

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ
ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ СО АН СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ
И ГЕОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

II сессия

550.4+553.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ
ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

(Симпозиум. Часть II - Дискуссия)

ИРКУТСК, 1971

543

УДК 553.4:550.4:550.8

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Доктор геолого-минералогических наук

В.В.Поликарпочкин



Первая часть сборника "Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений", включающая доклад на состоявшемся в июне 1970 г в Иркутске симпозиуме по названной проблеме, была издана в виде отдельного тома до начала симпозиума*. В настоящей II части публикуются выступления участников симпозиума в дискуссии. При подготовке к печати тексты выступлений дополнены и заново отредактированы авторами.

Большинство авторов касается различных вопросов, связанных с поисками глубокозалегающих месторождений, и поэтому трудно было строго выдержать расположение статей по тематическому признаку. В начале сборника помещены статьи, в которых речь идет преимущественно о являвшейся главным предметом дискуссии зональности месторождений, их первичных ореолов и использовании зональности при поисковых и разведочных работах. Вслед за ними помещены статьи по ореолам летучих компонентов, которым на симпозиуме было уделено много внимания, а затем - работы по математическому моделированию ореолов. На симпозиуме мало обсуждался вопрос о научных основах геохимических методов поисков экзогенных месторождений, но статья А.И.Перельмана о геохимии экзогенных рудных месторождений, содержащая расширенное изложение его выступления, в определенной степени восполняет этот пробел. Публикуется также доклад А.П.Соловова и др, не вошедший в первую часть сборника.

В конце сборника помещено принятое симпозиумом решение.

Редколлегия

* Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений (Симпозиум. Часть I - Доклады). Иркутск, 1970.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

II сессия. 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ГИПАБИССАЛЬНЫМИ ИНТРУЗИЯМИ

Л.В. Таусон

Институт геохимии СО АН СССР

Детальное обсуждение научных основ геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений весьма своевременно и актуально. В настоящее время задача поисков скрытых в толщах земли рудных месторождений является одной из главных проблем современной геологии.

Рассматривая эту проблему в общем аспекте, необходимо прежде всего иметь в виду ее невероятную сложность и то, что она может быть решена только при условии творческого объединения усилий геологов, геофизиков и геохимиков. Только при комплексном подходе к ее решению, при прагматическом подходе в оценке явлений, из которых складывается сложнейший процесс эндогенного рудообразования, можно рассчитывать на достаточно быстрое и успешное решение поставленной задачи.

В конечном итоге задача поисков скрытого оруденения сводится к отысканию на земной поверхности точки, в которой должна быть пробурена буровая скважина с целью открытия скрытого рудного тела, а также определение глубины, на которой эта буровая скважина встретит искомое рудное тело.

Применительно к поискам глубокозалегающих рудных месторождений, генетически связанных с гипабиссальными интрузиями, поставленная задача должна решаться в три этапа. Первый из них должен иметь задачей нахождение района или участка на изучаемой площади,

где можно предполагать развитие послемагматических процессов, сопровождающихся рудоотложением. Это — задача отыскания рудных узлов, обычно имеющих площадь в десятки и сотни квадратных километров и заключающих несколько месторождений и десятки рудопроявлений. Она должна решаться путем последовательного исключения неперспективных территорий и сосредоточения внимания на тех геологических структурах, в пределах которых нахождение рудных узлов наиболее вероятно. Основываясь на существующих представлениях можно считать, что наиболее перспективными являются те участки зон глубинных разломов или оперяющих их структур, где в период, предшествовавший рудостложению, произошло внедрение потенциально рудоносных гипабиссальных интрузий.

Естественно, что трассирование зон глубинных разломов и оперяющих их разрывных структур может быть осуществлено прежде всего при геологических исследованиях. Однако, объективная оценка простирания этих важнейших структур земной коры и установление их мощности и морфологии должны основываться не только на общих геологических представлениях, но и подкрепляться наблюдениями геофизиков и геохимиков. Геофизические методы трассирования таких трещиноватых зон достаточно хорошо известны. В первую очередь сюда относится электропрофилирование. В последние годы начал быстро накапливаться экспериментальный материал, показывающий, что такие зоны могут хорошо фиксироваться и геохимическими методами. Это касается возможности интенсивной миграции в них подвижных элементов и прежде всего гелия и ртути. Однако, в целом необходимо указать, что исследования по геохимии зон глубинных разломов находятся еще на начальном этапе и в этом направлении предстоит еще многое сделать.

Не менее важной задачей является установление потенциальной рудоносности интрузий изверженных горных пород, с которыми могут быть связаны те или иные рудные месторождения. Обсуждение этой проблемы на симпозиуме "Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов" показало, что в последние годы в геохимии складывается новая система взглядов на этот важнейший вопрос, позволяющая достаточно объективно оценивать потенциальную рудоносность интрузий. Вместе с тем выявился круг вопросов, требующих дальнейшего решения. К ним относится прежде всего задача оценки возможностей развития рудогенерирующих процессов на поздних и послемагматических этапах развития потенциально рудоносных инт-

рузий. Очевидно, что выделение потенциально рудоносных интрузий может успешно осуществляться только при достаточно глубоком изучении геологического строения исследуемых районов и, в первую очередь, истории магматизма, включая временную последовательность формирования магматических комплексов, установление особенностей эволюции их состава и условий формирования интрузивов.

Естественно, что при этих исследованиях первостепенное значение будет иметь геохимический цикл работ, направленный на установление основных закономерностей геохимической истории редких и рудных элементов, а также летучих компонентов в процессах становления, дифференциации и кристаллизации магматических тел. В этом цикле работ весьма большое значение будут иметь геофизические исследования, направленные на установление формы, глубины залегания и морфологии кровли потенциально рудоносных интрузий. Хорошо известно, что в крупных рудных узлах материнские интрузии обнажаются своей небольшой частью. Истинные размеры и морфология кровли таких интрузий могут быть установлены только в результате специальных гравиметрических исследований. Совмещенные с геофизическими исследованиями зон разломов, обрамляющих и пересекающих интрузию, они дадут необходимые представления о подземной геометрии этих магматических тел и позволят оценить возможности и режим дегазации этих интрузий, а также масштабы и локализацию участков максимального развития послемагматических процессов.

Исследования последних лет показали, что на этом этапе работ весьма ценную информацию может дать геохимическое изучение коренных пород, залегающих над интрузивами. С одной стороны, в них фиксируется развитие своеобразного эманационного ореола интрузии, проявляющегося иногда в виде повышенных концентраций ряда элементов (Li, Cs, Be, W, Sn, F и др.) в породах, залегающих в интервале до 500-1000 м над кровлей интрузии. С другой стороны, в зонах разломов, пересекающих глубокозалегающие интрузии, могут наблюдаться линейно вытянутые участки предрудного привноса ряда рудных элементов (Mo, Cu, Pb, Zn, Hg и др.), прослеживающиеся на десятки километров. Изучение эманационного ореола некоторых гипабиссальных интрузий гранитоидов Кукульбейско-Харалгинского комплекса в Восточном Забайкалье показало, что он довольно хорошо отражает морфологию кровли и конфигурацию интрузии до глубин около 1000 метров.

Комплекс рассмотренных выше геологических, геофизических и гео-

химических исследований дает возможность выделить на большой площади наиболее перспективные участки - рудные узлы, в пределах которых должны проводиться комплексные работы второго этапа.

На второй стадии поисковых работ основной задачей является установление границ изучаемого рудного узла и главное - выявление наиболее перспективных участков в пределах его площади, которые могут рассматриваться как рудные поля месторождений.

В этом комплексе также должны найти свое место геологические, геофизические и геохимические работы. Геологические исследования, наряду с поисковыми и съемочными работами, должны включать изучение пространственного развития, характера, масштабов и стадийности постмагматических процессов, которые предшествуют или сопровождают рудообразование. Геофизические исследования должны предусматривать выявление таких аномальных участков, в пределах которых можно предполагать развитие послемагматических процессов, включая этап рудообразования. Наконец, геохимические исследования должны быть посвящены, с одной стороны, изучению потоков рассеяния и вторичных ореолов, а с другой - обнаружению первичных ореолов на уровне поверхности коренных пород. Естественно, что детальность этих работ будет определяться их результатами. Обнаружение участков с повышенными концентрациями редких и рудных элементов неизбежно потребует детализационных работ на некоторых из них. На этом этапе поисковых работ весьма важно выделить в пределах подземного контура интрузии участки скрытых куполов и кровли, где можно ожидать образование высокотемпературных рудных ассоциаций (грейзены, пегматиты, скарны и т.д.), а также тектонические зоны с повышенной проницаемостью вмещающих пород в экзоконтакте интрузий. Последние могут характеризоваться развитием гидротермальных метасоматитов, первичных ореолов и генетически связанного с ними оруденения гидротермального этапа.

Третий этап комплекса поисковых работ должен ставить своей целью отыскание конкретных рудных тел. На этом этапе геохимические методы должны получить преимущественное развитие. Их применение должно в значительной мере основываться на разумном использовании существующих представлений о том, что синрудное гидротермальное изменение вмещающих пород, образование первичных ореолов отдельных рудных тел и процесс рудоотложения должны рассматриваться как единый процесс. Знание основных закономерностей, этапности процесса и возникающей при этом зональности гидротермально изме-

ненных пород, первичных ореолов и рудных залежей — является той основой, которая позволит достаточно уверенно предсказывать место, глубину залегания и размеры глубокозалегающих рудных тел.

В последнее время показано значение надрудных зон гидротермального изменения вмещающих пород, протекающего одновременно с процессом рудообразования. Например, в случае полиметаллических месторождений, формирующихся в карбонатной среде, над рудными телами образуется "корона" кремнисто-карбонатных метасоматитов, прослеживающаяся вверх по восстанию рудных тел на расстоянии 100–150 метров. С этими надрудными участками гидротермального изменения вмещающих пород пространственно совпадают и генетически связаны надрудные первичные ореолы рассеяния рудных и редких элементов. При этом очень важно изучить поведение ряда редких элементов, например в золоторудных месторождениях эпitherмального типа, где зоны гидротермальной аргиллизации вмещающих пород, образующиеся на этапе рудоотложения, характеризуются высоким уровнем концентрации редких щелочей в гидротермальных хлоритах. Хлориты, образовавшиеся на дорудных этапах, этой особенностью не обладают.

Знание структуры и масштабов отдельных частей первичных ореолов рудных тел различного состава и генезиса, выделение их надрудных, рудных и подрудных интервалов, несомненно, позволит правильно оценить перспективность вскрытой аномалии и предсказать возможную глубину залегания рудного тела.

Естественно, что для этого необходимо проведение достаточно детальных работ по опробованию поверхности коренных пород в пределах перспективных участков, которые позволят выделить на фоне первичного ореола рудного поля аномалии конкретных рудных тел. Совмещенное с площадным изучением зон гидротермального изменения вмещающих пород, геохимическое опробование дает необходимые данные для обоснования заложения поисковых буровых скважин.

