

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ***

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

***Подсекция
геохимии***

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Борисов М.В.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2023

Содержание:

1. Равновесно-динамические модели переотложения вещества свинцово-цинковых жил на карбонатном барьере
М.В. Борисов, Д.А. Бычков, Ю.В. Шваров, Т.Н. Лубкова 2
2. Захоронение углекислого газа в горнорудном производстве на примере компании АЛРОСА
А.Ю. Бычков, С.А. Воробьев, И.Ю. Николаева, М.Е. Тарнопольская, Т.Н. Лубкова 4
3. Геохимическая зональность и оценка степени эродированности золоторудной системы, связанной с интрузиями (Чукотка)
И.В. Балыкова, Ю.Н. Николаев 7
4. . Оценка подвижности и биодоступности тяжёлых металлов в донных отложениях Иваньковского водохранилища
Е.С. Гришанцева, Т.Н. Лубкова, О.Р. Филатова, М.Л. Григорьева, И.Ю. Николаева 10
5. Новый подход к локализации и оценке ресурсов по геохимическим данным золото-серебряного оруденения (на примере месторождения Купол)
Ю.Н. Николаев, И.А. Калько, А.В. Аплеталин 13

РАВНОВЕСНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЕРЕОТЛОЖЕНИЯ ВЕЩЕСТВА СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ ЖИЛ НА КАРБОНАТНОМ БАРЬЕРЕ

М.В. Борисов, Д.А. Бычков, Ю.В. Шваров, Т.Н. Лубкова

В Садонском горнорудном районе (Северная Осетия, Россия) при поисковых работах на поверхности Джимидонского рудного поля ОАО «Севосгеологоразведка» были выявлены новые для Горной Осетии полиметаллические рудопроявления в карбонатных породах верхней юры. Формирование всех жильных Pb-Zn месторождений района происходило в предкелловейское время J_2 [3]. Можно предположить, что в позднеюрское или меловое время произошла повторная тектоническая активизация системы, при которой рудная нагрузка низкотемпературных (100-150°C) гидротермальных растворов формировалась за счет взаимодействия с веществом ранее образованных рудных жил. Примером таких объектов является рудопоявление Урсдон, лежащее на продолжении рудоконтролирующих разломов рудной зоны Бозанг (месторождение Джими), но на удалении в несколько км. В настоящей работе исследованы равновесно-динамические модели переотложения вещества рудных тел на карбонатном барьере в постгидротермальных процессах (пакет программ HCh [4], система H-O-K-Na-Ca-Mg-Al-Si-Fe-C-Cl-S-Zn-Pb-Cu,).

Расчеты проведены для многих вариантов двух типов моделей. Менялось число проточных реакторов, составы руд и первичных растворов, отношения руда/раствор, T и P.

Модель 1 типа - двухреакторная: 0 реактор – вещество рудной жилы, с которым реагирует безрудный раствор (1 м NaCl, 0.5 м H_2CO_3 , 1 кг H_2O); 1 реактор – кальцит, с которым вступает в реакцию с рудоносным раствором из нулевого реактора. Состав руды: кварц, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит в различных соотношениях. Через реакторы проходит до 20-50 волн раствора, а каждая следующая порция рудоносного раствора реагирует со всем веществом предшествующей волны.

Если в реакторах одинаковые T и P: например, 100°C и 1000 бар. Рудоносный раствор имеет следующие характеристики: pH=3.1, Eh до -0.1 в, концентрации Fe до $8.7e-7$ м, Zn= $5.7e-5$ м, Pb= $4e-6$ м, Si= $1.1e-3$ м, Cu= $1.8e-7$ м, S(II)= $6.2e-5$ м (для растворов: м – молярная концентрация; для твердых фаз: м – количество молей). При взаимодействии такого раствора с кальцитом происходит постепенное его растворение, pH повышается до 4.9-5, Eh снижается до -0.24 в, концентрации компонентов падают Fe= $3.8e-8$ м, Zn= $9.5e-7$ м, Pb= $6.5e-8$ м, Cu= $2.5e-8$ м, S(II)= $1.9e-6$ м. Отлагаются (из 20 порций раствора): ZnS до $1e-3$ м, PbS до $8e-5$ м, сульфиды меди до $1e-6$ м, кварц до $1.5e-5$ м. Пирит не отлагается.

Положительный результат - отложение ZnS и PbS. Однако кварца отлагается значительно меньше, а пирита вообще нет. Для рудопоявления Урсдон характерна высокая степень окварцевания карбонатных пород (Si до 17 мас.%) и пиритизация (Fe до 6%), которая

проявляется на обнажении развитием зоны лимонитизации. Таким образом, рассмотренный вариант модели не соответствует данным по реальному объекту. Понижение T до 90°C в реакторе с карбонатом приводит к отложению близких количеств сульфидов и усилению окварцевания (до $4\text{e-}3 \text{ m}$), но пиритизации нет. Однако если уменьшить отношение руда/вода в нулевом реакторе, то можно получить незначительную пиритизацию (P_{py} до $4\text{e-}8 \text{ m}$) на фронте растворения кальцита.

