуклеосинтез – это механизм альтернативный синтезу химических элементов как в звездах, в термоядерных реакциях, требующих температур в десятки и сотни миллионов градусов, так и синтезу химических элементов посредством последовательного захвата атомными ядрами нейтронов с последующим бета-распадом последних в s-, r-процессах, происходящих на стадии гибели звезд, при взрывах сверхновых и нейтронных звезд.

Низкоэнергетические ядерные реакции происходят в слабо возбужденной конденсированной среде и подразделяются на два типа: реакции холодного ядерного синтеза (ХЯС) и реакции низкоэнергетической трансмутации химических элементов (НЭТ или трансмутация).

К реакциям ХЯС относятся реакции с участием водорода или дейтерия, а именно: протонов или дейтронов, и ядер основного элемента, например: палладия, циркония, никеля, титана, бора, лития... Эти реакции могут протекать самопроизвольно, без внешнего воздействия. В твердом теле они происходят предпочтительно в образцах, имеющих размер порядка нескольких нанометров. Такой размер образцов позволяет создать концентрацию 2-3 атома водорода или дейтерия на один атом основного элемента. Реакции ХЯС также могут протекать в растворах и в расплавах.

Реакции трансмутации осуществляются для всех химических элементов, начиная с водорода, и происходят, как правило, с участием одновременно большого количества атомных ядер. Реакции НЭТ включают как слияние, так и распад ядер. Они протекают только в результате внешнего воздействия, когда через ионизированную среду в одном направлении движется поток свободных электронов с плотностью  $> 10^{21}$  эл/см<sup>3</sup>. Реакции трансмутации преимущественно происходят в расплавах, в растворах и в плотных газах, т.е. на свободных атомах. Примечательно, что продукты реакций трансмутации – изотопы химических элементов – получают нерадиоактивными.

Об осуществлении реакций холодного ядерного синтеза при комнатной температуре было объявлено М. Флейшманом и С. Понсом в 1989 году. Реакции ядерного синтеза были реализованы ими при электролизе с палладиевым катодом раствора дейтерированного гидроксида лития в тяжелой воде. (0.1M LiOD в растворе 99.5% D<sub>2</sub>O + 0.5% H<sub>2</sub>O) [1].

Вскоре, в 1992 году А.Б. Карабут, Я.Р. Кучеров и И.Б. Савватимова в экспериментах с тлеющим газовым разрядом в дейтерии с палладиевым катодом обнаружили реакции

преобразования одних химических элементов в другие химические элементы при низких энергиях]. Впоследствии такие реакции получили название: реакции низкоэнергетической трансмутации химических элементов. В дальнейшем, реакции трансмутации были обнаружены и многократно воспроизведены в других многочисленных и разнообразных экспериментах.

Таким образом, были открыты “невозможные”, низкоэнергетические ядерные реакции, происходящие в слабо возбужденных конденсированных средах с энергией возбуждения в области реакций  $\sim 1$  эВ/атом.

Благодаря открытию низкоэнергетических ядерных реакций началась новая научная Как оказалось, во многих физических опытах, связанных с электронным воздействием на конденсированную среду, после их завершения в среде обнаруживались химические элементы, отсутствующие в ней до начала воздействия. Крайне важно отметить, что изотопы “посторонних” химических элементов были стабильными, т.е. нерадиоактивными. Количество получаемых “посторонних” элементов невозможно было объяснить примесями химических элементов, имеющимися в реакционных объемах. В некоторых опытах “посторонние” элементы составляли десятки процентов от всей массы конденсированной среды. В последующем, это явление получило название низкоэнергетические ядерные реакции или ядерная наука в конденсированной среде. Суть этого явления заключается в том, что в слабовозбужденных, в масштабах ядерной физики, конденсированных средах одни химические элементы превращаются в другие.

Эти превращения привели, в конце концов, к заключению о причастности низкоэнергетических процессов как к нуклеосинтезу в звездах, высказанному S.E. Jones, T. Matsumoto, М.И. Солиным, С.В. Адаменко, так и к планетарному нуклеосинтезу, заявленному В.А.Кривицким, Г.В.Мышинским, В.Д. Кузнецовым, В.И. Старостиным. В итоге открытие низкоэнергетических ядерных реакций привело к созданию нового направления в геологии – Квантовой геологии.

#### Новая доктрина в геологическом развитии Земли

Мы, со своей стороны, опираясь на законы диалектики, делаем следующий шаг: тезис-антитезис-синтез. Мы объединяем, благодаря открытию низкоэнергетических ядерных реакций, обе аксиоматики: геоцентристскую и галацентристскую. Новую доктрину геологического развития Земли мы теперь формулируем следующим образом:

1. Геологическое развитие Земли представляет собой монотонный, эволюционный процесс, на который накладываются революционные, скачкообразные периоды.

2. Эволюционный процесс определяется внутренними энергетическими источниками: низкоэнергетическими ядерными реакциями, радиоактивными распадами, гравитационным

сжатием и др. Поскольку энергия, поступающая из внутренних источников, монотонно уменьшается, то геологические процессы монотонно замедляются.

3. Скачкообразные, в том числе, циклические периоды в развитие Земли генерируются внешними энергетическими источниками, которые стимулируют внутренние энергетические источники. В эти периоды геологические процессы ускоряются, порой революционным образом.

4. Внешними энергетическими источниками являются Солнце, струйные потоки энергии и вещества от Галактики. Возможно, имеются другие, внешние энергетические источники. Галактические источники энергии могут воздействовать на Землю непосредственно или опосредованно – через Солнце.

Настоящая концепция опирается на понятие открытых систем как по отношению к Земле и Солнечной системе, так и по отношению к Галактике. Поэтому, она не является центристской. В ней одновременно действуют, с той или иной степенью интенсивности, все энергетические источники.

С очевидностью можно заключить, что исследуя историю геологического развития Земли, мы одновременно изучаем структуру нашей Галактики – “Галактика у нас под ногами”.

Предложенная концепция не является аксиоматичной, но требует своего подтверждения. Её доказательная база будет увеличиваться по мере исследований все более разнообразными и чувствительными методами, как планет Солнечной системы, дальнего космоса, так и глубин Земли. Для ответа на многие вопросы, связанные с динамическим развитием геосферы, следует использовать квантово-интеграционный метод, применяющийся во многих научно-практических исследованиях.

#### Список литературы.

1. Мышинский Г.В., Кузнецов В.Д., Старостин В.И. Естественный нуклеосинтез. РЭНСИТ, 2022, 14(4):473-496. DOI: 10.17725/rensit.2022.14.473.
2. Кривицкий В.А. Парадоксы трансмутации и развитие Земли. М. НИЦ Академика, 2016, 239 с.

## НИТЧАТЫЕ БАКТЕРИИ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ СТРОМАТОЛИТОВ МИРОВОГО ОКЕАНА

В.В.Авдонин, Н.Е. Сергеева, Е.А. Жегалло

Как было показано ранее, кобальтоносные железомарганцевые корки подводных поднятий (КМК) Мирового океана имеют бактериальную природу и идентифицируются как строматолиты. Столбцы железомарганцевых строматолитов представляют собой бактериальные маты, образованные чередованием фоссилизированных реликтов бактериальных пленок. Корки детально стратифицированы. На основе биостратиграфических исследований установлено, что слои корок формировались в следующие возрастные промежутки: слой I-1 в позднем палеоцене – раннем эоцене, слой I-2 в среднем – первой половине позднего эоцена, слой II в среднем – позднем миоцене, слой III датируется плиоцен-четвертичным возрастом [1].

Как видно, макрослои хорошо маркируются по своему внешнему виду. Все они имеют слоисто-столбчатые текстуры. Однако характер столбцов, их размеры, форма, степень сближенности существенно различаются. Во всех слоях обнаружено обилие различных фоссилизированных биоморфных элементов.