При недостаточной обнаженности опробованию коренных пород должны предшествовать поиски рудных тел по вторичным ореолам рассеяния. В случае склонов, характеризующихся открытыми ореолами, такое опробование может проводиться по обычному металлометрическому варианту. На склонах, характеризующихся закрытыми ореолами, как известно, должна применяться иная методика, основанная на изучении разрезов рыхлых отложений в нижней части склонов. Весьма важную информацию могут дать биогеохимические методы поисков. Ес-

тественно, что поиски рудных тел, прикрытых наносами, не должны исключать поисков глубокозалегающих руд, для которых единственными индикаторами могут быть первичные ореолы и надрудные зоны гидротермально измененных пород.

Сделанная попытка анализа этапности и комплексности изысканий при поисках глубокозалегающих руд, генетически связанных с гипс-абиссальными интрузиями, показывает, насколько сложен и труден этот путь. Однако, пока невозможно предложить более легкое альтернативное решение поставленной задачи. Разделение на самостоятельные этапы поисков рудных узлов, рудных полей и рудных тел облегчит формулирование поисковых задач каждого этапа и более четко определит место геологических, геофизических и геохимических методов в комплексе поисково-разведочных работ.

Рассматривая масштабы применения геохимических методов в комплексе поисково-разведочных работ, необходимо констатировать, что они пока крайне невелики и ограничены преимущественно поисками по вторичным потокам и ореолам рассеяния на широких площадях. Использование первичных ореолов и гидротермально измененных пород для целей локального прогнозирования пока весьма ограничено.

Между тем эти виды геохимических поисков сулят максимальный эффект, в том числе и экономический, особенно на всех стадиях разведки: предварительной, детальной и эксплуатационной. Разумное применение геохимических методов позволит значительно сократить объем разведочных горных работ и при систематическом геохимическом опробовании выработок четко фиксировать перспективные рудные зоны, в том числе и "слепые".

В настоящее время наиболее актуален вопрос о применении этих методов при доразведке эксплуатируемых месторождений.

Можно не сомневаться, что уже в ближайшем будущем геохимические методы займут достойное место в комплексе поисково-разведочных работ и станут важным фактором снижения их стоимости.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГИМ)

II сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

О НЕКОТОРЫХ АКТУАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ПОИСКОВ

А.Н.Боголюбов, Н.А.Ворошилов

Всесоюзный научно-исследовательский институт разведочной
геофизики

Прочитанные на симпозиуме доклады подвели основные итоги многолетнего изучения первичных ореолов рудных месторождений, позволили яснее увидеть сложность проблемы и наметить актуальные направления дальнейших исследований. Наряду с детальным изучением первичных ореолов на отдельных месторождениях или группах однотипных месторождений в последнее время выполнены работы, направленные на выявление общих закономерностей распределения элементов в первичных ореолах /8/. Значительное развитие получили вопросы теории первичных ореолов на основе физико-математического моделирования процесса рудоотложения и пространственного распределения элементов /I, 7, IO, II/.

Обобщенный ряд вертикальной зональности в распределении рудных элементов, выведенный на громадном фактическом материале и включающий значительную группу рудных элементов /8/, имеет большое научное и практическое значение. Имеющиеся в нашем распоряжении данные по нескольким полиметаллическим и редкометальным месторождениям вполне укладываются в этот ряд.

Нам представляется, что для выявления главных причин вертикальной геохимической зональности рудных тел и их первичных ореолов нужно вновь обратиться к энергетическим идеям А.Е.Ферсмана, рассматривающего рудное тело и вмещающие его породы как термодинамическую систему, которая в соответствии с основными законами тер -

модинамики стремится к наиболее устойчивому состоянию, то есть к минимуму свободной энергии. Зональное строение рудных тел и ореолов можно рассматривать как отражение процесса прохождения природных термодинамических систем через определенные энергетические ступени.

В настоящее время при исследовании химических реакций, химических технологических процессов широко применяются термодинамические функции, в частности изобарно-изотермические потенциалы ($-\Delta Z$). В работах П.Ф.Андреева, И.И.Гинзбурга, Ф.А.Летникова сделаны первые шаги в использовании изобарно-изотермических потенциалов при изучении природных процессов.

Нами были рассчитаны удельные стандартные изобарно-изотермические потенциалы для простых природных сульфидов и окислов и составлены энергетические колонки /4/. Было показано, что энергетические ряды в целом соответствуют зональному распределению рудных минералов в рудных телах и их первичных ореолах. Характерная для многих месторождений приуроченность сульфидов к верхним частям рудных тел и ореолов, а окислов к - нижним находит объяснение с энергетической точки зрения. Величины $-\Delta Z^{\circ}$ для простых природных окислов по абсолютной величине значительно больше, чем для сульфидов. Смена окисных соединений сульфидными объясняется тенденцией эндогенных процессов развиваться в сторону понижения абсолютных значений $-\Delta Z^{\circ}$. Среди сульфидов наиболее низкое место в энергетических рядах занимает молибденит, за ним снизу вверх следует сфалерит, галенит. Наиболее высокие места занимают сульфиды серебра, сурьмы, ртути, таллия, а также сульфосоли халькофильных элементов.

Элементы, которые в эндогенных рудах представлены обычно одним минералом (свинец - галенитом, цинк-сфалеритом, молибден - молибденитом), имеют устойчивое положение в энергетическом ряду так же, как и в обобщенном ряду зональности. Напротив, элементы, присутствующие в эндогенных рудах и ореолах в нескольких минеральных формах, значительно различающихся по энергетическим показателям (мышьяк, медь, железо, олово), имеют более сложное распределение в вертикальном разрезе рудных зон. Участки максимальных содержаний таких элементов в рудах и ореолах соответствуют местам преимущественного развития определенного минерала. В зависимости от минеральной формы нахождения элемента может весьма значительно изменяться его положение в ряду зональнос-

ти.

Поэтому вероятно, что геохимическая зональность распределения элементов является следствием зонального распределения минералов. Постоянство последовательности в отложении минералов по восстанию рудных тел, наблюдаемое на месторождениях, различных по генетическим, возрастным и геолого-структурным условиям формирования, представляется нам свидетельством того, что именно энергетический фактор в проявлении зональности является определяющим. Вполне очевидно, что направленное движение рудоносных растворов обуславливается прежде всего наличием градиентов термодинамических параметров (в частности, градиента давления). Закономерная смена минеральных образований в направлении движения рудоносных растворов, вероятно, отражает направленную смену термодинамических условий.

Как показали Н.З.Евзикова и Г.В.Ицксон /6/, направленная смена термодинамических условий находит отражение также в явлении уплотнения - разуплотнения структуры последовательно кристаллизующихся минералов. Между значениями ΔZ минералов и величиной показателя их структурной плотности ω существует корреляция. Поскольку расчеты величины ω просты и не имеют тех ограничений, с которыми пока связано получение значений ΔZ природных соединений, желательно установить функциональное соотношение между этими величинами. Другие факторы, такие как скорость движения растворов, литологический состав вмещающих пород, их пористость, структура тектонических зон, а также изменение этих факторов во времени и пространстве, могут существенно влиять на зональность в направлении движения рудоносных растворов, но, как свидетельствуют эмпирические данные, они обычно не в состоянии коренным образом изменить последовательность отложения минералов. Поэтому вопросы исследования энергетики процессов минералообразования представляются весьма важными. В частности, интересно теоретическое (термодинамическое) моделирование природных процессов. Важно также провести экспериментальное исследование процесса минералообразования в слабопроницаемых для растворов средах, которое позволило бы изучить процесс отложения минералов при наличии градиентов давления и температур.

Обмен опытом применения геохимических методов при поисках скрытого оруденения требует особого внимания. В этом отношении весьма поучителен опыт работы Геохимической экспедиции Управления геоло-

гии при Совете Министров Таджикской ССР, проводившейся под методическим руководством ИМГРЭ /5/. К сожалению, подобных работ пока мало.

Наиболее значительную практическую отдачу от применения геохимических методов можно ожидать при широком использовании знаний о закономерностях развития первичных ореолов и их зональности для оценки литохимических аномалий, обнаруженных при опосковании больших территорий. В некоторых геологических управлениях количество выявленных аномалий, не получивших определенной оценки, достигает нескольких сотен и тысяч. Наибольшее количество аномалий выявляется при литохимических поисках по ореолам и потокам рассеяния, проводимых в средних масштабах (главным образом 1:50 000), так как геохимические поиски в этом масштабе применяются очень широко. Для оценки геохимических аномалий, выявляемых при среднemasштабных поисках, необходимо иметь критерии, устойчивые не только для месторождений, но и для целых регионов и рудных провинций. В связи с этой задачей весьма важным представляется выбор оптимальных, устойчивых показателей вертикальной зональности, принцип которого изложен в докладе А.П.Соловова, А.В.Гаранина и других.

Успешное использование оценочных критериев в практике невозможно без выяснения количественных связей в цепи: рудное тело с его первичным ореолом – зона окисления – вторичный ореол – поток рассеяния. Геохимическая лаборатория ВИГ проводит исследования с целью установления таких связей в различных геологических и ландшафтных условиях.

В горных районах Средней Азии и Казахстана связь между продуктивностями рудных тел с их первичными ореолами, вторичных ореолов и потоков рассеяния достаточно изучена для многих рудных элементов и, благодаря преобладанию механического рассеяния, описывается простыми формулами /2,3,12/. В этих условиях по вторичным ореолам и даже по потокам рассеяния можно с высокой достоверностью оценивать основные геохимические параметры рудных тел и их первичных ореолов (продуктивности и их соотношения) на уровне эрозийного среза.

В условиях таежных районов Восточной Сибири и Дальнего Востока решение этого вопроса значительно сложнее /9/. Требуется еще большая работа по изучению условий и закономерностей механической и химической миграции рудных элементов в процессе окисления.

и денудации месторождений. Следует отметить, что вопрос о влиянии зоны окисления на соотношения элементов в ореолах и на корреляционные связи между элементами как в коренных породах, так и в рыхлых отложениях не нашел отражения в докладах симпозиума. По моему мнению, этот вопрос заслуживает пристального внимания.

В связи с отсутствием экспрессных методов высокочувствительного фазового анализа на многие рудные элементы пока весьма слабо изучен вопрос о формах нахождения элементов в ореолах и потоках рассеяния. В будущем необходимо продолжать исследования с целью разработки экспрессных методов фазового анализа на широкий круг элементов.