Модель 2 типа – многореакторная: 0 реактор – вещество рудной жилы (T_0, P_0); 1-5 реакторы – пустое трещинное пространство, в котором при понижении T возможно отложение вещества (от $T_1\text{-}P_1$ до $T_5\text{-}P_5$); 6-8 реакторы – кальцит (массой 20, 50 и 100 г) с $T\text{-}P$, отвечающими аналогичным в трещинах. Отложение вещества в трещинах описано слоевым механизмом [1], т.е. из каждой порции рудоносного раствора отлагается отдельный слой минералов, а равновесный с ними раствор поступает в следующий реактор с понижением T и реагирует с кальцитом при той же температуре.

Рассмотрим результаты расчетов по модели 2 типа, когда T при реакции с рудой составляет 150°C , в пустых реакторах постепенно понижается от 140 до 100°C (шаг 10°C), кальцит реагирует с раствором из трещинного канала. Повышение температуры при реакции с рудой приводит к росту концентраций $\text{Fe}=2\text{e-}6 \text{ m}$, $\text{Zn}=1.7\text{e-}4 \text{ m}$, $\text{Pb}=1.8\text{e-}5 \text{ m}$, $\text{Si}=2.5\text{e-}3 \text{ m}$, $\text{Cu}=1.4\text{e-}6 \text{ m}$, $\text{S(II)}=1.9\text{e-}4 \text{ m}$ ($\text{pH}=3.3$, $E_h=-0.13 \text{ в}$).

Главное, что удалось получить – это отложение пирита (до $9\text{e-}6 \text{ m}$) в трещинах и при реакции с кальцитом. Эффективность отложения пирита можно усилить, если уменьшить отношение руда/вода в нулевом реакторе. Таким образом, можно считать установленным, что в модели второго типа удастся получить минерализацию сопоставимую с наблюдаемой на рудопроявлении Урсдон. Интенсивное окварцевание и пиритизация проходят по системе трещин и микротрещин, в карбонатных породах, при снижении температуры. Пиритизация происходит и при реакции с кальцитом в пористом пространстве вмещающих пород, но при условии полного растворения карбонатов.

Литература

1. Борисов М.В., Бычков Д.А., Шваров Ю.В. Геохимические структуры полиметаллических жил выполнения и параметры гидротермального рудообразования // Геохимия. 2006. №11. С. 1218-1239.
2. Некрасов Е.М. Структурные условия локализации жильных свинцово-цинковых месторождений. М.: Недра, 1980. 255 с.
3. Шваров Ю.В. NCh: новые возможности термодинамического моделирования геохимических процессов, предоставляемые Windows // Геохимия. 2008. № 8. С. 898–903.

ЗАХОРОНЕНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ГОРНОРУДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ АЛРОСА

А.Ю.Бычков, С.А.Воробьев, И.Ю.Николаева, М.Е.Тарнопольская, Т.Н.Лубкова

К началу 2000-х г. проблемы глобального потепления, которое связывается большинством исследователей с выбросами углекислого газа от сжигания ископаемого топлива, были признаны угрожающими существованию всей человеческой цивилизации. Это понимание привело к тому, что регулирование эмиссии углекислоты стало выходить на первое место и в энергетической политике развитых стран. Таким образом, достижение углеродной нейтральности является важнейшим требованием к ведению экономической деятельности. Компании, способные реализовать эти требования в ближайшее время смогут получить конкурентные преимущества. Компания АЛРОСА занимается обогащением алмазов, при этом образуются отходы в виде измельченного кимберлита. Кимберлит является ультраосновой породой, выветривание которой приводит к связыванию углекислоты за счет реакций с образованием карбонатов. В связи с этим, ультраосновые породы рассматриваются как возможные резервуары для связывания углерода углекислоты.

Цель данного исследования – определение масштабов связывания углекислого газа хвостами кимберлитов на рудниках компании АЛРОСА. Для этого решались следующие задачи: 1. Термодинамические расчеты взаимодействия кимберлита с атмосферным углекислым газом. 2. Опробование хвостов разного возраста из хвостохранилищ АЛРОСА. 3. Определение минерального состава хвостов, пульпы и исходного кимберлита. 4. Экспериментальное исследование поглощения углекислого газа кимберлитом. 5. Оценка масштабов поглощения углекислого газа в сопоставлении с выбросами за счет сжигаемого ископаемого топлива Компании АЛРОСА.

Термодинамические расчеты проводились с использованием программного комплекса HCh. Термодинамические данные для расчетов взяты из базы данных Unitherm. Для расчетов выбрана 13-компонентная система: Al-C-Ca-Cl-Fe-H-K-Mg-N-Na-O-S-Si, в которой учтена возможность образование 75 твердых фаз, газового и водного раствора, состоящем из 55 ионов, молекул и комплексов. Последовательность расчетов заключалась в расчете равновесия системы, содержащей 100 г кимберлита, 1 кг воды и 0.2 м³ воздуха (N₂ 80%, O₂ 20%, CO₂ 0.05%). Расчеты проводились при температуре 25 °С и давлении 1 бар.