Микростроение выделяемых слоев различается меньше. Невозможно заметить границу между макрослоями на микроуровне. Большинство выделяемых структурных единиц встречается в каждом слое. В биопленках строматолитов постоянно обнаруживаются фоссилизированные остатки нитчатых бактерий: переплетения длинных тонких форм, скопления мелких трихом, относительно крупные трубчатые оболочки. Бактерии сферической формы – кокки – довольно разнообразны. Еще одним обязательным элементом, который играет большую роль в строматолитообразовании, является ЭПС (гликокаликс).

Переплетения нитчатых бактерий обычно располагаются в плоскости биопленок. Нити вытянуты в длину на 20-30 мкм. По всей длине наблюдаются плавные утолщения и более тонкие участки: диаметр изменяется от 0,3 до 0,5 мкм. Часто они изгибаются, им свойственно ветвление: в плоскости биопленки они напоминают сучковатые ветви деревьев. В ряде случаев, на участках интенсивных изгибов они принимают спиралевидную форму. Наряду с подобными нитчатыми бактериями широким развитием в изученных образцах пользуются бактерии иной формы. Это короткие, палочковидные, чаще всего изогнутые, длиной в среднем 2-3 мкм и толщиной до 0,7 мкм. Чаще всего они встречаются в виде изометричных скоплений беспорядочно ориентированных индивидов. Скорее всего это трубковидные чехлы нитчатых бактерий. И, наконец, наблюдаются нитчатые бактерии третьего типа. Это относительно крупные образования округлого сечения, полые внутри с довольно «толстой» оболочкой. О

длине их судить трудно: в плоскости биопленок обнаружить их не удалось. Диаметр их изменяется в пределах от 0,7 до 2,5 мкм, толщина оболочек достигает 0,5 мкм.

В слое II помимо плотных микрослойков выделяются микрослойки с отдельными фоссилизированными нитчатыми бактериями и появляются уже целые скопления нитчатых бактерий. Также увеличивается количество находок кокковидных бактерий и включений в общую массу кокколитов.

В слое III видно чередование плотных микрослойков с более рыхлыми, сложенными скоплениями нитчатых бактерий. Еще больше по сравнению с предыдущими слоями увеличивается количество кокков и включений кокколитов.

Тонкие нитевидные бактерии, образующие плотные микрослои преобладают в конкрециях. Возможно именно с ними связано увеличение марганца в их составе. Тогда как увеличение количества железа обнаруживается в более рыхлых микрослоях сложенных короткими палчковидными бактериями.

Таким образом, установлено, что строение разреза железомарганцевых строматолитов отражает основные этапы формирования структурных форм бактериальных сообществ.

#### Литература.

1. Авдонин В.В., Жегалло Е.А., Сергеева Н.Е. Микростроение железомарганцевых строматолитов и онколитов океанского дна.// Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2016. № 2. С. 27-32.
2. Авдонин В.В., Жегалло Е.А., Сергеева Н.Е. Бактериальная природа оксидных железомарганцевых руд мирового океана. М. ГЕОС. 2019. 284 с.

## КРИТИЧЕСКОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ МАЛОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Е.М. Шемякина, А.Л. Дергачев

Наметившийся переход к низкоуглеродным энергетическим технологиям, основанным на использовании возобновляемых источников энергии, в ближайшие десятилетия будет сопровождаться повышением спроса на минеральное сырье. При этом некоторые виды металлов и промышленных минералов приобретут критическое значение для быстро расширяющегося производства низкоуглеродных технологий.

В качестве критических обычно рассматриваются те виды минерального сырья, которые благодаря своим уникальным свойствам практически не заменимы в важнейших, зачастую в новых и «зеленых» технологиях. В определенный момент времени происходит быстрый рост их потребления иногда в одной или очень немногих важнейших областях использования, где они не имеют равноценных субститутов. Нередко оказывается, что месторождения этих видов металлов или неметаллического сырья, до сих пор использовавшихся в очень ограниченных масштабах, редко встречаются, их запасы ограничены, а добыча сильно отстает от растущего спроса и осуществляется в единичных металлогенических провинциях и очень немногими странами, среди которых резко доминируют буквально одна или две. Все вместе это означает высокий риск временной остановки производства новых технологий, если не по причине физического отсутствия запасов требуемых критических минеральных материалов, то из-за несовершенства технологий извлечения их из руд, резких колебаний цен на них или нестабильности поставок по политическим причинам.

Статус критически важных минеральных материалов в эпоху энергетического перехода приобретают используемые в установках ветровой электрогенерации и моторах электромобилей Nd, Pr, Dy, Tb; Ga, In, Ge, Se, Te, Ag, используемые в силовой электронике и кабелях электромобилей и солнечных панелях разных типов; Ni, Li и графит, применяемые в стационарных и мобильных системах накопления и хранения электроэнергии. Они и (или) их производные обладают уникальными свойствами и не могут быть эффективно заменены субститутами, а их потребление в предстоящее 30-летие будет возрастать быстрыми темпами. Для самих этих критических материалов технологии энергетического перехода станут крупнейшими рынками.

Вызванный переходом к преимущественному использованию возобновляемых источников энергии многократный рост потребления большинства перечисленных минеральных материалов создает возможности для ускорения экономического роста развивающихся стран, имеющих на своей территории крупные запасы и ресурсы соответствующих полезных ископаемых и лидирующих по их добыче. В их число входят ДРК,



Индонезия и Куба (Co), Бразилия, Филиппины, Индонезия (Ni), Вьетнам и Китай (PЗЭ), Турция, Бразилия, Мадагаскар (графит), Чили, Боливия и Аргентина (Li) и др.

Высокие уровни концентрации запасов и мирового производства многих видов критического минерального сырья предполагают высокий риск прекращения их поставок, в частности, по политическим причинам. Переход к политике нулевой толерантности к углеродному следу, и как следствие, расширяющееся использование низкоуглеродных технологий, требующих критических минеральных материалов, открывает новые возможности для экономического роста и усиления политического влияния целого ряда развивающихся стран, экономика которых ориентирована на добычу и экспорт критического минерального сырья. Среди них наибольшие преимущества получит Китай, обладающий большими запасами и лидирующий по рудничному и металлургическому производству многих видов критических минеральных материалов. Следует внимательно изучить возможности участия России в обеспечении энергетического перехода минеральным сырьем.

Удорожание критических материалов для технологий энергетического перехода создает дополнительные риски и может поставить мировую экономику перед выбором между отказом от углеродного следа и энергетической безопасностью.

## ЗАПАСЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТРЕБНОСТИ В КРИТИЧЕСКОМ МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ В ЭПОХУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

А.Л. Дергачев, Е.М. Шемякина

Важнейшая роль в развитии цивилизации, которую до сих пор играли минеральные ресурсы, сохранится за ними и в эпоху перехода к преимущественному использованию ВИЭ. Сокращение использования ископаемого топлива будет, по крайней мере, частично компенсироваться расширенным применением твердых полезных ископаемых: руд металлов и индустриальных минералов.

Планы энергетического перехода, опубликованные ИЕА и другими международными агентствами, составлены в парадигме бесконечности минеральных ресурсов и отсутствия ограничений на масштабы их добычи, а выбранные темпы перехода к преимущественному использованию ВИЭ не вполне обоснованы инженерными расчетами. Вопрос о достаточности существующих запасов и ресурсов критического сырья для обеспечения технологий энергетического перехода по тому или иному сценарию вообще не обсуждается с участием геологов, равно как и возможности мирового горно-металлургического комплекса добыть и переработать достаточное количество полезных ископаемых.