Литература

1. Барсуков В.Л. и др. Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Ч. I. Иркутск, 1970.
2. Боголюбов А.Н., Ворошилов Н.А. О количественной зависимости между параметрами первичных и вторичных ореолов рассеяния сульфидных месторождений. - В кн.: Первичные ореолы и их использование при поисках и разведке рудных месторождений. Материалы третьей Ленинград. геохим. конф. Л., 1969.
3. Боголюбов А.Н. О количественной связи ореолов и механических потоков рассеяния в горных районах. Литохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния. - Материалы к I тематической сессии Межвед. Совета по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых". Алма-Ата, 1968.
4. Ворошилов Н.А. Об использовании термодинамических закономерностей для объяснения зональности оруденения. - В кн.: Методика и техника разведки, № 64, Л.ОИТИ ВИТР, 1969.
5. Григорян С.В., Беспалов Н.И., Зубов М.А., Лукова А.В., Станисян Р.Г., Федотова Г.Ф. Опыт поисков эндогенного оруденения по первичным ореолам в Рудном Кармазаре. - В кн.: Научные основы геохим. методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Ч. I. Иркутск, 1970.
6. Евзикова Н.З., Идриксон Г.В. Структурная плотность кристаллической решетки минералов как показатель условий их образова-

- ния. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. Т. 98, вып. 2, 1969.
7. Квятковский Е.М., Путиков О.Ф. Использование вторичных геохимических ореолов при поисках погребенных месторождений. - В кн.: Научные основы геохим. методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Ч. I. Иркутск, 1970.
 8. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. Там же.
 9. Поликарпочкин В.В. Потоки рассеяния месторождений полезных ископаемых. Автореф. докт. дисс. Л., 1969.
 10. Поликарпочкин В.В., Таусон Л.В., Дубов Р.И., Китаев Н.А., Пампура В.Д., Санин Б.П., Трошин Ю.П. Зональность гидротермальных месторождений как основа поисков глубокозалегающих рудных тел. - В кн.: Научные основы геохим. методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Ч. I. Иркутск, 1970.
 11. Сафронов Н.И., Лап М.А., Мещеряков С.С. - В кн.: Научные основы поисков глубокозалегающих месторождений. В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Ч. I. Иркутск, 1970.
 12. Соловев А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, Изд-во АН Каз. ССР, 1959.

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭРОЗИОННОГО
СРЕЗА ЭНДОГЕННЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЗАПАДНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Г.С.Ряш, В.Ф.Белоголовов, А.С.Пак

Бурятское геологическое управление

Истощение фонда легкооткрываемых месторождений поставило на повестку дня и сделало актуальным вопрос поисков скрытого оруденения. В настоящее время, когда практически вся площадь Западного Забайкалья покрыта мелко- и среднemasштабными геологическими и металлометрическими съемками и выявлены тысячи рудопроявлений и геохимических аномалий, первоочередной задачей ставится их разбраковка на перспективные и не имеющие практической ценности. Необходимо оценить известные аномалии и рудопроявления на глубину, определить уровень их эрозионного среза.

Сходство ряда геохимических и минералогических признаков большой группы эндогенных месторождений существенно снижает эффективность имеющихся методов оценки аномалий и рудопроявлений.

Ниже приводятся данные о минерало-геохимической зональности серноколчеданных, колчеданно-полиметаллических, полиметаллических, железорудных и редкометальных месторождений Западного Забайкалья. Изучением геологического строения, вещественного состава руд, околорудных изменений вмещающих пород занимались на редкометальных месторождениях И.П.Кушнарев, М.М.Повилайтис, В.И.Игнатович, Д.О.Онтоев, Г.И.Туговик, А.И.Гинзбург, В.И.Гальченко, Н.П.Заболотная, М.И.Новикова; на колчеданно-полиметаллических - А.С.Филько, Р.С.Тарасова, И.Н.Бабкин, А.А.Малаев, Е.П.Мионов, И.В.Крейтер; на серноколчеданных - Ю.В.Плотников; на полиметалличес-

ких - В.Л.Каницкий, М.М.Вампилов; на железорудных - Д.В.Ветров, А.М.Горлов, И.В.Коновалов, Г.С.Румянцев и др.

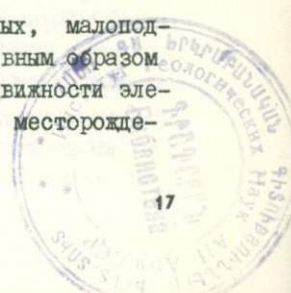
К полиметаллическим в нашем районе относятся свинцовые и свинцово-цинковые месторождения, залегающие среди карбонатных пород нижнего кембрия (Доватка, Худак, Нахой-Дошо и др.). Рудные тела неправильной жило- и линзобразной формы приурочены к зонам тектонических нарушений. Они сложены галенитом и сфалеритом с небольшими количествами блеклой руды, кварца, актинолита и сформированы в результате гидротермального метасоматического замещения известняков. Возраст оруденения предположительно нижнепалеозойский. Генетические связи с какими-либо интрузивными или эффузивными образованиями не установлены.

В рудах присутствуют Mn, Pb, Zn, Cd, Ag, Sb, As, Sn, In и ряд других элементов. Большинство из них отмечено также в первичных ореолах. В целом для ореолов характерны высокие дисперсии содержаний элементов и низкие коэффициенты минерализации*. Во внутренней зоне** обнаруживаются Pb, Zn, Ag, Cd, In, Sn, Si, Nd, As, Sb. В промежуточной зоне исчезают Cd, In, Na и несколько повышаются концентрации мышьяка и сурьмы. Во внешней зоне отмечаются только ореолы окремнения. Для подрудных ореолов характерно уменьшение их продуктивности и размеров. As и Sb в них отсутствуют или представлены редкими аномальными точками.

В рудных телах с уменьшением глубины среза увеличиваются относительные количества свинца, мышьяка, меди, сурьмы. Минералогическая зональность в околорудноизмененных породах проявляется в том, что во внешней зоне развиты прожилковая карбонатизация и окварцевание, а по мере приближения к рудным телам возрастает интенсивность окварцевания, появляются амфиболизация (актинолитиза-

* Согласно /1/, под коэффициентом минерализации понимается частота того интервала ранжированного статистического ряда, характеризующего геохимическую аномалию или ореол, в котором расположены аномальные концентрации.

** Выделение зон проведено с учетом состава главных, малоподвижных и летучих элементов. Размеры их зависят главным образом от способа образования рудных тел и ореолов, подвижности элементов и геолого-структурной обстановки на месторождениях.



ция), слабая пиритизация, участками незначительное скарнирование.

Колчеданно-полиметаллические месторождения известны на территории Западного Забайкалья в Еравнинском рудном районе (Озерное, Ульдзутуй-1, Ульдзутуй-2). Они залегают среди осадочно-вулканогенных пород нижнекембрийского возраста (туфы, туффиты, кислые и основные эффузивы, известняки, карбонатные брекчии). Рудные тела пласто- и линзообразной формы, согласные с вмещающими породами, сложены преимущественно пиритом с переменными количествами сфалерита, галенита, пирротина, карбонатов, кварца, барита. В аксессуарных количествах в них присутствуют олеклые руды, магнетит, арсенопирит, халькопирит. Возраст оруденения нижнепалеозойский, генезис, по мнению одних исследователей, гидротермальный, других - вулканогенноосадочный.

Рудные тела сопровождаются контрастными первичными ореолами элементов, в строении которых отмечаются следующие особенности: во внутренней зоне распространены Zn, Pb, Ba, Ag, Tl, As, Cd. В промежуточной зоне исчезают Cd, Ag, Tl и появляется Cu. Нередко здесь увеличивается интенсивность ореола мышьяка. Внешние зоны ореолов представлены медью и барием или одним барием.

В отличие от верхних частей рудных тел в подрудных пересечениях максимально контрастны отрицательные ореолы Ti, V, Zr, отмечается резкое уменьшение размеров и продуктивности ореолов Zn, Pb, Ag, Tl и особенно Ba. Здесь в ореолах совершенно отсутствуют Cd, As. В рудных телах с глубиной уменьшается количество Ba, Zn, Pb, Ag, Cd, Tl, As, а отношение Pb/Zn понижается от 1:4 до 1:12; увеличивается количество пирротина.

Отмеченная асимметрия в распределении элементов подтверждается и изменением состава и содержания элементов-примесей в минералах разных зон. Корреляционные связи между содержаниями элементов закономерно усиливаются снизу вверх.

Серноколчеданные месторождения залегают среди осадочных и вулканогенно-осадочных пород нижнего палеозоя (месторождения Зангода, Урса-Нур). Рудные тела линзо- и жиллообразной формы приурочены к зонам тектонических нарушений в карбонатных и карбонатсодержащих породах. Руды массивной, слабовыраженной полосчатой и густовкрапленной текстур сложены пиритом с переменными количествами кварца, актинолита, карбонатов. Из рудных минералов в небольших количествах присутствуют халькопирит,

сфалерит, галенит, станнин, висмутин, арсенопирит, кобальтин, линнеит. Месторождения сформированы из гидротермальных растворов и имеют предположительно нижнепалеозойский возраст.

Вокруг рудных тел отчетливые ореолы образуют Cu, Co, As, Sn, Zn, Pb, Bi, Mo. Продуктивность и размеры ореолов по нормали к рудным телам обычно невелики, но в участках выклинивания рудных тел более значительны и фиксируются на расстоянии до 100 и более метров. Во внутренней зоне ореола присутствуют Co, Cu, Sn, Zn, Pb, As, Mo, Bi. В промежуточной зоне исчезают Mo, Bi, а Pb и Zn представлены единичными аномальными точками. Внешняя зона характеризуется ореолами меди. Одновременно с изменением состава ореолов отмечается закономерная смена метасоматических преобразований во вмещающих породах. Вблизи рудных тел, особенно со стороны висячего бока, распространено преимущественно окварцевание, которое по мере удаления от рудного тела постепенно сменяется актинолитизацией. Еще далее расположена зона переотложенных карбонатов.

В рудных телах с глубиной увеличивается количество кварца, а количество актинолита уменьшается. В пиритах закономерно изменяется содержание элементов-примесей; в частности, уменьшается содержание мышьяка, увеличивается - кобальта.

Железорудные месторождения и рудопроявления в настоящее время в Западном Забайкалье исчисляются несколькими десятками. Месторождения залегают в различной степени метаморфизованных осадочных и осадочно-вулканогенных отложениях протерозоя, нижнего палеозоя. Рудные тела линзовидной, пласто- и столбообразной формы сложены магнетитом, гранатом, пироксенами, амфиболами, кварцем, карбонатами. Характерной особенностью руд является обогащенность их сульфидной и, в частности, полиметаллической минерализацией (пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит). Она сформирована после железорудной и нередко пространственно разобщена с ней. В связи с этим первичные ореолы часто не совпадают с контурами рудных тел. Размеры ореолов в целом невелики, но на продолжении рудных тел по восстанию прослеживаются нередко до первых сотен метров. Во внутренней зоне ореола присутствуют Cu, Zn, Mn и редкие аномальные точки Pb, Co. Во внешней зоне ореолы образованы преимущественно медью.