Расчет поглощающей способности кимберлита рассчитан как связывание породой дополнительных количеств углекислого газа, помимо содержащихся исходных карбонатов. Результаты расчета показали, что карбонизация серпентина дает вклад 15-20 г CO₂ на 100 г кимберлита. Примерно такой же вклад ожидается от карбонизации талька. Суммарное

максимальное поглощение углекислоты кимберлитом составило 32.6 г CO₂ на 100 г исходной породы.

В ходе полевых работ 2022 г. проведено опробование хвостохранилищ Ломоносовского, Удачнинского, Айхальского, Мирнинского и Нюрбинского ГОК. Опробование заключалось в выкапывании шурфа глубиной 70 см, пробы отбирались из интервалов 10 см. В случае работы фабрики отбиралась также свежая пульпа. Вместе с пробами при возможности отбиралась вода из соответствующего резервуара хвостохранилища. Для оценки поглощения углекислого газа одновременно с отбором пробы проводилось определение содержания CO₂ в подземной атмосфере. Для определения использовался датчик углекислого газа MT8057S. Датчик в защитном чехле помещался в шурф на глубину 30 и 60 см, закапывался и выдерживался 30-40 минут. Измерения при этом записывались с использованием компьютера по протоколу USB. Определение содержания карбонатного углерода в твердой фазе хвостов производилось с использованием карбонатометра.

Измерение содержания CO₂ в подземной атмосфере свежих хвостов показало на значения, существенно меньшие, чем в воздухе, что свидетельствует об интенсивном поглощении углекислого газа. С увеличением возраста отложений хвостов содержание углекислого газа в подземной атмосфере увеличивается. Как правило, для хвостов возрастом 10-15 лет оно становится выше атмосферного, поскольку в них наблюдаются процессы почвообразования, выраженное в появлении растительности. Аналогична картина проявилась на хвостах Удачнинского и Айхальского ГОК. Однако для хвостов Мирнинского и Нюрбинского ГОК снижения содержания углекислоты в подземной атмосфере не выявлено. Только в свежем кеке Нюрбинского ГОК обнаружены низкие концентрации CO₂.

Исследование содержания карбонатов в хвостах различного возраста показало следующие закономерности: 1. Содержание карбонатного углерода в хвостах увеличивается с возрастом хвостов Ломоносовского и Айхальского ГОК и существенно превышает концентрации в исходном кимберлите из разрабатываемых трубок и в свежей шихте. Для Удачнинского ГОК увеличение наблюдается первые 5 лет, но затем снижается. Для условий Мирнинского и Нюрбинского ГОК не наблюдается увеличение содержания карбонатного углерода в хвостах с возрастом, что свидетельствует об отсутствии связывания углекислого газа. Эти закономерности соответствуют прямым замерам содержания CO₂ в хвостах. Таким образом, показано, что на трех хвостохранилищах (Ломоносовского, Удачнинского и Айхальского ГОК) происходит масштабное связывание углекислого газа, а на двух (Мирнинского и Нюрбинского ГОК) не наблюдается такого процесса.

Для решения вопроса о причинах было проведено экспериментальное исследование способности кимберлита разных трубок к поглощению углекислого газа. Методика

заклучалась в поглощении чистого углекислого газа с измерением изменения объема газа, захваченного породой. Навеска дробленой породы или материала хвостов с определенным количеством дистиллированной воды или растворов различного состава помещалась в тонкостенный алюминиевый реактор, изнутри покрытый лаком, объемом 330-500 см³. Затем реактор продувался потоком углекислого газа из баллона в течении 2 минут и закрывался. Для измерения объема реактор помещался в мерную емкость, заполненную водой до метки. При поглощении газа происходило уменьшение объема, реактор сжимался. Изменение объема фиксировалось по объему воды, доливаемой до метки через отверстие, закрываемое пробкой. Объем воды определялся весовым способом. Эксперименты показали, что все образцы кимберлита поглощают углекислый газ. Функция поглощения в зависимости от времени зависит нелинейно, происходит снижение скорости с течением времени. Для получения линейных зависимостей нами предложена зависимость от корня от времени. В координатах корень от времени – поглощение все функции становятся линейными. С точки зрения химической кинетики гетерогенных реакций такой случай означает, что лимитирующим процессом является образование на поверхности новой фазы. Диффузия углекислоты через растущий слой новой фазы лимитирует скорость реакции и приводит к наблюдаемой зависимости. По углу наклона может быть рассчитан кинетический коэффициент. Все образцы, не содержащие гидроталькита, имеют одинаковые углы наклона в координатах корень от времени – поглощение, следовательно, близкие кинетические коэффициенты. На основании полученных данных и параметров для каждого ГОК была рассчитана модель поглощения углекислого газа.