Кумулятивный дополнительный спрос на некоторые виды критического минерального сырья, вызванный слишком быстрым распространением низкоуглеродных энергетических технологий, только в период до 2050 г. составит существенную часть, а для Ge, In и Te многократно превысит нынешние их мировые запасы, извлекаемые в металлургическую продукцию, и даже их ресурсы. Такое соотношение между глобальным спросом на критическое минеральное сырье и его запасами и ресурсами ставит под сомнение возможность реализации даже относительно консервативного сценария ИЕА 2DS при выбранных основных предположениях, соответствующих современным реалиям.

Для обеспечения технологий энергетического перехода критическими минеральными материалами в предстоящий период потребуется разработка и массовое внедрение промышленных технологий, обеспечивающих повышение сквозного извлечения металлов из руд, а также ускоренное наращивание запасов за счет интенсификации геологоразведочных работ. Расширяющееся использование вторичного и искусственного сырья, снижение материалоемкости существующих и разработка ресурсосберегающих новых технологий позволят уменьшить нагрузку на природные ресурсы и снизить риск прекращения или ограничения поставок первичных критических металлов по причине их недостаточности. Однако перечисленные факторы могут рассматриваться только как вспомогательные и в целом в ближайшие 30 лет не окажут большого влияния на обеспечение технологий энергетического перехода и электромобилестроения критическим сырьем.

В предстоящий период наличие достаточного количества критических материалов и цены на них будут решающим образом определять возможность внедрения современных технологий, использующих ВИЭ, и соотношения между субтехнологиями. Распространение технологий энергетического перехода, и как следствие ускоренный рост потребления критического сырья и конкуренция за доступ к необходимым ресурсам повлекут рост мировых цен на минеральное сырье. При удорожании ресурсов возрастут затраты на производство электроэнергии, а значит, и стоимость ее для конечного потребителя. Таким образом, достижение целей Парижского соглашения по сценарию IEA 2DS не только приведет к повышению материалоемкости электрогенерации, а значит, и мировой экономики в целом, но и ожидаемо внесет вклад в ускорение инфляционных процессов.

# ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА СЕРИИ LAZER Z ДЛЯ ЭКСПРЕССНОГО ПРИБЛИЖЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД И РУД (НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВЕТЛИНСОКЕ Ю. УРАЛ)

А.А. Бурмистров, Г.Г. Мальцев

Коренное промышленное оруденение Светлинского месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации связано с 4-мя жильными и штокверково-жильными субвертикальными рудными зонами ЗСЗ-ного простирания мощностью до 100м и более, залегающих в круто падающих на запад палеозойских метаморфизованных песчаниках и сланцах с субпослойными телами габбро-диабазов [1]. Вмещающие породы ороговикованы, а в рудных зонах они подверглись березитизации. Для проведения исследований были выбраны 4 образца метасоматитов (номера их указаны в скобках), следующего состава: кварц-серицитового (22), кварц-актинолитового (27), кварц-актинолит-хлоритового (25), серицит-биотит-кварц-хлоритового с повышенным содержанием сульфидов (15Н). Для проведения анализов также использовались пробы (таблетки), изготовленные из перетертого материала дубликатов данных образцов. Дополнительно в эту выборку включены пробы (gr 15А, Б, Г и Д), изготовленные из образцов, отобранных рядом с образцом 15Н. Пробы были проанализированы на содержание петрогенных компонентов и серы (силикатный анализ проводился в лаборатории ИГЕМ РАН).

Лазерным анализатором LAZER Z-300 проведено по 3 испытания каждого образца и каждой пробы. В соответствии с существующими рекомендациями в обработку принимались результаты 2-го и 3-го испытаний, которые представляли собой цифровые спектры, состоявшие из 22760 цифровых пиков. Это определило высокую достоверность статистических результатов, которые, в соответствии с рекомендациями известного специалиста по лазерной спектроскопии А.В. Аграфенина, получены путем построения кластерных дендрограмм (рис. 1 и 2). Во всех случаях образцы (об) и соответствующие им пробы (gr), находятся в одних и тех же кластерных группах, несмотря на то, что спектры снимались только в одной точке каждого образца. Первая из них соответствует роговикам - 27(об), gr27, 25(об), gr25; вторая - 15Н (об), gr15Г, Д и третья - 22(об), gr22 березитизированным роговикам и кварц-серицитовым метасоматитам, соответственно. Обе дендрограммы идентичны по составу трех групп, но для 3-го испытания отмечается несколько более высокая контрастность разделения на группы. По химическому и минеральному составу образцы и пробы первой и третьей групп наиболее сильно отличаются друг от друга (табл. 1). Таким образом, результаты определения состава пород по образцам данным способом можно считать вполне удовлетворительными даже при таком ограниченном объеме исходных данных. При неоднородном строении пород потребуется проведение дополнительных измерений - по разным точкам поверхности образцов.

Дендрограмма образцов, построенная по результатам их химического анализа, идентична уже рассмотренным на рис. 1. На дендрограмме компонентов химического состава проб (рис. 3) также выделяются три группы, каждая из которых соответствует одной из трех групп образцов (рис. 2). Так, если рассматривать эти дендрограммы слева направо, то образцы первой группы слева имеют относительно повышенные содержания компонентов первой группы слева дендрограммы на рис. 3 ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) и т.д. Сера имеет незначимую корреляционную связь с компонентами этой и остальных групп (высокая неравномерность распределения сульфидов в породах).

Разрешающая способность этого метода может быть существенно увеличена за счет включения новых образцов и проб в данную выборку. В таком случае будут выделены более мелкие подгруппы образцов, в которых разброс значений содержаний компонентов станет меньше. Это позволит увеличить точность определения химического состава пород, для которых отсутствуют данные анализов.

#### Литература

Федосеев В.В. Сырьевая база ОАО «Южуралзолото» в Челябинской области // <http://www.vipstd.ru/journal/content/view/34/39/>

Табл. 1. Средние содержания (%) химических компонентов (левые колонки столбцов групп) и абсолютные отклонения от них для отдельных образцов в группах (правые колонки).

группы обр.:	x27,25А,25Б		x15Д-15А		x22,15Г,15Б	
$\text{Na}_2\text{O}$	1,5	0,4	0,1	0,01	0,2	0,1
$\text{MgO}$	4,7	0,2	5,3	0,6	2,8	0,6
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12,2	0,5	15,2	1,4	14,7	0,6
$\text{SiO}_2$	46,7	0,7	47,9	0,2	68,2	3,7
$\text{K}_2\text{O}$	0,1	0,02	4,4	0,4	4,1	0,2
$\text{CaO}$	7,8	2,2	1,4	0,3	0,4	0,2
$\text{TiO}_2$	1,8	0,1	1,7	0,1	0,8	0,5
$\text{MnO}$	0,3	0,1	0,1	0,02	0,1	0,04
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	18,2	1,3	19,4	1,0	7,3	2,5
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,2	0,01	0,1	0,01	0,1	0,04
S	1,3	1,0	3,0	2,9	1,1	0,1