Со стороны висячего бока рудных тел отмечается сравнительно четкая зональность в изменении вмещающих пород. Неизмененные по-

роды сменяются зоной пиритизированных, хлоритизированных, затем амфиболитизированных и скарнированных их разностей и, наконец, массивными скарнами. Масштабы метасоматических изменений пород в общем случае не зависят от размеров конкретных рудных тел. Пириты из этих зон обычно кобальтоносны.

Вольфрамовые месторождения на территории Западного Забайкалья представлены кварц-сульфидно-гюбнеритовыми, кварц-вольфрамитовыми, кварц-шеелитовыми и редкометалльно-гюбнеритовыми минеральными типами. Месторождения приурочены к кварцевым жилам, штокверковым зонам и в большинстве случаев датируются мезозоем. Рудные тела залегают среди гранитов, диоритов, кристаллических сланцев, в редких случаях среди известняков.

Кварц-сульфидно-гюбнеритовые рудные тела содержат в переменных количествах гюбнерит, галенит, сфалерит, пирит, флюорит, серицит, блеклые руды и окружены ореолами W, F, Rb, Cs,

Pb, Zn, Cu, Sb, As. Наиболее интенсивны и протяженны ореолы на продолжении рудных тел и рудовмещающих структур (до нескольких сотен метров). Внутренняя зона ореолов по элементному набору отвечает составу рудных тел. Во внешней зоне распространены главным образом Pb, Zn, Cu, иногда F. В промежуточной зоне отмечаются максимальные концентрации F, Rb, Cs.

Этим участкам соответствуют флюорит-слоистые метасоматиты. В рудных телах с глубиной в целом уменьшается количество сульфидов, повышается относительное количество полевого шпата, к верхним горизонтам уменьшается количество халькопирита, увеличивается — блеклой руды, серицита. Минералы из глубоких горизонтов, как правило, более обогащены элементами-примесями (в галенитах увеличивается содержание Bi, Te, Tl). С другой стороны, летучие элементы (Rb, Cs) содержатся в повышенных концентрациях в минералах верхних частей минерализованных зон.

Кварц-шеелитовые рудные тела (месторождения Скалистое, Казачья Поляна) сопровождаются ореолами W, Zn, Pb, Cu, Ag, Sb, As, F. Ореолы, как правило, небольшие по размеру и продуктивности. Как и для большинства других жильных месторождений, более протяженны ореолы в участках выклинивания рудных тел. Во внешней зоне ореола фиксируются в основном Sb, As, Cu. Ближе к рудному телу появляются Zn, Pb, Ag и, наконец, W.

В рудных телах в направлении от глубоких горизонтов к верхним происходит смена халькопирита олеклой рудой, уменьшается ко-

личество актинолита, появляется в несколько повышенных содержаниях флюорит.

В редкометально-гюбнеритовых месторождениях оруденение локализовано в диоритах, монцонитах, гранитах, метаморфических сланцах в виде штокверковых зон и участков. В прожилках присутствуют кварц, флюорит, серицит, полевой шпат, гюбнерит, пирит, шеелит, сфалерит, галенит, сульфосоли висмута, халькопирит. Емещающие породы в различной степени флюоритизированы, пиритизированы, серицитизированы. В них развиты широкие ореолы большой группы элементов: во внутренней зоне — W, Rb, Cs, Sn, Mo, Bi, Cu; в промежуточной — исчезают W, Bi, Mo, но в более высоких концентрациях присутствуют Pb, Zn. Во внешней зоне распространен преимущественно F, реже Pb, Zn. Наиболее протяженны и контрастны ореолы на продолжении рудных тел и рудовмещающих структур.

Флюорит-фенакитовые месторождения залегают в карбонатных породах, в пачках переслаивания карбонатных и песчано-сланцевых пород, на контактах известняков с гранитами. Рудные тела сформировались в результате гидротермального метасоматического замещения преимущественно известняков и карбонатной составляющей пород и представлены линзообразными телами и минерализованными зонами. Они сложены флюоритом, с подчиненными количествами фенакита, полевых шпатов, карбоната. Постоянно, но в небольших количествах присутствуют пирит, сфалерит, галенит. Вокруг рудных тел установлены ореолы F, Rb, Cs, Sn, Mo, Zn, Pb, Ag. Эта ассоциация соответствует элементному составу рудных тел. Перечисленный комплекс элементов полностью фиксируется во внутренней зоне ореолов. Внешняя зона ореолов представлена практически одним фтором. В промежуточной зоне, кроме него, отмечаются малоконтрастные ореолы Zn, Pb, Y, иногда редких щелочей (Rb, Cs).

В подрудной части продуктивность ореолов падает. Особенно уменьшается количество летучих (Rb, Cs, Li) и халькофильных (Pb, Zn) элементов. Показательны в этих случаях расчеты отношений сопутствующих элементов к бериллию. Минералогическая зональность в рудных телах менее четкая.

Исследования показали, что на всех изученных месторождениях существует четкая вертикальная зональность в распределении элементов и минеральных ассоциаций. Зональность подчеркивается изменением качественного состава руд и ореолов, а также величин отношений элементов-индикаторов к главным компонентам, силы корреляционной связи в парах элементов и содержаний элементов-примесей в сквозных минералах. Многообразие форм проявления элементов в рудах и ореолах (различные по составу собственные минералы и изоморфные примеси) сказывается на их относительной подвижности и, в конечном счете, предопределяет своеобразие зональности.

На метасоматических месторождениях рудные тела окружены небольшими, но хорошо дифференцированными первичными ореолами, размеры которых функционально связаны с размерами рудных тел. В случаях, когда оруденение контролируется только структурными факторами, размеры первичных ореолов, их элементный состав на различных уровнях среза варьируют в широких пределах, закономерности строения их в пределах рудной зоны устанавливаются с трудом и зависимости размеров ореолов от размеров рудных тел обычно нет.

Общей геохимической особенностью изученных типов месторождений является отсутствие сколько-нибудь значительных концентраций ртути и бора в рудах и ореолах. Относительно аналогичных типов оруденения других районов СССР в описанных рудах и ореолах содержания мышьяка и сурьмы ниже. Все месторождения, содержащие редкие элементы (Mo, W), обогащены фтором, рубидием, цезием. Постоянно, но в небольших количествах, фтор присутствует и в других типах месторождений.

Зональность распределения одних и тех же элементов в первичных ореолах для различных типов месторождений неодинакова. В общем виде положение отдельных групп элементов совпадает с рядом подвижности, построенным Л.Н. Овчинниковым и С.В. Григоряном. Вместе с тем, геохимическая специфика месторождений Западного Забайкалья, многообразие форм нахождения элементов в ореолах и рудных телах (например, олово в рудах может находиться в составе касситерита и станнина, в ореолах - в слюдах и полевых шпатах и т.п.) усложняют зональность. Для территории Западного Забайкалья ряд зональности необходимо дополнить фтором, редкими щелочами (Rb, Cs). Не вполне определено положение в ряду В, Hg, As, Sb. Отдельные элементы (Sn, Cu, Bi) фиксируют-

ся в разных частях первичных ореолов.

Л и т е р а т у р а

- I. Гинзбург Н.И. и др. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. М., "Недра", 1966.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГИМ)

II сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

ЗОНАЛЬНОСТЬ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

И.Р.Заворотных, Р.А.Баумштейн, В.А.Напартэ, Н.Г.Григорьев,
В.И.Сизых, Р.Н.Волосиков, Ф.Н.Алексеев, А.Р.Корнева

Читинское геологическое управление

В Восточном Забайкалье первичные ореолы изучались на ряде месторождений: Покровском (Приаргунском) полиметаллическом, Козловском и Дарасунском золоторудных, Серебрянском олово-висмутовом и Бом-Горхонском вольфрамовом. Покровское и Серебрянское месторождения располагаются в пределах выделенного С.С. Смирновым полиметаллического рудного пояса, первое - в его центральной части, второе - в северо-восточной; Козловское - на площади Кутомарского батолита по периферии полиметаллического пояса, Дарасунское - в золото-молибденовом поясе, Бом-Горхонское - в Джида-Хилок-Нерчинской зоне вольфрам-золото-молибденового пояса.

При изучении ореолов горные выработки и буровые скважины опробовались точечным способом по интервалам 1-5 м. Пробы весом 100-200 г после соответствующей обработки (дробление, истирание до 0,07 мм) подвергались полуколичественному спектральному анализу на 10-16 элементов-индикаторов, которые устанавливались для каждого месторождения после проведения полного спектрального анализа. Обработка результатов анализов заключалась в расчете ряда параметров, построении первичных ореолов на геологических разрезах, определении их продуктивностей. Затем по характеру вертикальной зональности определялись надрудные и подрудные ореолы элементов и делались выводы о перспективности вскрытого орудене-

ния (устанавливалась глубина эрозионного среза или положение пересекающих месторождение выработок в его верхней, средней или нижней частях) и необходимости проведения дальнейших работ.

Покровское (Приаргунское) полиметаллическое месторождение. Площадь месторождения сложена нижнепалеозойскими известняками и сланцами алтачинской свиты, ниже-среднеюрскими конгломерато-песчаниками и сланцами калганской свиты и нижнемеловыми фангломератами. Рудовмещающими породами в северной части месторождения являются известняки, а в южной - конгломерато-песчаники. Простираение известняков восточно-северо-восточное (75°), падение северо-западное под углом $60-70^{\circ}$, простираение конгломерато-песчаников также северо-восточное ($45-50^{\circ}$), падение крутое ($75-85^{\circ}$) на северо-запад или юго-восток. Наиболее крупные рудные тела Главное и № 4, расположены в узкой (в среднем $50-70$ м) полосе развития секущих нарушений север-северо-западного ($340-350^{\circ}$) направления. Рудное тело № 4 локализовано в северной части этой полосы, где оно залегает в нижнепалеозойских известняках, Главное рудное тело - в южной части, где нарушения пересекают юрские конгломерато-песчаники. Рудное тело № 4 прослежено по простираению на 140 м, а по падению - на 250 м (не до выклинивания). Мощность его в среднем около 5 м. Главное рудное тело прослежено по простираению на 300 м, по падению - на $170-190$ м. Рудные тела представляют собой жиллоподобные залежи с гнездообразным прожилково-вкрапленным оруденением и отдельными участками сплошных массивных сульфидных руд. Зона окисления прослеживается до глубины $40-50$ м в карбонатных и $20-30$ м в силикатных породах.

Главными рудными минералами первичных руд месторождения являются сфалерит, галенит, пирит, арсенопирит, второстепенными - пирит по пирротину, пирротин, мельниковит, марказит, магнетит, гематит. В виде примесей присутствуют халькопирит, блеклая руда, буланжерит, бурнонит, леллингит, ильменит, станнин, киноварь, висмутин, касситерит, энаргит. Минералообразование происходило в несколько стадий, главные из которых галенит-сфалеритовая и арсенопиритовая.