Для Ломоносовского, Удачнинского и Айхальского ГОК результаты расчетов согласуются с наблюдаемым накоплением CO₂ в хвостах. На рис. 3 показано сравнение расчета и наблюдаемых величин Ломоносовского ГОК. Для Мирнинского и Нюрбинского ГОК также рассчитаны модели, но они не согласуются с наблюдаемыми данными. Экспериментальные данные показывают, что кимберлит и материал хвостов Мирнинского и Нюрбинского ГОК также способен поглощать углекислый газ. Встает задача выявления причин, которые препятствуют протеканию реакции карбонизации на этих объектах и разработка мер по активации данных хвостов для увеличения бюджета связывания CO₂.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЭРОДИРОВАННОСТИ ЗОЛОТОРУДНОЙ СИСТЕМЫ, СВЯЗАННОЙ С ИНТРУЗИЯМИ (ЧУКОТКА)

И.В. Балыкова, Ю.Н. Николаев

Построение и использование моделей геохимической зональности вносит вклад в оценку перспективности объектов. В связи с тем, что на ранних этапах ГРП исследователи не располагают необходимыми данными по разведке объектов на глубину, для выявления геохимической зональности предлагается использовать результаты штучного опробования на различных гипсометрических уровнях в условиях расчлененного рельефа.

Самой распространенной и принятой за основу прогноза в мире и РФ является геолого-генетическая модель золоторудных систем, связанных с интрузиями (*IRGS*), разработанная для рудного пояса Тинтин (Канада) [3-5]. Золотые системы, связанные с интрузией это как правило купольные комплексы, ассоциирующие с вулканическими породами [1]. Исследуемая Стадухинская рудная зона находится на территории ЧАО, в Билибинском районе. Самое богатое рудопроявление в пределах площади локализовано в раннемеловом гранитном массиве Кекура, относящемуся к гвардейскому интрузивному комплексу [6].

Исходными данными для исследования геохимической зональности послужили результаты анализов 1311 штучных проб, отобранных при прослеживании рудных зон на различных гипсометрических уровнях в условиях интенсивно расчлененного рельефа территории рудного поля. Исследование вертикальной геохимической зональности проводилось по программе НЮ-2 [2], так же использовался факторный анализ (в программном комплексе Statistica).

Результаты исследования вертикальной зональности оруденения в рудном поле Кекура были положены в основу разработки общей геохимической модели рудно-магматической системы Стадухинского района. Используя весь фактический материал (результаты анализов штучных проб, минералогические и термобарогеохимические исследования) по изученным проявлениям золота в районе, базовая модель вертикальной геохимической зональности рудного поля Кекура была дополнена данными по другим объектам, не противоречащим геолого-генетической модели *IRGS*.

Распределение рудных элементов по вертикали отражает общие закономерности эволюции состава рудообразующих флюидов и отлагающегося вещества в процессе длительного многоэтапного развития рудно-магматической системы Стадухинского района.

В наиболее ранний этап из рудоносного флюида, связанного с восстановленными магмами, сформировалось типичное для систем *IRGS* золото-редкометальное оруденение, которому соответствуют геохимическая ассоциация *Au-Te-Bi-Fe-S-As-(Cu, Mo)*.

В более поздний этап на глубинах из рудоносного флюида, вероятно связанного с второй фазой внедрения более кислых восстановленных магм, сформировалось наиболее богатое убогосульфидное золото-кварцевое березитовое (*Au-As*) оруденение месторождения Кекура и ряда участков ближней периферии. Последние вероятно ассоциируют с апофизами Кекурского гранитоидного массива и имеют с ним единый источник флюидов.

В заключительный этап гидротермальной деятельности, вероятнее всего в связи с внедрением поздних даек, к которым приурочены кварцевые золото-серебряные жилы, состав рудоносных флюидов существенно изменился. Главной особенностью произошедшей эволюции можно считать не температуры, а состав гетерогенных флюидов, в которых более значимую роль играют углекисло-водные растворы. Это отражается на составе минерализации в кварцевых жилах, который становится существенно халькофильным (*Au-As-Ag-Pb-Zn-Sb*).

Вертикальная геохимическая зональность представлена общей последовательностью отложения химических элементов (снизу вверх): *Bi-Te-Na-Cu-S-As-Co-Fe-K-W-Al-Mg-Ni-Au-Mo-Ca-Sb-Mn-Zn-Pb-Ag*. Выявлены общие геохимические показатели зональности Стадухинского района $v = AgSbPb/WMoCu$ и $v = AgSbPb/WMoAs$, а также выявлены индивидуальные показатели вертикальной геохимической зональности для оценки уровня эрозионного среза конкретных типов оруденения. Для золото-редкометального $v = AgAsTe/W^3$, золото-кварцевого $v = AuK/FePb$ и золото-серебряного $v = AgSb/ZnAs$.

Уровень эрозионного вскрытия рудно-магматической системы соответствует нижним частям эпитепирмальной зоны с перспективами выявления на глубине основных горизонтов мезотермального золото-редкометального оруденения. Дополнительным критерием для оценки степени эродированности локальных рудных систем является рост пробности золота с глубиной: от электрума в золото-серебряных жилах (600‰) к средней пробности в золото-кварцевых рудах (800‰) и высокопробному в парагенезисе с теллуридами висмута в золото-редкометальном типе (900‰).