А

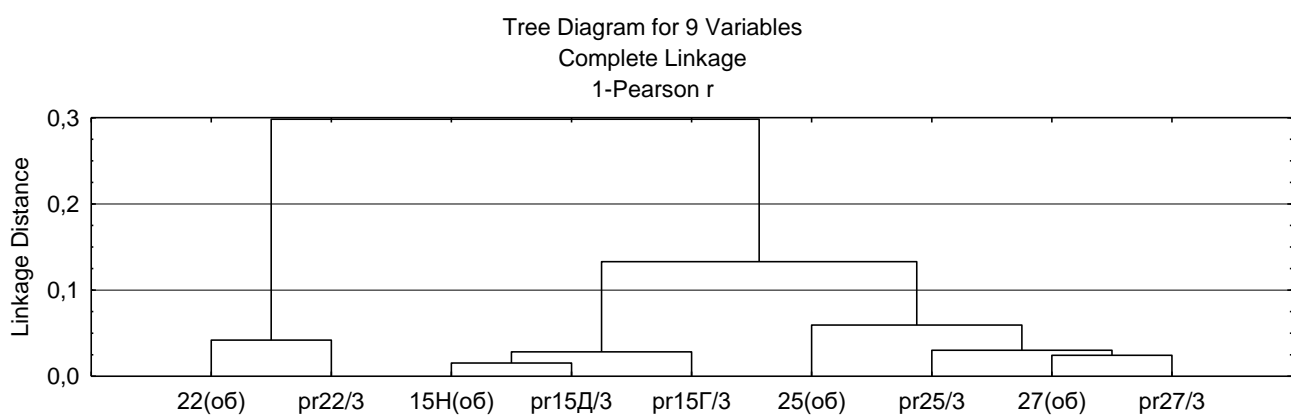
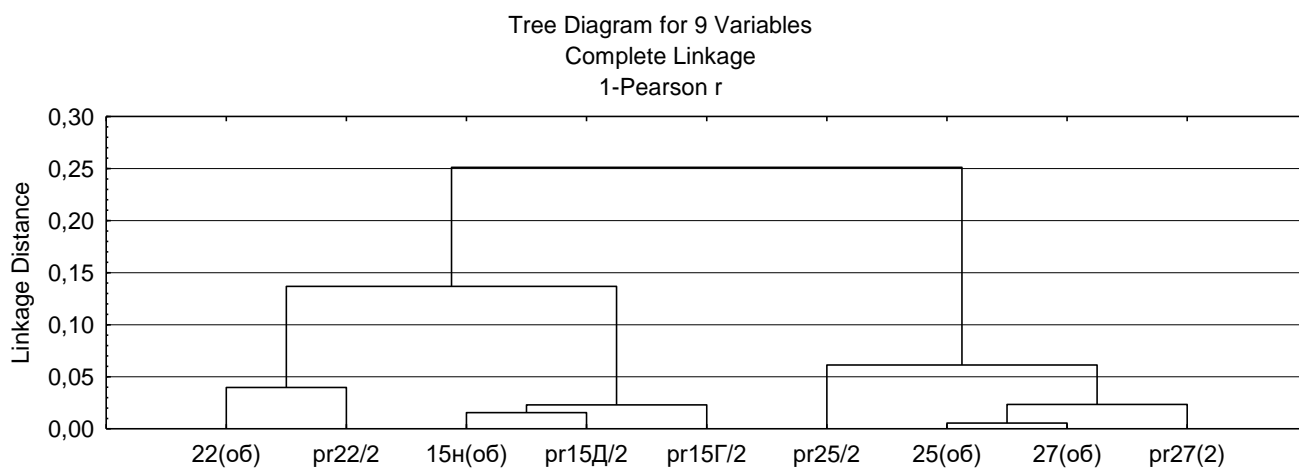


Рис. 1 (А, Б). Кластерная классификация образцов (об) и проб (пр) по их спектрам для 2-го (А) и 3-го (Б) испытаний. Расстояние объединения (значения на вертикальной оси) равны разности:  $1 - \text{коэффициент корреляции Пирсона}$ ; процедура группового объединения – метод полной связи.

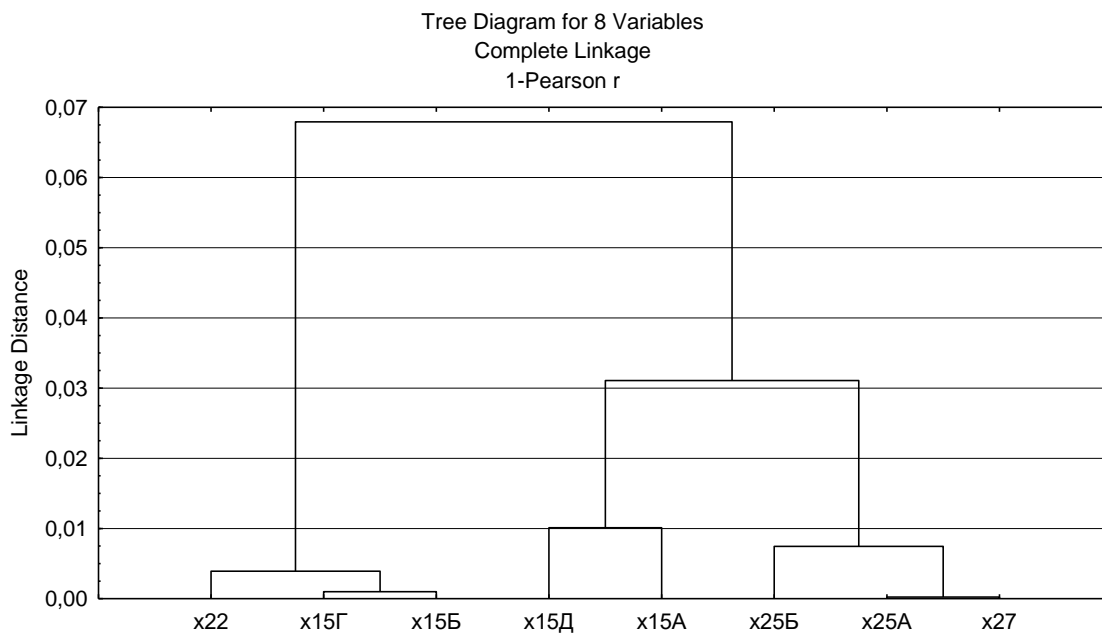


Рис. 2. Кластерная классификация образцов по данным их химического анализа.

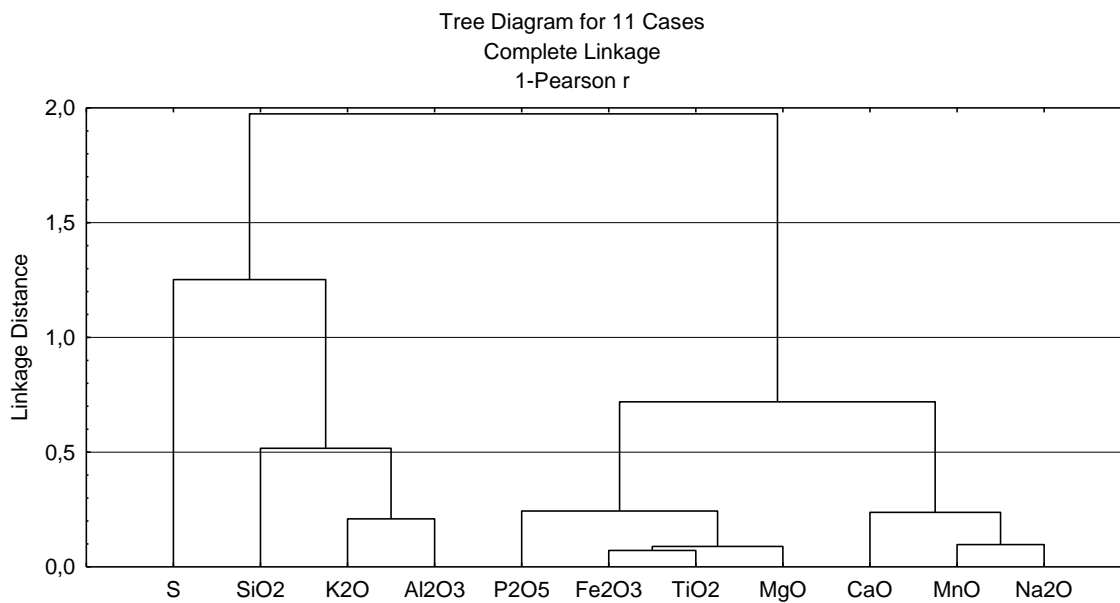


Рис. 3. Кластерная классификация компонентов химического состава образцов.