Элементами-индикаторами полиметаллического оруденения, образующими первичные ореолы, являются сурьма, свинец, цинк, медь, олово, мышьяк, марганец. Ширина ореолов свинца, цинка, мышьяка превышает мощность рудных тел, как правило, не менее чем в не-

сколько раз, а на участках сильной тектонической нарушенности - в десятки раз; мощность ореолов доходит до 35 м. Ореолы развиты в околорудном и надрудном пространствах. Содержание указанных элементов в них достигает десятых долей процента. Ниже выклинивания рудных тел первичные ореолы всех элементов, кроме мышьяка, постепенно затухают. Это может быть использовано при прогнозах оруденения на глубину.

Козловское золоторудное место - рождение относится к золото-арсенопирит-галенит-сульфосольному типу золото-сульфидной формации. Месторождение приурочено к трещинной зоне субширотного простираения в гранитоидах Кутмарской интрузии карбонового возраста. Золото-полиметаллические рудные тела локализуются в нескольких почти параллельных разрывных структурах мощностью до 100 м и протяженностью до 1500 м. Мощность рудных тел достигает 1,5 м, длина их до 300 м. Падение рудных тел в основном на юг под углами 65-85°. Руды сложены гидротермально измененными (березитизированными) гранитоидами, иногда - хлоритизированными и карбонатизированными лампрофирами, несущими прожилки, неравномерную вкрапленность и гнезда сульфидов. За пределами рудных тел вмещающие оруденение порфиroidные биотитовые граниты и гранодиориты также подверглись березитизации, хлоритизации, карбонатизации и пиритизации. Главными рудными минералами являются арсенопирит, пирит, галенит, золото, второстепенными - сульфoантимониты свинца, халькопирит, сфалерит, блеклая руда, редкими - пираргирит, аргентит, самородное серебро.

В первичных ореолах рудных тел обнаруживаются сурьма, серебро, свинец, цинк, медь, молибден, мышьяк. На верхних горизонтах устанавливается следующий ряд горизонтальной зональности (от внешних зон ореола к внутренним): свинец-медь-мышьяк-сурьма-цинк - тогда как на нижних горизонтах расположение элементов в ряду иное: цинк-свинец-медь-мышьяк. Интервалы с промышленными содержаниями золота сопровождаются обычно узкими ореолами серебра.

Дарасунское золоторудное место рождение представлено сульфидными, кварц-сульфидными, сульфидно-сульфосолевыми и кварц-турмалин-сульфидными жилами, залегающими в изверженных породах повышенной основности (габбро, габбро-диоритах, амфиболитах и др.), имеющими небольшую мощность и крутое падение. Главными рудными минералами являются пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, бурнонит и золото.

Месторождение вскрыто горными выработками на многих горизонтах, что позволило провести изучение рудных жил и их ореолов на значительную глубину.

В результате исследований выявлены комплекс элементов-индикаторов продуктивного золотого оруденения и тенденции к их накоплению на определенных гипсометрических уровнях. Так, на верхних уровнях накапливается серебро, свинец, цинк, мышьяк; ниже концентрируются в основном медь, висмут, редкие земли. Установлено, что вертикальная зональность первичных ореолов имеет циклический характер, отвечающий повторяющимся по падению интервалам продуктивного оруденения — рудным столбам. Показателем выклинивания рудных столбов является появление в околожильной зоне турмалина. Геохимические критерии оценки глубины эрозионного уровня относятся не к рудным телам в целом, а к отдельным рудным участкам повышенной продуктивности. Установленные критерии позволяют надежно отличать верхние части рудных столбов от их корневых частей.

Выяснено, что за пределами первичных ореолов во вмещающих породах устанавливаются протяженные отрицательные аномалии, содержание рудных элементов в которых находится на уровне кларковых и ниже кларковых.

С учетом разработанных критериев вертикальной зональности первичных ореолов представилось возможным положительно оценить перспективы нескольких рудопроявлений района, представленных с поверхности слабозолотоносными рудными телами.

Серебрянское олово-висмутовое месторождение. Рудовмещающие породы представлены гнейсами протерозойского возраста, слагающими на площади месторождения юго-восточное крыло куполовидной структуры. Здесь широко развиты разноориентированные тектонические нарушения. Рудные тела, локализованные преимущественно в пределах тектонической зоны северо-западного простирания, представляют собой сложные штокверки и линзы. Мощность их колеблется от I до 20 м, протяженность достигает 150 м. Главными минералами являются висмутин и касситерит. Но часто в небольших количествах встречаются арсенопирит и пирит. Нерудные минералы представлены турмалином и кварцем. Околорудные изменения вмещающих пород выразились в их окварцевании, турмалинизации, каолинизации и карбонатизации. Элементами-индикаторами оруденения, присутствующими в ореолах, являются свинец, цинк, висмут, молибден, олово, мышьяк, вольфрам, в меньшей

мере сурьма, серебро, медь. Размеры ореолов свинца, цинка, олова, мышьяка, вольфрама превышают мощность рудных тел в десятки раз, а остальных элементов — в несколько раз. В всячем боку минерализованной зоны над рудными телами концентрируются цинк, медь, олово, мышьяк, вольфрам. При этом ореолы олова и мышьяка прослеживаются от рудной зоны по восстанию непрерывно на 100–200 м, а ореолы цинка, меди, вольфрама располагаются в надрудной зоне оторванно от рудных тел, на расстоянии 20–30 м. Серебро и висмут характерны для центральной части минерализованной зоны. Первичные ореолы этих элементов фиксируются лишь вблизи рудных тел, распространяясь от них не далее 10–15 м. Сурьма фиксируется редко, обычно она отмечается совместно с цинком в надрудной зоне. Молибден в концентрациях до 0,002% встречается как в лежащем, так и в всячем боку минерализованной зоны в слабоизмененных породах. В контуре рудных тел его нет.

Бом-Горхонское вольфрамовое месторождение залегает в биотитовых порфиroidных гранитах и гранодиоритах второй фазы Бом-Горхонского массива юрского возраста. Бом-Горхонский массив расположен на юго-восточном крыле Цаган-Хуртейской антиклинали, вблизи ее ядра, на пересечении разломов северо-восточного и северо-западного простирания. Четко выделяются три главные группы разрывов: 1) северо-восточного простирания с крутым (70–90°) падением на северо-запад и юго-восток; 2) северо-западного простирания с таким же крутым падением на северо-восток и юго-запад и 3) система пологих (10–40°) разрывов северо-восточного простирания с падением на юго-восток. Последние являются рудовмещающими. Рудные тела представлены кварц-вольфрамитовыми жилами, имеющими четковидное строение; мощность их колеблется от 0,2–0,5 до 1,5–2 м. В рудах присутствуют примеси висмута (в виде висмутита и козалинта) и олова (касситерит).

Обработка данных геохимического опробования коренных пород по ряду разрезов через рудные тела показала, что четкие ореолы вокруг рудных тел образуют свинец, цинк, медь, висмут, олово, бериллий, вольфрам, марганец. Были рассчитаны ореолы по суммарной энергии рудообразования (методом Н.И. Сафронова). Площадь ореола по сумме висмута, молибдена, олова, бериллия и вольфрама колеблется от 400 x 500 до 600 x 1000 м; по сумме свинца, цинка и меди — от 100 x 200 до 400 x 800 м. Ореолы отдельных элементов характеризуются следующими особенностями.

Вольфрам образует широкие протяженные ореолы; максимальные концентрации его фиксируются в рудных зонах и непосредственно околорудных. Ширина ореолов вольфрама достигает 15–20 м, местами 50–60 м, наблюдается отчетливая тенденция к расширению их вниз по падению рудных тел. Свинец и медь, коррелирующиеся между собой, дают широкие (100–120 м) ореолы в верхней части разреза. Вниз по падению рудных тел ореолы этих элементов резко сужаются, ширина их уменьшается до 10 м. Мышьяк и сурьма образуют ореолы также в верху разреза, но небольшой ширины (10–20 м). Цинк характеризуется протяженными ореолами шириной до 100–120 м. Бериллий образует более узкие (20–40 м) ореолы непосредственно у рудных тел. Олово дает ореолы более широкие, чем бериллий (до 80 м). Висмут в отличие от свинца и меди дает четко расширяющиеся книзу ореолы. Широкую (до 100–200 м) аномалию образует барий, причем повышенные содержания его (от 0,1–0,2 до 1%) приходятся на нижнюю и среднюю части изученного разреза. Но, по-видимому, образование этой аномалии не имеет отношения к процессу оруденения. Можно предположить, что барий концентрируется в порфировых вкрапленниках калишпатов и связан с процессами формирования порфировидных гранитов.

Начекается следующий ряд вертикальной зональности (сверху вниз): сурьма, мышьяк, свинец, медь, олово, цинк, (бериллий), марганец, вольфрам, (молибден), висмут. Элементы, поставленные в скобки (бериллий и молибден), могут менять свое положение в ряду от цинка до висмута, в связи с чем они не являются надежными индикаторами зональности. Контрастность в ряду зональности увеличивается слева направо.

Из изложенного можно сделать вывод, что первичные ореолы марганца, вольфрама, висмута, молибдена и олова являются надежными поисковыми признаками вольфрамового оруденения. В связи с невысокими содержаниями элементов необходимо рассчитывать ореолы по суммарной энергии рудообразования. При этом, учитывая, что степень обнаженности часто не дает возможности проводить опробование по достаточно густой сети, следует принимать во внимание и данные по вторичным ореолам.

В целом можно считать, что ряд зональности элементов, установленный Л.Н.Овчинниковым и С.В.Григоряном для месторождений Средней Азии повторяется в основном (за исключением частных отклонений) и в Восточном Заоайкалье.

II сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

ЭЛЕМЕНТЫ-СПУТНИКИ КАК ИНДИКАТОРЫ ГЛУБИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНЫХ
ТЕЛ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

(на примере Прииртышского района Рудного Алтая)

Центральная геохимическая экспедиция Казахского геофизическо-
го треста

А.Е.Ермекбаев, В.Д.Инин

При проверке первичных ореолов горно-буровыми работами нередко оказывается, что вскрытые рудные объекты с промышленным содержанием полиметаллов имеют небольшие масштабы и быстро выклиниваются по падению и простиранию. По данным опробования керн скважин, первичные ореолы меди, свинца, цинка и других сопутствующих элементов прослеживаются по падению и склонению рудного тела, но часто они представляют собой лишь шлейф рассеянной минерализации, постепенно затухающий на глубине. Поэтому для проектирования глубоких (более 200-300м) скважин очень важно знать положение вскрытого рудного тела (участка минерализации) в рудолокализирующей структуре в целом. Это приобретает особое значение, когда объектом проверки являются рудолокализирующие структуры типа Орловского и Белоусовского месторождений, в пределах которых имеются несколько рудных тел, приуроченных к единой зоне межформационного срыва и отделенных друг от друга значительными расстояниями.