Латеральная геохимическая зональность проявляется в выделении в пределах крупного магмаогенного поднятия: ядерной зоны (I) с крупным золоторудным месторождением Кекура и однотипными проявлениями ближнего круга, относящиеся к золото-кварцевому березитовому типу; - промежуточной зоны (II) с проявлениями золото-редкометального теллуридно-висмутового оруденения; внешней зоны (III), в которой впервые для подобных систем выявлены золото-серебряные проявления, имеющие промышленные перспективы.

Оригинальность предложенного подхода исследования вертикальной геохимической зональности оруденения основана на использовании в качестве входных данных результатов массового штучного опробования на различных гипсометрических уровнях в условиях интенсивно расчлененного рельефа.

Литература

1. Волков А. В., Сидоров А. А., Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов арктической зоны России. Арктика: экология и экономика № 3 (31), 2018.
2. Григорян С.В., Кузин М.Ф., Соловов А.П. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. // Недра, Москва, 1983. с. 191.
3. Baker, T., Pollard, P.J., Mustard, R., Mark, G., Graham, J.L., 2005. A comparison of granite-related tin, tungsten, and gold-bismuth deposits: implications for exploration. SEG Newsl. 61, 5–17.
4. Hart, C.J.R., McCoy, D., Goldfarb, R.J., Smith, M., Roberts, P., Hulstein, R., Blake, A.A., Bundtzen, T.K. Geology, exploration and discovery in the Tintina gold province, Alaska and Yukon // Soc. Econ. Geol. Spec. Publ., 2000, 9, p. 241-274.
5. Hart, C.R.J., 2005, Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems. The Gangue, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 87 (1): 4-9.
6. Демин А.Д. Отчёт «Поисковые геолого-геохимические работы с целью выявления и оценки перспективных золоторудных объектов на Стадухинской лицензионной площади» (Чукотский АО) в 2014-2015 гг., Москва, 2015 г.

ОЦЕНКА ПОДВИЖНОСТИ И БИОДОСТУПНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.С. Гришанцева, Т.Н. Лубкова, О.Р. Филатова, М.Л. Григорьева, И.Ю. Николаева

При экологических и биогеохимических исследованиях для прогноза токсического воздействия тяжелых металлов на живые организмы применяются различные лабораторные тесты. Для оценки содержания подвижных и фитодоступных форм металлов в почвах и донных отложениях рекомендуется применять экстракцию 1н ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с рН 4,8 [1]. Для оценки оральной биодоступности металлов для человека применяются лабораторные тесты, основанные на физиологических особенностях желудочно-кишечного тракта [2]. Одним из них является SBET (Simplified Bioaccessibility Extraction Test), который широко используется для оценки биодоступности тяжелых металлов из загрязненных почв [3].

Целью работы была оценка содержания подвижных (фитодоступных) и биодоступных форм тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Co, Pb, Ni, Cd) в донных отложениях Иваньковского водохранилища. Объектом исследования были донные отложения Иваньковского водохранилища (Тверская обл., р.Волга), которое является источником питьевого водоснабжения г.Москвы. Отбор проб донных осадков проводился на 8 створах: Мелково, Безбородово, водозабор КГРЭС, Корчева, в устье р.Донховка, в Мошковическом заливе у сброса сточных вод и в устье залива в июле 2022 г. Эксперимент проводили для мелкодисперсной фракции (размер частиц менее 0,1 мм) донных осадков, обладающей наибольшей проникающей способностью и доступностью для гидробионтов-фильтраторов. Экстракцию биодоступных форм металлов проводили по методике SBET 0,4 М раствором глицина, доведенным до рН=1,5 соляной кислотой, при температуре 37⁰ С. Экстракцию фитодоступных форм металлов проводили ААБ по общепринятой методике [1]. В указанных створах отбирали образцы гидробионтов – двустворчатых моллюсков вида *Dreissena polymorpha Pallas*, для которых оценивали уровень биоаккумуляции металлов в мягких тканях. Анализ содержания металлов в экстрактах и твердой фазе образцов выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) с предварительным разложением твердых образцов методом спекания. В образцах донных осадков измеряли рН и содержание органического вещества по методике Тюрина. Мягкие ткани гидробионтов разлагали в азотной кислоте и анализировали методом ИСП-МС. Контроль полноты разложения донных осадков проводили по стандартным образцам СДО-3 (известковый ил), тканей гидробионтов по MODAS 3 (ткань атлантической сельди из Северного моря). Обработка аналитических данных проводилась с применением корреляционного и факторного анализа в программе «GOLD-геохимик 2,0».

Содержание фитодоступных форм микроэлементов, извлеченных ААБ из донных отложений, составило в среднем: 4–10% для таких элементов, как Fe, Cu, Cr, Co, Ni; 15–27% для Pb и Zn, и 42 и 61% для Cd и Mn соответственно. Для большинства створов были получены сходные значения содержания подвижных форм микроэлементов в донных осадках. Исключение составляют донные осадки створов Донховка, Безбородово, Корчева, испытывающие высокую антропогенную нагрузку, для которых характерны не только высокие общие содержания микроэлементов, но и возрастание относительной доли подвижных форм металлов. Содержание биодоступных форм элементов в донных осадках Иваньковского водохранилища в среднем составило: 15-24 % для Fe, Cr, Co, Ni; 50-60% для Cu и Pb; 74-80% для Zn, Mn и Cd. Следует отметить, что для створов Донховка, Мелково, Корчева также получено возрастание содержания биодоступных форм по сравнению с незагрязненными створами. Таким образом, для большинства исследованных элементов экспериментально установлено более высокое извлечение биодоступных форм, содержание которых выше в 2-3 раза, чем фитодоступных форм в донных осадках Иваньковского водохранилища.