## ТИПЫ МЕТАСОМАТОЗА В ПРЕДЕЛАХ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАСЕДКИНО (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

Д.М. Коршунов, М.А. Богуславский, Е.И. Ярцев

Месторождение Наседкино расположено в пределах Могочинского-Карийского золоторудного района, который, в свою очередь расположен в так называемой «Архейской глыбе» восточного Забайкалья (Лейфман и др., 1965). Архейская глыба – выступ древних архейских ультраметаморфизованных пироксен-гранатовых и калишпат-плагиоклазовых гнейсов. Её прорывают разновозрастные интрузии, преимущественно позднепалеозойские и юрские граниты, грано-сиениты и сиениты, хотя присутствуют и архейские гранитогнейсы, габбро-нориты и позднепротерозойские кислые интрузивы. В позднеюрское время протекал активный вулканизм, и территория архейской глыбы частично перекрыта диорит-порфирами и туфами кислого состава. Вся зона распространения архейской глыбы характеризуется крайне интенсивными процессами карбонатизации, гранитизации, беритизации и серицитизации. Известны зоны образования скарноподобных пород, генезис которых пока остаётся спорным (Лейфман и др., 1965, Гаврикова, Коротаев, 1981).

В геолого-структурном плане территория находится в зоне непосредственно примыкающей к Монголо-Охотскому орогену. Архейская глыба и Монголо-Охотская горная постройка разделяются двумя параллельными глубинными разломами: Монголо-Охотским и Могочинско-Бушулейским (Быбин, Багова, 2014). Все известные в этом регионе месторождения тяготеют к местным разломам второго порядка: Амазаро-Итакинскому, Ключевско-Давендинскому и Костромихинскому.

В Могочинско-Карийском золоторудном районе известно несколько крупных месторождений золота: Ключевское, Итакинское (Сурьямая горка) и Наседкино. Ключевское и Итакинское месторождения активно изучались в период 70-90 гг., месторождение Наседкино подробно ранее не изучалось и только в середине 2010-ых г. началась активная геологоразведка. Все эти месторождения имеют ряд общих черт, хотя и несколько отличаются с точки зрения рудной минерализации (Абрамов и др., 2022).

Золото сосредоточено в зонах поздней сульфидной минерализации, распространение которой связывают с процессами беритизации. Основной проблемой при изучении метасоматитов месторождения Наседкино является отсутствие строгой метасоматической зональности и хаотичным пространственным размещением разных типов метасоматитов. В следствии чего непонятны приверженность конкретного типа метасоматита к фазе внедрения и, соответственно, этапность метасоматических преобразований и связанная с ними рудная



минерализация. Оценка генетической связи рудных минералов также осложняется сложным многократно наложенным друг на друга характером метасоматических преобразований.

По нашим петрографическим данным и по данным EDX микроанализа удаётся надёжно выделить 4 типа метасоматитов для месторождения Наседкино:

1. «Скарноподобные метасоматиты» На данный момент нами выделены классические известковистые скарны и «скарноиды», которые обладают рядом скарновых признаков, но не могут быть точно отнесены к ним. Тела скарнов круто падают и совпадают по элементам залегания с вмещающими породами. Они часто окружают интрузивные породы, формируя вокруг них прерывистые ореолы, достаточно широко распространены переходы в метасоматиты преимущественно карбонатного состава (подобные березитам), которые в свою очередь наблюдаются уже и внутри тел интрузивных пород.

Скарны по минеральному составу гранатовые, пироксеновые, волластонитовые иногда с калишпатом, кальцитом, кварцем, наши наблюдения совпадают с выделенными скарнами этого района (Коротаев, 1981). Как правило, гранат скарнов аномально анизотропен и осцилляционно зонален, закономерна эволюция от гроссуляр-андрадита к чистому андрадиту. Рудная минерализация бедная, представлена пиритом с микропримесями козалита и халькопиритом. Наложённая минерализация представлена хлоритом, амфиболами и минералами Pb-Bi-Sb. На наш взгляд скарны разновозрастные и могли формироваться последовательно, подчиняясь этапам внедрения магматических расплавов.

Впрочем, достаточно часто скарны встречаются частично изменённые. По пироксенам и гранату развивается хлорит, наблюдается обильный серицит. Этот факт дополнительно усложняет реконструкции этапности образований разных типов метасоматитов.

2. *Пропилиты*. Ассоциация пропилитов включает в себя кварц-эпидотовые (вплоть до двуминеральных кварцевых эпидозитов), эпидот-хлоритовые и хлорит-эпидотовые метасоматиты с КПШ и биотитом (К-пропилиты), либо альбитом (Na-пропилиты). Часто встречаются рутил (бедный W и Nb до 0,26 масс. %) и сфен (фтор содержащий до 1,86 масс. %), апатит. Акцессорно встречаются шеелит, алланит. Эволюция силикатов (граната, амфибола, реже эпидота) идет со снижением железистости (в отличие от скарнов и кварц-турмалиновых метасоматитов). Рудная минералы характерные для этого типа метасоматитов – пирит и халькопирит с каймами халькозина. Иногда вместо пирита наблюдается марказит. Намного реже встречается гематит.

3. *Березиты*. Сложены преимущественно карбонатом, серицитом и кварцем. Часто они образуются по магматическим породам и в березитах можно наблюдать реликты первичных минералов в виде характерных «текстурных» рисунков. Рудная минерализация представляет

большой интерес т.к. часто обнаруживаются висмут-теллуриды или теллуриды, наиболее распространенный из них козалит.

4. *Кварц-турмалиновые метасоматиты.* Ассоциация кварц-турмалиновых метасоматитов содержит кварц, турмалин ряда шерл-дравит, встречаются бораты датолит и аксинит, может встречаться кальцит. Турмалин образует сплошные массы с кварцем (иногда встречаются кварц-турмалиновые прожилки, размером до 1 см) или гнезда радиально-лучистого строения с карбонатом и кварцем. На наш взгляд этот тип метасоматитов генетически ассоциирует или занимает промежуточное положение пропиловыми парагенезисами: можно наблюдать КПШ и сильнорастворенный амфибол.

Как было сказано выше, тела метасоматитов имеют сложную морфологию и часто смешаны, то есть наложены друг на друга. По этой причине сложно выделить их этапность и связать с конкретной фазой внедрения магматических расплавов. Несмотря на это, представляется, что скарны были образованы в раннюю стадию изменения и может так быть, что сами скарны формировались в несколько этапов. В пользу раннего образования скарнов говорит тот факт, что они часто серитизированы или беретизированы. Кварц-турмалиновые метасоматиты чаще всего жильные и их положение пока остаётся не выясненным.

#### Список литературы:

1. Абрамов Б. Н., Калинин Ю. А., Боровиков А. А. Итакинское золоторудное месторождение: изотопный состав, вероятные источники рудного вещества (Восточное Забайкалье) // геосферные исследования. 2022. №2 С. 6–22.
2. Быбин Ф. Ф., Багова В. З. Могочинско-Карийский золоторудный район (восточное Забайкалье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 1. С. 78–84.
3. Гаврикова С. Н., Коротаев М. Ю. Соотношение гранитизации и магнезиального скарнообразования в Могочинском выходе архейских гранулитов (Северо-Восточное Забайкалье) // Доклады Академии наук. 1981. № 4 (256). С. 942–945.
4. Коротаев М.Ю. Скарны и апоскарновые метасоматиты Урюмского рудного узла (северо-восточное Забайкалье). Автореферат на соискание степени кандидата г.-м. наук. Геологический факультет МГУ им М.В. Ломоносова. 1981. 21 с.
5. Лейфман Е.М., Кирилук В.П., Сиворонов А.А. и др. Объяснительная записка к геологической карте N-50-XXIV. 1965. Изд: ВСЕГЕИ, Ленинград. 37 с.

## ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУД ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАСЕДКИНО (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

М.А. Богуславский, Д.М. Коршунов, Г.Н. Овсянников

Месторождение Наседкино (Малоурюмское) расположено в Могочинском районе Забайкальского края, в северо-восточной части Восточного Забайкалья, в южной части Олекминского Становика Витимо-Олекминской горной страны, в западной части хребта Черемного. С геологической точки зрения месторождение относится к итака-могоча-кулинской рудной зоне золото-медно-молибденового пояса Восточного Забайкалья [1].

Рудная минерализация представлена несколькими основными ассоциациями, связанными с конкретными породными разностями. В целом данное месторождение руд можно отнести к малосульфидным.

В целом на месторождении обнаружено 3 основные ассоциации рудных минералов:

- Пирит, магнетит, шеелит, вольфрамит
- Халькопирит, пирит
- Халькопирит, минералы висмута и теллура.

Золото тяготеет к последней из перечисленных ассоциаций. В этой ассоциации можно выделить два основных парагенезиса рудных минералов, связанных с золотым оруденением: висмут-козалитовый и второй, названный здесь теллуровой ассоциацией, представленная халькопиритом, алтаитом, козалитом и прочими минералами теллура. Первая ассоциация наблюдается на границе хорошо выраженных известковых «скарнов» и уже изменённых гнейсов и магматических пород, вторая локализуется в жилах вторичных минералов: чаще всего в хлорит-эпидотовых. Стоит отметить, что сами «скарны» не несут рудную минерализацию.

Висмут-козалитовый парагенезис представлен разными минералами висмута и теллура. В частности, висмутином, который вместе с сопровождающими его сульфовисмутинами меди являются постоянными компонентами своеобразного типа медно-висмутовых гидротермальных месторождений, где встречаются совместно с халькопиритом, борнитом, и другими сульфидами. Хотя на данном объекте борнит не обнаружен. В рудах таких месторождений часто присутствуют гематит, самородное золото и серебро, а также сложные сульфосоли висмута, свинца и серебра [2]. Серебром данный объект сильно обеднен. Серебряных минералов в процессе анализа руд не обнаружено.

Висмут самородный – иногда встречается как включения в крупные выделения пирита, но более широко развит в ассоциации с алтаитом, где формирует мелкие выделения. Висмутин

– встречается как в зонах границы скарна и изменённых первичных породах, так и в жилах вторичных минералов в ассоциации с алтаитом.

Самородное золото – обнаруживается в виде мелких округлых зёрен, размером до 0,1 мм. Всегда связано с различными теллуридами или ассоциацией, включающей висмутовые минералы. Иногда наблюдается в крупных выделениях козалита.

Bi-Te минерализация тесно ассоциирована с золотом, достаточно часто встречается в беризитах или в «скарнах», но только в тех, которые серицитизированы или беризитизированы.

Интерес также может представлять медная минерализация, которая встречается в виде халькопирита и пространственная позиция отличается от золоторудной ассоциации. Основным минералом меди является халькопирит. В медь содержащих частях рудного тела его содержание в среднем составляет около 4%. Халькопирит является более ранним минералом, возможно, он кристаллизовался вместе с теллуrowыми минералами, чаще представленными козалитом и изредка айкинитом. Халькопирит локализуется в прожилках. В этих же прожилках встречается крупный пирит, в основном в виде метакристаллов идиоморфной формы с хорошо очерченными гранями и включением матрикса, что может свидетельствовать о его самом последнем образовании в ряду рудных минералов. При этом изредка встречается генерация мелкого пирита, который довольно равномерно распределен по всей породе, но и он тоже обладает близкой к идиоморфной форме без следов коррозии.

Ни в одном аншлифе с халькопиритом или с висмут-теллуrowой ассоциацией магнетит и минералы вольфрамит не встречаются. Возможно, магнетит является частью вмещающих пород и при внедрение гидротермальных растворов перекристаллизовывался. Вольфрамит, являясь типичным для минералов описываемого ряда ассоциации с шеелитом в золото-кварцевых жилах, а также в некоторых низкотемпературных олово-висмута-серебряных жильных месторождениях ни с висмутовыми минералами, ни с самородным золотом не встречен. Возможно это более ранний гидротермальный процесс, который никак не связан с медной и золоторудной ассоциацией.

Также можно говорить и о первичных ассоциациях минералов, которые не несут информации и не превышают кларковых содержаний: пирит-халькопирит в магматических породах, пирит в гнейсах, магнетит-гематит в гнейсах, магнетит в магматических породах и т.д.

Прожилки вторичных минералов всегда ассоциированы с метасоматически изменёнными зонами, которые достаточно часто обнаруживаются в гнейсах (согласно направлению полосчатости) или субвулканических породах.

Проведенные микрозондовые исследования показали, что золото высокопробное с небольшой примесью серебра, теллура и селена (табл. 1.)

Таблица 1. Анализ самородного золота характерный для м-я Наседкино.

Spectrum	In stats.	Cu	Se	Ag	Te	Au	Pb	Bi	Total
Spectrum 14	Yes	1,10	0,66	3,56	0,58	93,32	0,00	0,00	99.22
ат. Кол-ва %		3,22	1,56	6,15	0,85	88,23	0,00	0,00	
<b>Золото самородное</b>									

Исследования показали небольшую примесь серебра в галените. Почти безмышьяковистый пирит, а также разные минеральные ассоциации никеля и кобальта (бравойт, герсдорфит и др.) имеющие подчиненное значение и пока не дающие дополнительных сведений о строение объекта.

Выводы.

Золоторудная минерализация представлена двумя разными ассоциациями «теллуровой» и «висмутовой». «Висмутовая» ассоциация размещается в сильноизмененных породах по составу приближающихся к березитам. «Теллуровая» ассоциация тяготеет к зоне контакта «скарнов» и измененных пород. Золотое оруденение приурочено к зоне контакта «скарнов» с вмещающими или прожилки в самих «скарнах». При этом сами «скарны» не несут золотой минерализации. Золото высокопробное с небольшой примесью серебра, теллура и селена.

#### Список литературы.

1. Лейфман Е.М., Кирилук В.П., Сиворонов А.А. и др. Объяснительная записка к геологической карте N-50-XXIV. 1965. Изд: ВСЕГЕИ, Ленинград. 37 с.
2. Юшко С.А. Методы лабораторного исследования руд; Учеб. Пособие для вузов. – 5-е изд., переб. и доп. – М.: Недра, 1984. 389 с.

## ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХВОСТОХРАНИЛИЩА АНОФ-3 (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.А. Самсонов

Крупнейший в мире Хибинский щелочной массив сопоставим с известными рудными полями, включающими 12 месторождений и рудопроявлений. Практически все апатит-нефелиновые месторождения Хибинского массива обрабатываются компанией АО «Апатит», входящей в ПАО «ФосАгро». Исключением являются месторождения Олений Ручей и Партомчоррское, лицензиями на обработку которых владеют дочерние предприятия ПАО «АКРОН».

Среднее содержание некоторых компонентов в балансовых запасах апатит-нефелиновых руд:  $P_2O_5$  – 16,62 %,  $TiO_2$  – 2,78 %,  $Al_2O_3$  общ. – 12,14 %,  $Na_2O$  – 6,48 %,  $K_2O$  – 2,96 %,  $SrO$  – 1,56 %,  $TR_2O_3$  – 0,41 %,  $F$  – 1,28 %,  $Rb_2O$  – 63,7 г/т,  $Cs_2O$  – 0,22 г/т.