Обычно для определения положения выявленного оруденения в рудолокализирующей структуре используют качественный состав и количественные соотношения определенного круга элементов в первичном ореоле. Но наиболее информативной частью гипогенной минерализации являются руды, содержащие более широкий спектр химических элемен-

тов, чем первичные ореолы. В настоящей статье на примере девяти рудных тел трех колчеданно-полиметаллических месторождений Северо-Западного Прииртышья представляется возможным, основываясь на закономерностях распределения элементов-спутников в рудах сульфидных залежей, оценить перспективы глубоких горизонтов рудолокализирующих структур в отношении наличия в них скрытого оруденения.

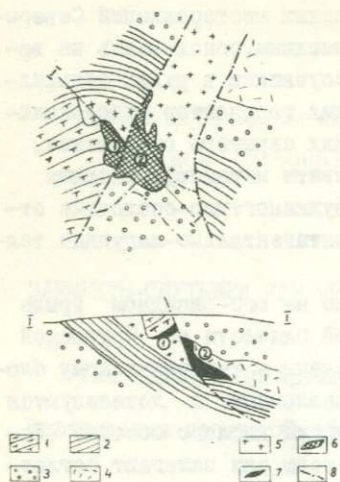
В районе изученных месторождений развиты метаморфизованные песчано-сланцевые породы ордовика (?) вулканогенно-осадочные отложения среднего и верхнего девона и континентально-лагунные толщи карбона.

Месторождение "А" (рис.1) расположено на юго-западном крыле Алейского антиклинария в непосредственной близости от Иртышской зоны смятия. Два его рудных тела приурочены к тектоническому блоку, ограниченному двумя региональными разломами, и локализуются на контакте кварцевых альбитофиров с туфами кислого состава (Западная залежь). Относительно вмещающих толщ они залегают согласно, имеют линзообразную форму и небольшие углы падения. Лишь верхняя часть Центральной залежи, приуроченная к зоне одного из региональных разломов, занимает секущее положение и имеет крутое падение. Глубина формирования рудных тел колеблется в пределах 600-800 м / 2-3/.

Месторождение "Б" находится в крайней северо-западной части Рудного Алтая и в региональной структуре приурочено к южной части Успенской мульды на северо-западной окраине Орловско-Раздольненской грабен-синклинали. Участок месторождения представляет собой узкий горст-антиклинальный блок, сложенный вулканогенно-осадочными породами среднего девона, которые в пределах блока смяты в брахиантиклинальную складку, запрокинутую к западу (рис.2). Основные запасы руд месторождения сконцентрированы в четырех рудных телах, локализующихся в зоне межформационного срыва Западного крыла складки на контакте преимущественно осадочных пород эйфельского яруса и пород вулканогенной серии живетского яруса. Исключение составляет лишь рудное тело № 3, которое пространственно обособлено от трех других рудных тел в соседнем блоке, располагаясь в аналогичной же структурной обстановке на уровне пологопадающей части второго рудного тела. Различие в гипсометрических отметках первого и четвертого рудного тела составляет примерно 800-1000 м. Глубина формирования месторождения 1000-1500 м.

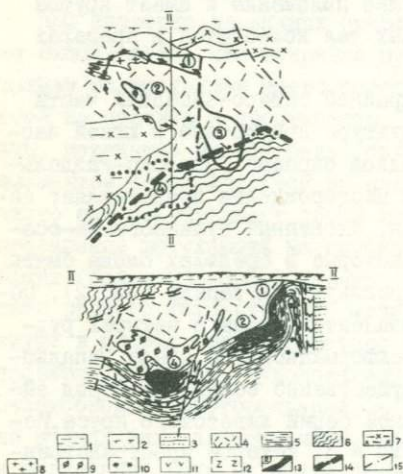
Месторождение "В" расположено в юго-восточной части Прииртышья

Рис. 1. Структурно-геологическая карта и разрез участка месторождения "А" (по П.Ф. Иванкину, 1957)



1-туфы и туфолавы кварцевых порфиров, переслаивающиеся с кремнисто-глинистыми алевролитами и песчаниками; 2-литовитро-кристаллокластические туфы кварцевых порфиров с прослоями кремнисто-глинистых алевролитов и туфопесчаников; 3-основные эффузивы, туфы и туфиты с прослоями осадочных алевролитов и линзами известняков; 4- агломератовые туфы, туфобрекчии и туфолавы кварц-порфиров; 5-кварцевые альбитофиры; 6-проекции рудных тел на дневную поверхность; 7-рудные тела на разрезах; 8-тектонические нарушения.

Рис. 2. Геологическая карта и разрез участка месторождения "Б" (по В.М. Волкову, И.Т. Сахарову и др., 1964)



1-четвертичные отложения и коры выветривания; 2-туфы смешанного состава; 3-песчаники и туфопесчаники; 4-лавобрекчии кварцевых альбит-порфиров с прослоями алевролитов; 5-алевролиты и алевропесчаники; 6-метаморфические сланцы (0?); 7-плагιοгранит-порфиры, гранофиры и гранодиорит-порфиры; 8-сферолитовые кварцевые альбит-порфиры; 9-фельзитовидные кварцевые альбит-порфиры; 10-жильные кварцевые альбит-порфиры и кварцевые плагиипорфиры; 11-жильные плагииоклазовые порфиры; 12-жильные диабазовые порфиры; 13-рудные тела и их номер; 14-зона регионального надвига; 15-тектонические нарушения.

на стыке Рудно-Алтайской, Калбинской структурно-фашиальных зон и Иртышского глубинного разлома юго-западного Алтая. Основным структурным элементом участка месторождения является крупная антиклинальная складка 2-го порядка северо-западного простирания (рис.3). Ядро складки сложено порфироидами и туффоидами эйфельского яруса, а ее крылья известковыми алевролитовыми туффитами, мраморизованными известняками и хлорит-серицит-кварцевыми сланцами живетского яруса и известково-хлоритовыми сланцами по известковистым полевошпато-кварцевым песчаникам франского яруса. В пределах месторождения разведано семь рудных тел, представляющих собой типичные лентовидные залежи. В настоящей статье приводятся данные лишь по трем из них (№ 5, № 4 и № 6), пространственно приуроченным к лежащему (юго-восточному) крылу антиклинальной складки на контакте пород среднего и верхнего девона. Разница в гипсометрических отметках наименее глубокой залежи № 5 и глубоко залегающей залежи № 6 составляет 300-350 м. По данным Гречиншиковой (1957), Стучевского (1960) и Дробышевского (1962), месторождение сформировалось на глубине более 2000 м.

По генезису все три месторождения относятся к гидротермально-метасоматическим. Минеральный состав их рудных тел практически идентичен. Основными рудобразующими компонентами являются дисульфиды железа (pirit, марказит, мельниковит-pirit), халькоpirit, сфалерит, галенит и барит. Реже встречаются блеклые руды, теллуриды золота, серебра, висмута, их самородные формы и др.

Отложение основных масс рудных компонентов из растворов в процессе формирования рудных тел осуществлялось в последовательности пирит-халькоpirit-сфалерит-галенит-барит. Эта последовательность выпадения минералов хорошо согласуется с уменьшением энергий их кристаллических решеток, что находится в соответствии с геоэнергетической теорией /6, I, 4/. В результате последовательно перекрывающегося отложения этих минералов сформировались 8 типов руд, в порядке перечисления представляющие собой генетический ряд: серноколчеданные, серноколчеданно-медные и медные, медно-цинковые, цинковые, свинцово-цинковые, свинцовые и баритовые.

Формирование однотипных руд в залежах верхних горизонтов рудолокализирующих структур происходило из более низкотемпературных растворов с повышенной кислотностью и высокими значениями f_h , тогда как в рудных телах корневых частей - из относительно высокотемпературных растворов повышенной щелочности со сравнительно низки-

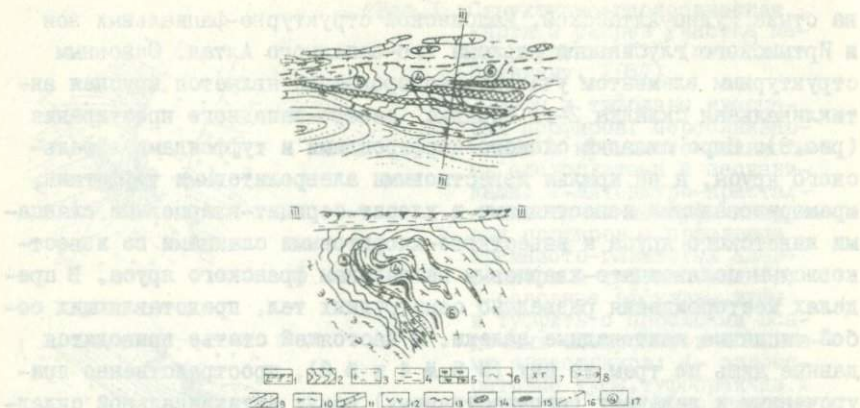


Рис.3. Геологическая карта и разрез участка месторождения "В" (по М.И. Дробышевскому, 1962)

1-четвертичные отложения; 2-известково-хлоритовые сланцы; 3-порфиroidы и туффоиды кварцевого порфира; 4 - углисто-глинистые и глинисто-кремнистые сланцы; 5-хлорито-серицитокварцевые сланцы по алевролитам; 6-кварц-серицитовые сланцы; 7-туфы дацитового состава; 8-эпидот-биотитокварцевые сланцы; 9-алевролитовые и пелито-алевролитовые песчаники; 10-серицитохлоритокварцевые и серицитокварцевые сланцы по порфиroidам и туффоидам кварцевых порфиров; 11-мраморизованные известняки; 12-диабазовые и амфибол-плаггиоклазовые порфириты; 13-зона гидротермально измененных пород (хлоритовые, хлорит-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые и пр. сланцы); 14-проекции сульфидных залежей на дневную поверхность. 15-сульфидные залежи. 16-тектонические нарушения; 17-номера залежей.

ми значениями окислительно-восстановительного потенциала. Наиболее отчетливо это проявилось на малоглубинном месторождении "А", менее контрастно — на глубинном месторождении "В".

Минералого-геохимические признаки глубины формирования месторождений

Рудные тела близповерхностных месторождений характеризуются большей компактностью, высоким содержанием в них сульфидов и широким развитием металлоидных структур (5). Наши исследования подтверждают это положение.

Рудные тела месторождения "А" и рудное тело № I месторождения "В", сформировавшееся примерно на тех же глубинах, имеют (рис. I, 2) форму правильных линз и сложены в основном сплошными рудами. Содержание сульфидов в них равно соответственно 67,4-79, 5% и 61,4%.

Более глубинные рудные тела месторождений "Б" и "В" характеризуются меньшей насыщенностью сульфидами (соответственно 35,3 - 58,3% и 32,2 - 46,9%, рис. 4).