Изучение влияния таких свойств донных отложений как pH, содержание Сорг, содержание оксидов и гидроксидов Fe и Mn на биодоступность металлов показало, что наибольшее влияние оказывает содержание органического вещества в донных осадках. С ростом содержания Сорг повышается биодоступность Mn, Co, Pb, Cd. Для этих элементов были получены высокие, значимые, положительные коэффициенты корреляции между содержанием биодоступных форм и Сорг по результатам корреляционного анализа.

Математическая обработка данных о биоаккумуляции металлов в мягких тканях двустворчатых моллюсков-фильтраторов *Dreissena polymorpha Pallas* и данных о содержании биодоступных форм металлов в тонкодисперсной фракции донных осадков по методике SBET не показала значимой корреляции между ними. То есть, методика оценки биодоступности SBET не подходит для прогнозирования потенциальной опасности загрязненных металлами донных осадков для гидробионтов данного вида.

Работа выполнена в рамках Государственного задания МГУ темы «Экспериментальные исследования форм нахождения, адсорбции, миграции и геохимических циклов микроэлементов в гидротермальных системах и водах континентальной литосферы» (номер цитис 121071200143-2).

Литература

1. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.:ЦИНАО, 1992. 61с.

2. Седов Н.С., Максимова О.А. Обзор методов *in vitro* оценки оральной биодоступности металлов и металлоидов из загрязненных почв// Вестн. РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности, 2012, №4, с.98-104.
3. Wragg J., Cave M.R. *In vitro* Methods for the Measurement of the Oral Bioaccessibility of Selected Metals and Metalloids in Soils: A Critical Review. R&D Technical Report P5-062/TR/01: British Geological Survey. Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol, BS32 4UD, 2002. 34p.

**НОВЫЙ ПОДХОД К ЛОКАЛИЗАЦИИ И ОЦЕНКЕ РЕСУРСОВ
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУПОЛ)**

Ю.Н. Николаев, И.А. Калько, А.В. Аплеталин

Месторождение Купол (Чукотка) постепенно подходит к окончанию эксплуатации и попытки продолжить его жизнь в очередной раз ставят в число первоочередных задач локализацию объектов-аналогов. В Кайемравеевском узле на стадии разведки были известны проявления, казавшиеся перспективными, но, кроме проявления Морошка, довольно быстро отработанного, все остальные объекты оказались не кондиционными [1, 6].

По результатам съемки потоков рассеяния месторождение Купол проявляется слабо (рис. 1). Пересчет продуктивностей вторичных ореолов в ожидаемую концентрацию в потоках рассеяния по схеме идеального потока позволяет оценить ожидаемые концентрации золота в потоках рассеяния на уровне 0,04 г/т, что выше в 10 раз, чем наблюдается в северной части и ниже в 25 раз, чем в южной части.

В потоковой съемке с мокрой сепарацией месторождение Купол фиксируется в южной части высококонтрастным ореолом золота. Кроме золота в ассоциации присутствует Sb, Ag, Tl, As, Se, Te, Cu, Pb, Zn. Корреляция основных элементов в этих пробах приведена на рисунке 2а.