Все руды с месторождений, обрабатываемых АО «Апатит», поступают на переработку на входящие в структуру компании апатит-нефелиновые обогатительные фабрики АНОФ-2 и АНОФ-3. Хвостохранилища АНОФ-2 и АНОФ-3 образованы насыпными первичными дамбами и дамбами обвалования. Для их строительства использовалась вскрышная порода обрабатываемых месторождений, поэтому на следующем этапе были отобраны и проанализированы образцы первичных дамб хвостохранилищ.

Хвостохранилище АНОФ-3 размещено в долине реки Жемчужная, вблизи поселка Титан (8 км от г. Кировска). Хвостохранилище содержит хвосты АНОФ-1 после 1963 г. и хвосты АНОФ-3. Общий объем хвостохранилища 720 млн. м<sup>3</sup>, общая площадь 18,0 км<sup>2</sup>. На 2022 г. размещено около 540 млн. т. хвостов.

Для определения концентраций микроэлементов и петрогенных оксидов проведен химический анализ проб из хвостохранилища АНОФ-3 (табл. 1) методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (XRF) на вакуумном спектрометре последовательного действия (с дисперсией по длине волны), модель Axios MAX производства компании PANalytical (Нидерланды).

С целью определения среднего содержания элементов-загрязнителей в хвостах и пыли, которая распространяется с хвостохранилища, проведен статистический анализ имеющихся данных химического анализа проб, отобранных с хвостохранилища. Корреляционный анализ показал, что существуют значимые связи между  $P_2O_5$  и рядом элементов-примесей руд, которые могут являться потенциальными загрязнителями: Rb,  $TR_2O_3$ , V, Cl, Ba,  $Fe_2O_3$ , La. Для определения средних содержаний этих загрязнителей в хвостах, а значит и в пыли, произведён регрессионный анализ данных химического состава исследуемых проб (табл. 2).

Таблица 1. Результаты анализа микроэлементов и петрогенных оксидов в хвостах АНОФ-3

№ пробы	Cr	V	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Th	Y	Nb	Cl	La	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	ppm															%			
1	32	250	16	93	96	200	1305	1563	911	10	62	275	537	146	60	5,01	5,98	9,15	0,89
2	35	217	12	73	88	211	1089	1478	985	14	63	255	555	122	50	4,3	5	8	0,6
3	27	187	14	70	87	221	933	1555	969	8	60	232	605	123	50	4,4	5,1	6,9	0,62
4ю	41	264	17	73	96	158	2062	1318	765	9	68	245	280	221	100	7	6,3	10	1,3
5к1	29	188	13	70	87	222	1005	1516	989	8	58	228	624	147	60	3,95	2,85	6,85	0,61

Таблица 2. Результаты регрессионного анализа данных химического анализа изученных проб хвостохранилища АНОФ-3

Элементы-примеси	a*	b*	Ср. содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в хвостохранилище АНОФ-3 [1] (ppm)	Расчетное ср. содержание элементов примесей в хвостохранилище АНОФ-3 (ppm)
Rb	269	-0,008	6500	215
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	0,006	6500	52
V	133	0,011	6500	205
Cl	856	-0,041	6500	590
Ba	1165	-0,03	6500	970
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46566	4,4	6500	75166
La	50	0,011	6500	122

\*коэффициенты уравнений линейной регрессии ( $y = a + b \cdot x$ ).

Расчет массы пыли, сдуваемой в год с хвостохранилища АНОФ-3:

1. Интенсивность пыления хвостохранилища АНОФ-2, принятого за аналог, при скорости ветрового потока 5 м/с и среднем диаметре частиц 35 мкм составляет  $0,845 \cdot 10^{-6}$  кг/(м<sup>2</sup>·с) [2].

2. Площадь хвостохранилища АНОФ-3 –  $18,0 \text{ км}^2 = 18 \cdot 10^6 \text{ м}^2$

3. Количество сухих дней в регионе в год без снежного покрова – 100 дней. 1 день – 86400 секунд.

4. Средний радиус распространения пыли принят 10 км, исходя из аналога АНОФ-2 [3]. Площадь загрязнения составила  $314 \text{ км}^2 = 314000000 \text{ м}^2$ .

Таким образом, масса пыли, оседающей на 1 м<sup>2</sup> в год, составляет:

$$0,845 \cdot 10^{-6} \cdot 18 \cdot 10^6 \cdot 86400 \cdot 100 = 131414400 \text{ кг} / 314000000 \text{ м}^2 = 0,4185 \text{ кг}$$

Масса элементов загрязнителей, г/м<sup>2</sup>: Rb – 0,09; TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,022; V – 0,09; Cl – 0,247; Ba – 0,406; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 31,457; La – 0,051.

Установлено химическое воздействие пыли на окружающую среду, прежде всего на атмосферу и почвы. Сделан вывод о необходимо усилить природоохранные мероприятия.

#### Литература

1. Дудкин О.Б. Технологическая минералогия комплексного сырья. –Апатиты, 1996
2. Маслобоев В.А., Бакланов А.А., Амосов П.В. Результаты оценки интенсивности пыления хвостохранилищ. Вестник МГТУ, том 19, № 1/1, 2016 г. с. 13-19
3. Стриженок А.В. Управление экологической безопасностью намывных техногенных массивов ОАО «Апатит» в процессе их формирования. Автореф. дисс. Санкт-Петербург, 2015.



## МЕДНО-СЕРЕБРЯНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОДАРО-УДОКАНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, ЗАБАЙКАЛЬЕ (РОССИЯ)

А.С. Якубчук

Кодаро-Удоканский рудный район в Забайкалье является одним из четырех глобально значимых осадочных бассейнов мира с медными месторождениями мирового класса. Для его крупнейшего Удоканского месторождения оценены ресурсы 25 млн тонн Cu (@1% Cu) и 805 млн унций Ag (@10 г/т), а на нескольких близлежащих проявлениях ведутся геологоразведочные работы.

Кодаро-Удоканский палеопротерозойский осадочный бассейн размером 200x60 км расположен на Алданском щите Сибирского кратона между террейнами Олекма и Тында возрастом 3,4-2,9 млрд лет, амальгамированными около 2,6 млрд лет назад. Медь встречается на нескольких стратиграфических уровнях осадочной толщи мощностью 12 000 м (Удоканская группа возрастом 2,2-2,06 млрд лет), которая была смята около 1,9 млрд лет назад. Практически сразу за этим последовало формирование гранитов А-типа возрастом 1876 млн лет, секущих складчатую структуру, и Чинейского расслоенного массива габброидов возрастом 1867 млн лет с Fe-Ti-V и Cu-Ni-PGE минерализацией. Все породы секутся роом диабазовых даек возрастом 1863 млн лет, а также мафическими дайками неопротерозойского возраста.

U-Pb датирование титанита из вкрапленной медной руды и медно-кварцевых жил на Удокане дало возраст минерализации 1896 млн лет, что указывает на синдеформационное, а не синседиментационное отложение отложение меди и серебра (до гранитов А-типа и расслоенного габбро).

В структурном отношении Cu-Ag минерализация преимущественно приурочена к синклиналям. Взаимосвязь между вмещающей литологией, минерализацией и гидротермальными изменениями была недавно задокументирована на проявлении Ункур, где оценено >50 млн т минерализации с 0,59% Cu и 40 г/т Ag. Минерализация прослежена бурением на протяжении 6,6 км в юго-западной части Ункурской синклинали размером 10x5 км, которая на 95% скрыта под четвертичными моренными отложениями. На противоположном (северо-восточном) крыле синклинали на протяжении 1-3 км были закартированы стратиформные гидроксиды меди, которые пока не разбуривались.