Доля дисульфидов железа в общем балансе сульфидов особенно велика в рудных телах малоглубинного месторождения "А" (80,0 - 85,0%). В рудных телах месторождения "Б" она составляет 55,4-70,0%, а в залежах месторождения "В" — 42,4-57,6%. Колломорфные их разности наиболее широко развиты в рудных телах малоглубинного месторождения "А", где наряду с пиритом, мельниковитом и мельниковит-пиритом в качестве рудообразующего минерала присутствует марказит, не обнаруживающийся в рудах глубинного месторождения "В". С увеличением глубины формирования рудных тел количество колломорфных дисульфидов железа в рудах уменьшается, вплоть до полного исчезновения.

Геохимическими признаками глубины формирования месторождений могут служить содержания висмута, селена, теллура, и кобальта в сульфидной части руд (табл. I, п. 2), галлия и таллия в рудах естественного залегания (табл. I, п. 3-4), селена, теллура, висмута, кобальта, галлия, германия и индия в главнейших рудообразующих сульфидах (табл. I, п. 5-9) и величины отношений кларков концентрации селена и теллура к сере сульфидной и мышьяка к сурьме (табл. I, п. 10).

Содержание висмута, селена и кобальта в сульфидах как малоглубинного месторождения "А", так и глубинного месторождения "В" не превышает п. 100 г/т. Но в малоглубинных месторождениях средние

таблица № 1

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ГЛУБИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

№ п/п	МАЛОГЛУБИННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ (глубина формирования до 1000 м)	ГЛУБИННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ (глубина формирования более 2000 м)
1	$P_{Py} \gg 75\% (\text{относ}) ; P_{Py}(\text{кол}) \gg P_{Py}(\text{крист})$	$P_{Py} \leq 75\% (\text{относ}) ; P_{Py}(\text{кол}) \ll P_{Py}(\text{крист})$
2	$P_{Bi, Se, Co} \leq n10 \text{ до } n100$ $P_{Te} \leq n1 \text{ до } n10$	$P_{Bi, Se, Co} \gg n10 - n100$ $P_{Te} \gg n10$
3	$P_{Mo} \geq n10 - n100 ;$	$P_{Mo} \leq n10 \text{ до } n100$
4	$P_{Ga, Te}^{\text{кисл}} \gg 75\% (\text{относ}) > P_{Ga, Te}^{\text{сульф}} \geq 25\% (\text{относ})$	$P_{Ga, Te}^{\text{кисл}} \leq 25\% (\text{относ}) < P_{Ga, Te}^{\text{сульф}} \geq 75\% (\text{относ})$
5	$C_{Te}^{Py} \gg C_{Te}^{CP} \gg C_{Te}^{gn} \approx C_{Te}^{SE}$ $3C_{Se}^{Py, CP} \gg C_{Se}^{gn}$	$C_{Te}^{SE} \leq C_{Te}^{CP} \leq C_{Te}^{Py} \leq C_{Te}^{gn}$ $5C_{Se}^{Py, CP} \leq C_{Se}^{gn}$
6	$C_{Bi}^{Py, CP} (Cu, Cu-Zn) > C_{Bi}^{gn, SE} (Cu, Cu-Zn)$ $C_{Se}^{gn} \leq n10 \text{ до } 100 \leq C_{Bi}^{Py, CP}$	$C_{Bi}^{Py, CP} (Cu, Cu-Zn) < C_{Bi}^{gn, SE} (Cu, Cu-Zn)$ $C_{Bi}^{gn} \gg n100 \text{ до } 1000 \gg C_{Bi}^{Py, CP}$
7	$C_{Co}^{Py} \gg n10 - n100 ; C_{Co}^{SE} \leq n1 - n10 ;$	$C_{Co}^{Py} \leq n10 ; C_{Co}^{SE} \gg n100$
8	$C_{Ga}^{SE} \gg n100 ; C_{Ge}^{SE} \gg n1 \text{ до } n10$	$C_{Ga}^{SE} \leq n1 \text{ до } n10 ; C_{Ge}^{SE} \leq n1$
9	$C_{In}^{CP} \gg n1 \text{ до } n10 > C_{In}^{SE} \approx n1$	$C_{In}^{CP} < C_{In}^{SE} \leq n1$
10	$Z (Se, Te : \text{Сульфид}) ; Z (As : S6)$	$Z (Se, Te : \text{Сульфид}) ; Z (As : S6)$

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- P - содержание элемента (минерала) в сульфидной части руд, %/т.
- P_i - содержание элемента (минерала) в рудах естественного залегания, %
- P_{max} - Максимум концентрации элемента в типах руд генетического ряда
- M - минеральная форма нахождения элемента в рудах (тел-теллуридная, сам-самородная, сульфосульфосальная, арсенид-арсенидная, сульфид - сульфидная)
- (K*) - Катионная форма нахождения элемента в минералах
- (A*) - Анионная форма нахождения элемента в минералах
- C - содержание элемента в минерале, %/т.
- Z - отношение классов концентрации элементов
- * - Признак более характерен для глубинных месторождений
- Cu - медные руды
- $Cu-Zn$ - медно-цинковые руды
- Zn - цинковые руды
- $Pb-Zn$ - свинцово-цинковые руды
- Py - пирит (дисульфиды железа)
- CP - халькопирит
- SE - сфалерит
- gn - галенит
- Увеличение содержания (соотношений) элементов (минералов) и продуктов заключительных стадий рудного процесса (в Pb-Zn рудах)
- ← Увеличение содержания (соотношений) элементов (минералов) и продуктах ранних стадий рудного процесса (в Cu и Cu-Zn рудах)
- * - Признак более характерен для малоглубинных месторождений

содержания этих элементов уменьшаются от медных (наиболее ранних) типов руд к свинцово-цинковым (поздним), тогда как в глубинных они в этом направлении возрастают. Теллур ведет себя аналогичным образом (рис.4), но в рудах малоглубинного месторождения "А" содержание его обычно не превышает 10 г/т, редко до $n \cdot 10$ г/т, а в рудных телах глубинного месторождения "В" наиболее распространены концентрации более 10 г/т, в отдельных случаях до $n \cdot 100$ г/т. Независимо от глубины формирования в рудных телах прикорневых частей рудолокализирующих структур максимум концентраций теллура приурочен к рудам медно-цинкового состава (рис.4).

Таллий и галлий в высоких концентрациях накапливаются в рудных телах малоглубинного месторождения "А" (рис.4), причем для галлия различия между глубинными и малоглубинными рудными телами более контрастны, чем для таллия. Критерием глубинности может служить степень связи этих элементов с сульфидным веществом рудных тел. Так, на месторождении "А" 75% общего количества галлия и таллия заключено в сульфидных минералах и флотуруется в сульфидные концентраты. А на долю силикатных компонентов приходится лишь 25% их массы (табл. I, п.4). В рудных телах глубинного месторождения "В" наблюдается обратная картина: с сульфидами связано менее 25% галлия и таллия, а с силикатными компонентами - более 75%.

Концентрация элементов-спутников в основных рудообразующих сульфидах закономерно изменяется в зависимости от глубины формирования рудных тел. Это отмечается, например, для теллура в пирите, халькопирите, сфалерите и галените (табл. I, п.5). На малоглубинном месторождении "А" содержание теллура в галените и сфалерите примерно одинаковы, они в 2-3 раза меньше, чем в пирите и халькопирите (соответственно 8,8 и 9,0 г/т и 31,8 и 28,9 г/т). В рудных телах глубинного месторождения "В" содержание теллура в галените в несколько раз больше содержаний в пирите, халькопирите и особенно в сфалерите (соответственно 77 против 37,2; 13,5 и 10,1 г/т). Менее контрастно распределен селен: на месторождении "А" содержания его в сульфидах свинца равны содержаниям в халькопирите, они меньше утроенной концентрации элемента в пирите (240,2 против 186,0 и 113 г/т); на месторождении "В" содержание селена в галените превышает содержание в халькопирите и пирите более чем в 4,5 раза (433,3 против 98,8 и 68,8 г/т).

Колебания содержаний висмута в галенитах в зависимости от

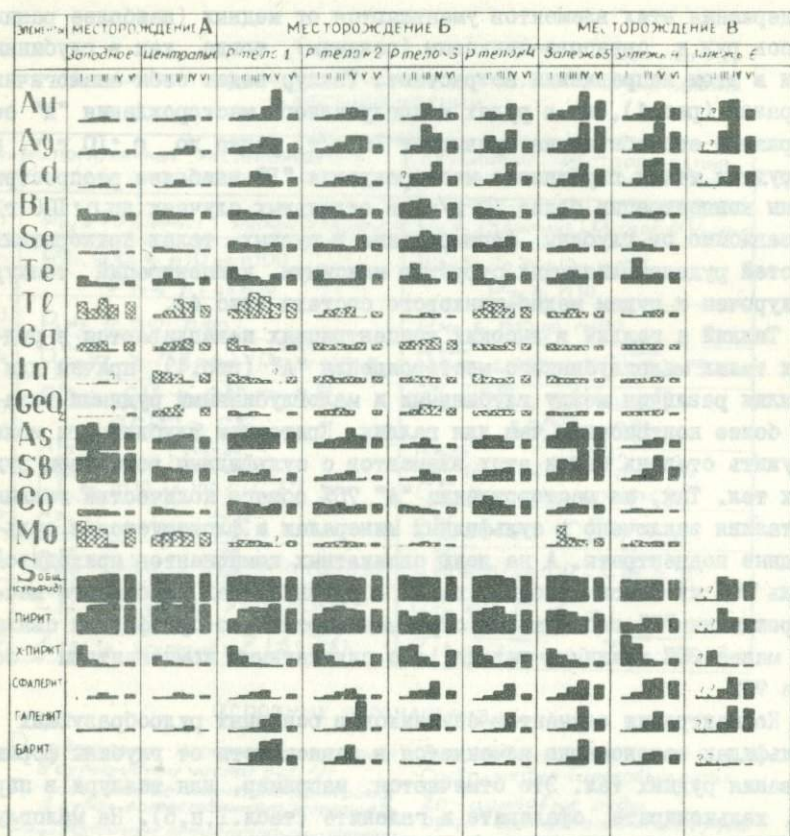


Рис. 4. Гистограммы химического состава руд.

I - медные руды; II - медно-цинковые руды; III - цинковые;

IV - свинцово-цинковые; V - свинцовые; VI - среднее по рудному телу.

Залитые гистограммы - среднее содержание элемента в сульфидной части руд; заштрихованные - в рудах естественного залегания.

глубины формирования месторождений сопоставимы с изменениями содержания теллура. На месторождении "А" содержания висмута в сульфиде свинца не превышают 100 г/т, примерно такой же порядок (146,7 и 73,3 г/т) в пирите и халькопирите, а на месторождении "В" содержания элемента в галените достигают сотен и тысяч г/т, что в 10-20 раз больше, чем в двух других минералах (1057,5 против 41,6 и 136,5 г/т). Более контрастно это наблюдается в медных и медно-цинковых рудах, которые обогащены висмутом на малоглубинном месторождении "А" и обеднены на месторождении "В" (рис.4).