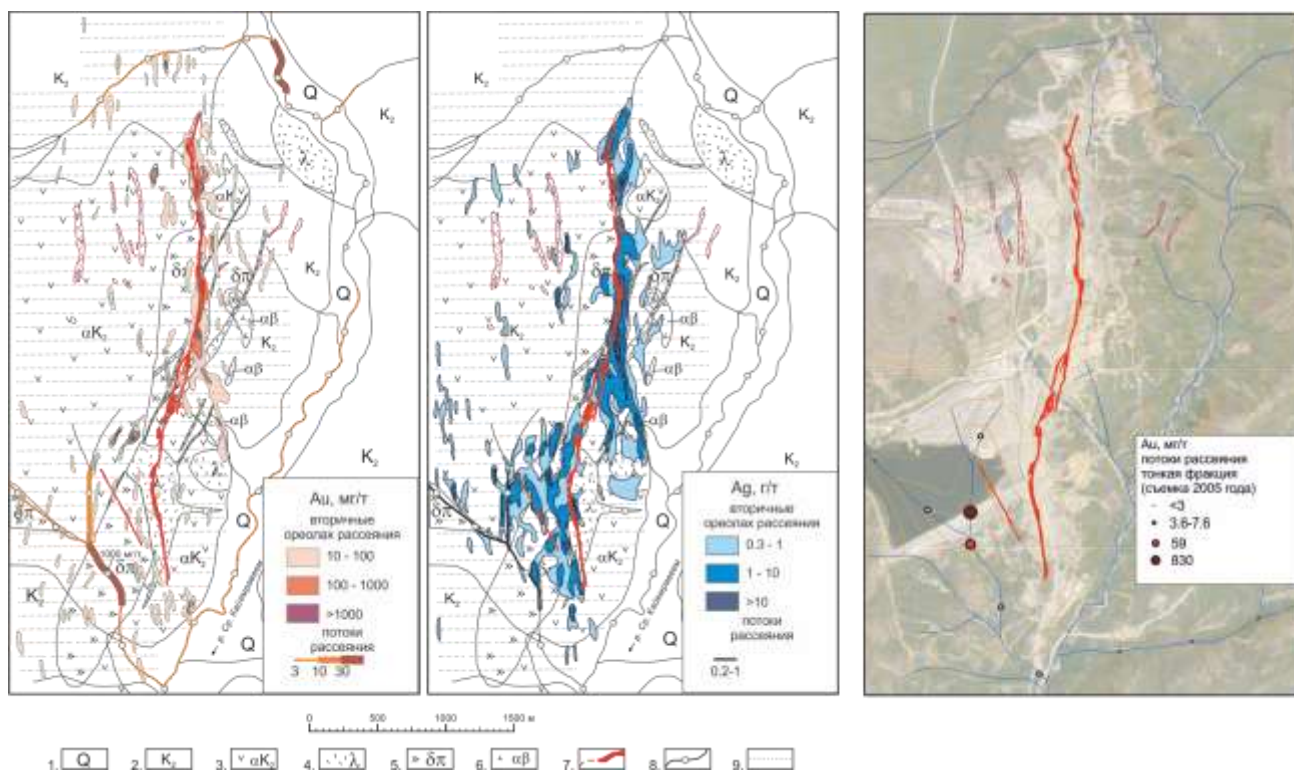


Рис. 1. Вторичные ореолы и потоки рассеяния золота и серебра на месторождении Купол [3].

Элементы Sb, Se, Te, Tl, Hg относят к верхне-рудным и надрудным, в том числе на объектах, приуроченных к интрузивным объектам [5]. Для повышения уровня сигнала от слабопроявленных объектов предлагается использовать мультипликативные показатели, усиливающие установленные геохимические связи. Большие надежды возлагают на привлечение ближнеинфракрасных спектров поглощения, получаемых как при помощи портативных приборов, так и дистанционными методами [7]. Привлечение все новых способов к поисковым работам на золото-серебряные объекты рекомендует использовать портативные приборы, для съемки спектров минеральных фаз.

Вторичные ореолы месторождения Купол были проанализированы только спектральными методами [1], что не позволяет судить о проявленности ореолов Sb, Se, Te, Tl, Hg.

В рудных пробах корреляции между элементами объединяет существенную часть рудных элементов в одну группу (рис.2б). К сожалению, в аналитических методах отсутствуют селен, теллур и таллий.

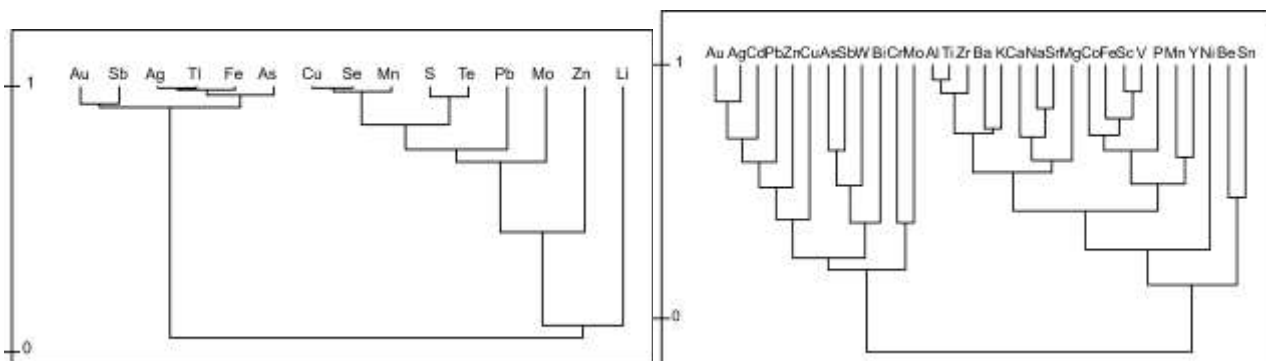


Рис. 2. Корреляции между элементами а) в донных пробах тонкой фракции ($r_{\text{крит}10\%} = 0.8$) б) в керновых пробах ($r_{\text{крит}10\%} = 0.2$)

Показатели зональности, полученные на месторождении в процессе разведке на ранней стадии [2], показали свою эффективность. В новых результатах прослеживаются те же тренды с изменениями показателей, что и ранее (рис. 4, табл.1). На северном продлении скважинами были заверены геофизические аномалии в магнитном поле.

На юго-западном фланге Купола при разведке была открыта жила, содержащая блок «Второй». Проявление Морошка, извлеченное небольшим карьером, расположено в 10 км западнее месторождения Купол, в верховье ручья Морошка. Для этих блоков были применены показатели зональности, для распределения показателей характерна «сжатостью» по классическим законам, описанным в учебнике Соловова [4].