Стратиформная минерализация на юго-западном крыле синклинали находится внутри пачки переслаивающихся песчаников и алевролитов, визуально схожих выше и ниже рудного уровня. Изучение состава цемента песчаников показало, что минерализация приурочена к границе карбонатных и бескарбонатных осадочных пород. Сульфидные минералы в стратиформной залежи представлены халькопиритом, пиритом, борнитом, халькозином и

ковеллином, окисленными в малахит, хризоколлу и брошантит примерно до глубины 180 м. Под стратиформной залежью в обнажении и в керне выявлены кварцевые жилы, пересекающие стратификацию. Они содержат более простой набор рудных минералов (халькопирит-пирит). Предполагается, что минерализованные флюиды прошли через осадочную толщу вдоль питающих жил, а затем в основании песчаниково-алевролитовой пачки с карбонатным цементом образовали стратиформную залежь, в пределах которой обломочный магнетит был гидротермально изменен в немагнитный гематит. Вокруг сульфидов меди пирит сформировал более широкую оболочку, которая картируется методом вызванной поляризации и подтверждена бурением.

Применение магнитных геофизических методов является ключевым для прослеживания минерализованных залежей на участках, перекрытых мореной. Вмещающая осадочная толща в целом характеризуется высоким магнитным полем, отражающим широкое присутствие обломочного магнетита, который гидротермально изменен в гематит, придающий характерный розоватый цвет песчаникам вблизи Cu-Ag минерализации. Именно область с гематитом соответствует пониженным значениям магнитного поля внутри в целом повышенных значений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ  
БУРУКТАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

А.А. Борисов

При проектировании геологоразведочных работ важно определить параметры буровой сети для оптимизации затрат: как в отношении физических объемов работ, так и денежных расходов. Наиболее значимый фактор ограничения количества разведочных пересечений – высокая стоимость геологоразведочных работ, поэтому при изучении месторождений твердых полезных ископаемых необходимо получать максимально представительные данные о строении рудных тел.

Выделяется два подхода к обоснованию оптимальных параметров разведочной сети: качественный и количественный. Качественный подход базируется на методе аналогии, при котором обобщается опыт разведки и отработки большого числа месторождений различных видов полезных ископаемых, характеризующихся также разной морфологией рудных залежей и показателями изменчивости свойств оруденения. Требования к параметрам геологоразведочной сети на основании качественного подхода обобщены в Методических рекомендациях ГКЗ [5].

Буруктаальское месторождение относится ко 2-ой группе сложности, рекомендуемые параметры сети составляют: для категории В – 50x50 – 100x100 м, для категории С<sub>1</sub> 75x100 – 100x200 м.

В основу анализа параметров разведочной сети положены расчеты, базирующиеся на использовании количественных критериев разведанности запасов. В числе таких критериев рассматриваются точность оценки средних содержаний полезных компонентов и ошибки геометризации. Для расчета параметров сети с использованием этих показателей предлагается использовать подход, изложенный в работе П. И. Кушнарева [4].

Расчет погрешности оценки содержаний и ошибок геометризации проводится аналитически на основании следующих показателей: годовая производительность предприятия по добыче руды (А) – 5 400 тыс. тонн, средняя длина проб ( $l_{пр}$ ) – 1.73 м, коэффициент вариации содержаний никеля по пробам для бортового содержания Ni 0.5 % ( $V_{пр}$ ) – 39 %, средняя объемная масса руд ( $\gamma$ ) 1.33 кг/м<sup>3</sup>, фактическая площадь разведочной ячейки, применяемой на месторождении ( $S_i$ ), для категории В (25x25 м) – 625 м<sup>2</sup>, для категории С<sub>1</sub> (100x100 м) – 10 000 м<sup>2</sup>, для категории С<sub>1</sub> (200x200 м) – 40 000 м<sup>2</sup>.

Предельная погрешность оценки запасов применительно объему недр, сопоставимого с годовой производительностью предприятия, для различных категорий установлена в ряде работ

[2, 3, 4]. Для запасов категории В она составляет 5-7 %, для запасов категории С<sub>1</sub> – 10-15 %, для запасов категории С<sub>2</sub> – 20-30 %.

Для расчета фактической величины погрешности оценки среднего содержания никеля предварительно рассчитывается максимальный объем недр ( $V_i$ ) и масса руды ( $Q_i$ ), приходящийся на одну разведочную пробу для каждой категории запасов:

$$V_i = S_i \times I_{пр} \quad (1)$$

$$Q_i = V_i \times \gamma \quad (2)$$

Фактическое (минимальное) число проб ( $N_i$ ) в блоке, сопоставимом с годовой производительностью, рассчитывается по формуле:

$$N_i = A \times Q_i \quad (3)$$

Погрешность оценки среднего содержания в блоке может быть определена по формуле математической статистики:

$$S_i = t_a \times V / \sqrt{N_i} \quad (4)$$

Допустимую величину погрешности оценки среднего содержания удобнее выразить в виде относительного стандартного отклонения, в связи с чем значение критерия Стьюдента  $t$  принимается равным 1. При этих условиях величина фактического стандартного отклонения составит:

Согласно проведенным расчетам, точность оценки средних содержаний в блоке годовой производительности при фактических параметрах разведочной сети на Буруктальском месторождении составила для категории В – 0.55 %, для категории С<sub>1</sub> – 2.26 %, для категории С<sub>2</sub> – 4.47 %.

Погрешность оценки средних содержаний никеля также оказалась ниже в 4 раза, что говорит о степени изученности месторождения, более детальной, чем требуется для достоверной оценки содержаний металла по всем категориям.

Оптимальную густоту разведочной сети для различных категорий запасов можно определить исходя из формул (1) и (4). Для этого сначала рассчитывается необходимое количество наблюдений (разведочных проб) в блоке, соответствующем годовой производительности, для допустимой погрешности оценки содержаний каждой категории запасов, затем запасы, приходящиеся на одну пробу. Площадь блока рассчитывается исходя из объема запасов и длины пробы. Для запасов категории В оптимальная площадь ячейки составляет 7 720 м<sup>2</sup>, для категории С<sub>1</sub> – 15 439 м<sup>2</sup>, для категории С<sub>2</sub> – 30 880 м<sup>2</sup>. Значения полученных площадей соответствуют оптимальной площади ячейки разведочной сети. Рудные залежи Буруктальского месторождения имеют вытянутую форму с простиранием с юго-запада на северо-восток, с коэффициентом анизотропии около 1.5, при таких условиях использование прямоугольной сети можно считать более предпочтительным. Согласно проведенным расчетам,

оптимальная сеть для категории В составляет 100x75 м, для категории С<sub>1</sub> - 100x150 м, для категории С<sub>2</sub> – 200x150 м.

Определенная по количественным показателям густота разведочной сети несколько ниже используемой на месторождении, хотя при этом не выходит за пределы размеров сетей, рекомендуемых ГКЗ для месторождений 2-ой группы сложности. Использование предлагаемых параметров разведочной сети при разведке подобных месторождений силикатного никеля позволит оценить запасы с точностью, необходимой для категорий В, С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub> с меньшим количеством скважин, что может повысить эффективность геологоразведочных работ.

#### Список литературы:

1. Викентьев В.А., Карпенко И.А., Шумилин М.В. Экспертиза подсчетов запасов рудных месторождений. Москва: Недра, 1988 – 201 с.
2. Каждан А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых / А.Б. Каждан. Москва: Недра, 1974. – 272 с.
3. Коткин В.А. Количественная оценка точности и достоверности разведанных запасов месторождений твердых полезных ископаемых / В.А. Коткин, А.В. Мельникова, А.Н. Лазарев, Н.Н. Лагонский // Недропользование XXI век. – 2009. – №1. – С. 29-33.
4. Кушнарев П.И. Научно-методические основы количественной оценки разведанности золоторудных месторождений, Диссертация на соискание степени учёной степени доктора геолого-минералогических наук. ФГБУ «ВИМС», 2022 г. – 193 с.
5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. ФБУ «ГКЗ», М., 2007