Табл.1. Значение показателей зональности на объектах Купольского узла

Объект	AgAs/CuPb		KSr/NaCa	
	Подрудное значение	Верхнерудное значение	Подрудное значение	Верхнерудное значение
Купол	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^1$
Второй	$1 \cdot 10^{-3}$	200	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-1}$
Морошка	$1 \cdot 10^{-3}$	100	$1 \cdot 10^{-2}$	5

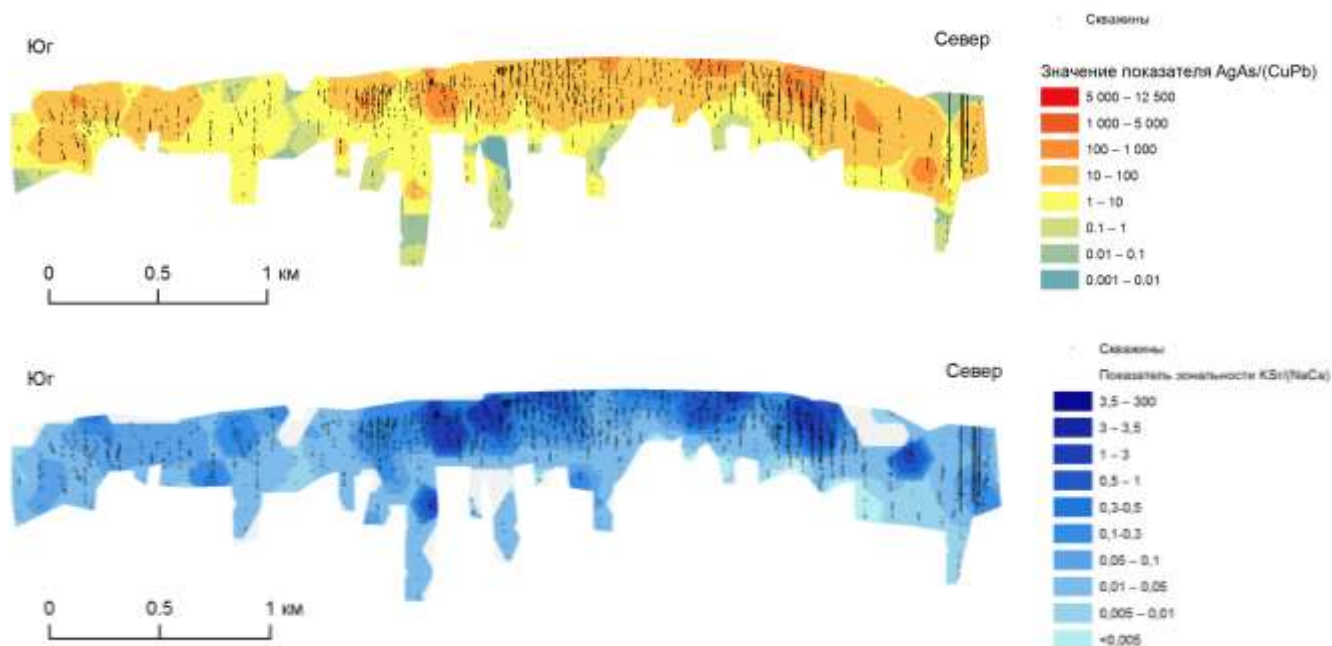


Рис. 4. Распределение показателей зональности на продольном разрезе месторождения Купол

Литература

1. Загоскин В.В., Мартенс В.В. и др. Прогнозно-поисковые работы в северной части Верхне-Яблонской металлогенической зоны. г. Билибино. 512 с.
2. Калько И.А. Геохимические критерии выявления и прогнозирования золото-серебряного оруденения в Чукотском сегменте Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // автореф. канд. дисс. 2009. 29 с.
3. Николаев Ю.Н., Калько И.А., Аплеталин А.В., Балыкова И.В., Бакшеев И.А., Власов Е.А. Детализационно-заверочные работы в составе ОГХР-200 как основной источник повышения эффективности прогнозных оценок территорий на твердые полезные ископаемые// Разведка и охрана недр. 2022. №11. С. 35-45.
4. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. – М.: Недра. 1985. 294 с.

5. Halley S., Dilles J.H., Tosdal R.M. Footprints: Hydrothermal alterations and geochemical dispersion around porphyry copper deposits// SEG Newsletter. 2015.No. 100. Pp. 11-17.
6. Thomson B., Pratt W.T., Rhys D.A., Oliver N.H., Halley S.W., Fischl P., Akinin V.V. Dotzov D. The Kupol Epithermal Au-Ag Vein District, Chukotka, Far Eastern Russia // Society of Economic Geologists, 2023, v. 118, no. 1, pp. 93-122
7. Trott ML, Sykora S., Jansen N., Pilsworth C., Leybourne M., Layton-Matthews D. Standardization of field-portable short-wave infrared processing for mineral exploration // Explore, Newsletter for the Association of Applied Geochemists. 2022. N. 196. P. 1-16