По кобальту глубину формирования месторождений можно определять, основываясь на его содержаниях в пирите и сфалерите. На малоглубинном месторождении "А" содержания кобальта в пирите более чем в два раза превышают его содержания в сфалерите (90,0 против 40,0 г/т). На месторождении "В" сфалерит является основным минералом - концентратором и носителем кобальта (содержание до 470 г/т, среднее - 180,5 г/т).

Индикаторами глубины формирования месторождений по содержанию в минералах могут быть также галлий, германий и индий. Наиболее высокие концентрации первые два элемента образуют в сфалеритах малоглубинного месторождения "А" (112,8 и 11,2 г/т). На месторождении "В" содержание галлия в сфалеритах не превышает первых десятков, а германия - первых единиц г/т (среднее соответственно 6,5 и 1,7 г/т). Индий, в отличие от галлия и германия, на малоглубинном месторождении "А" концентрируется преимущественно в халькопирите, а не в сфалерите (11,0 против 4,2 г/т). В отдельных случаях его содержания достигают 37,0 г/т, тогда как в сфалерите не превышают 7-10 г/т. На глубинном месторождении "В" индий в обоих минералах содержится в низких концентрациях.

Различие физико-химических условий рудоотложения на месторождениях с разной глубиной формирования обуславливает некоторую специфичность накопления в рудах геохимически родственных пар элементов. Наиболее контрастно это выражено у селена и теллура по отношению к сере (сульфидной) и у сурьмы по отношению к мышьяку. В рудных телах месторождения "А" первые два элемента накапливаются относительно серы (сульфидной) в ранних продуктах рудного этапа (медных и медно-цинковых рудах). В более поздних типах руд (цинковых и свинцово-цинковых) степень накопления селена и теллура относительно серы уменьшается, достигая минимальной величины в свинцово-цинковых рудах (рис.5). В залежах глубинного мес-

торождения "В" как селен, так и теллур накапливаются относительно серы (сульфидной) в самых поздних продуктах рудного этапа. Аналогично ведет себя в генетическом ряду типов руд сурьма: в Центральной залежи месторождения "А" накопление ее относительно мышьяка наблюдается от свинцово-цинковых руд к медным, тогда как в залежах месторождения "В" — от медных к свинцово-цинковым.

Минералого-геохимические признаки уровня эрозийного среза рудолокализирующих структур.

Приводимые ниже сведения базируются в основном на материалах опробования и анализа рудных тел месторождения "В", рудолокализирующая структура которого в настоящее время разбурена до корневых частей. Как дополнение использованы данные по залежам Западной и Центральной месторождения "А" и № 4-6 месторождения "В".

Выявляются следующие минералогические признаки, позволяющие определять положение рудного тела в рудолокализирующей структуре: характер изменения средних содержаний дисульфидов железа (пирита) в генетическом ряду типов руд, содержание барита и минеральные формы нахождения элементов-спутников в рудах.

Концентрация дисульфидов железа достигает наиболее высоких величин в рудных телах верхних горизонтов рудолокализирующих структур (рис.4). В связи с тем, что этот признак проявляется и в более широком плане, являясь критерием глубины формирования месторождений, применение его для определения положения рудного тела в рудолокализирующей структуре довольно затруднительно. Более четко это можно делать по характеру изменчивости средних содержаний дисульфидов железа в генетическом ряду типов руд (рис.4, табл.2, п.1). В рудном теле № 1, приуроченном к верхним горизонтам рудолокализирующей структуры месторождения "В", они закономерно увеличиваются от медных руд к свинцово-цинковым, в то время как в рудных телах № 3 и № 4, расположенных в корневых частях структуры, обнаруживают тенденцию уменьшаться в этом направлении. На мало-глубинном месторождении "А" средние содержания дисульфидов железа в обеих залежах увеличиваются от медных руд к свинцово-цинковым (рис.4). Однако, различие их средних содержаний в медных и свинцово-цинковых рудах в залежи Западной более существенно чем в Центральной (57,1-91,5 против 77,5-85,0%). Не исключено, что на месторождении "А" имеется еще не вскрытое рудное тело, залегающее гипсометрически ниже Центральной залежи, в котором дисульфиды же-

таблица № 2

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ УРОВНЕЙ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА РУДОЛОКАЛИЗУЮЩИХ СТРУКТУР

№ п/п	Рудные тела верхних горизонтов рудолокализирующих структур	Рудные тела корневых частей рудолокализирующих структур
1	$P_{Pb}(Cu, Cu-Zn) < P_{Pb}(Zn, Pb-Zn); P_{Cu, коп} > P_{Cu, кр}$	$P_{Pb}(Cu, Cu-Zn) > P_{Pb}(Zn, Pb-Zn); P_{Cu, коп} < P_{Cu, кр}$
2	$P_{BaSO_4} > 10\%$ (сред)	$P_{BaSO_4} \leq 5\%$ (средн)
3	$M_{(Au, Ag, Bi, Te)}^{Cu, Cu-Zn} \gg M_{(Au, Ag, Bi, Te)}^{Zn, Pb-Zn}; M_{Te} \leq M_{ссм}$	$M_{(Au, Ag, Bi, Te)}^{Cu, Cu-Zn} > M_{(Au, Ag, Bi, Te)}^{Zn, Pb-Zn}; M_{Te} \gg M_{ссм}$
4	$M_{As}^{сульфос} > M_{As}^{арсенид}; (K^+)_{As} > (A^-)_{As}$	$M_{As}^{сульфос} < M_{As}^{арсенид}; (K^+)_{As} \leq (A^-)_{As}$
5	$P_{max}(Bi, Se, Te, Cd, Go, In, Ge, Mu)$ $P_{max}(Au, Ag, Te, As)$	$P_{max}(Bi, Se, Te, Cd, Go, In, Ge, Mo)$ $P_{max}(Au, Ag, Te, As)$
6	$C_{Se}^{gn} \leq n100 \text{ go } n1000^{**}$ $C_{Te}^{gn} \leq n-n10$	$C_{Se}^{gn} > n100 - n1000^{**}$ $C_{Te}^{gn} > n10 - n100$
7	$C_{Cd}^{Se} > n1000^*; C_{Co}^{Se} \geq n10 - n100^*$	$C_{Cd}^{Se} \leq n100 \text{ go } n1000^*; C_{Co}^{Se} \leq n10$
8	$C_{As}^{Pb} > n100 - n1000$	$C_{As}^{Pb} \leq n10 \text{ go } n100$
9	$C_{Sb}^{Pb} > n10 \text{ go } n100$	$C_{Sb}^{Pb} \leq n1 - n10$
10	$C_{Te}^{Pb} \geq n10 \text{ go } n100 > C_{Te}^{gn} \leq n1 \text{ go } n10$	$C_{Te}^{Pb} \leq n1 \text{ go } n10 < C_{Te}^{gn} \geq n10 \text{ go } n100$
11	$Z(Au, Ag)^*; Z(Cd, Zn)^{Cu, Pb} \gg Z(Cd, Zn)^{Cu, Zn, Cu}$	$Z(Au, Ag)^{**}; Z(Cd, Zn)^{Cu, Pb} \gg Z(Cd, Zn)^{Cu, Zn, Zn}$
12	$Z(Bi, Pb) \leq n10 \text{ раз}; Z(Bi, Pb) > Z(Bi, Pb)^{Pb-Zn}$	$Z(Bi, Pb) > n100 \text{ раз}; Z(Bi, Pb) \gg Z(Bi, Pb)^{Pb-Zn}$
13	$Z(Se \text{ Сульфид}); Z(Te \text{ Сульфид})$	$Z(Se \text{ Сульфид}); Z(Te \text{ Сульфид})$
14	$Z(Se \text{ Te})^{gn} \gg Z(Se \text{ Te})^{Pb}$	$Z(Se \text{ Te})^{gn} = Z(Se \text{ Te})^{Pb}$
15	$Z(As, Sb)^* P_{As} \gg P_{Sb}$	$Z(As, Sb)^{**}; P_{As} \gg P_{Sb}$

Примечание: Условные обозначения в табл.

леза образуют максимум концентрации в медных и медно-цинковых рудах. Более глубинное месторождение "В" по закономерностям изменения средних содержаний дисульфидов железа аналогично рудным телам прикоренных частей месторождения "Б". По-видимому, указанный выше признак наиболее характерен для месторождений малых и умеренных глубин.

Дополнительным признаком при определении положения рудного тела в рудолокализирующей структуре может служить наличие колломорфных разностей дисульфидов железа, которые обычно наиболее широко развиты в рудных телах верхних горизонтов месторождения. В сульфидных залежах корневых частей рудолокализирующих структур они имеют ограниченное распространение и обнаруживаются как правило, в самых поздних продуктах рудного этапа (цинковых и свинцово-цинковых рудах).

В отличие от дисульфидов железа, барит во всех рудных телах, независимо от их положения в рудолокализирующих структурах и глубины формирования, образует максимальные концентрации в продуктах заключительных стадий рудного процесса (цинковых и свинцово-цинковых рудах). В корневых частях месторождений "Б" и "В" содержание его в рудах низки (не превышают 4-5%). Основное количество барита сконцентрировано в рудных телах верхних горизонтов рудолокализирующих структур, где содержание его в среднем больше 10% (до 35-42% в свинцово-цинковых и 80% в свинцовых рудах). В связи с этим высокие содержания барита в рудных телах могут являться признаком наименее вскрытой эрозией рудолокализирующей структуры, перспективной на нахождение в ней слепых рудных тел.

В рудных телах верхних горизонтов рудолокализирующих структур (особенно малоглубинных месторождений) минеральные формы золота, серебра, висмута и теллура встречаются крайне редко (табл.3). Относительно чаще они обнаруживаются в медных и медно-цинковых рудах, в которых доля теллуридов и сложных сульфидов висмута наиболее значительна. В цинковых, свинцово-цинковых и свинцовых рудах теллуриды практически отсутствуют. Вместо них спорадически обнаруживаются лишь самородные золото, серебро, висмут и сульфосоли. В рудах цинкового и свинцово-цинкового состава малоглубинного и низкотемпературного месторождения "А" они вообще не обнаруживаются под микроскопом обычных систем (МИН-9, МБИ-6 и др.), что, возможно, связано с малым размером их выделений. С увеличением глубины формирования рудных тел самородные формы золота и серебра и

МИНЕРАЛЬНЫЕ ФОРМЫ
золота, серебра, висмута, теллура

М-НИЕ ТЕПЛА ТИПЫ РУД	М-НИЕ „А“ Центральный Золотой	МЕСТОРОЖДЕНИЕ „Б“				М-НИЕ „В“ (залежь №5)
		Р ТЕЛО №1	Р ТЕЛО №2	Р ТЕЛО №3	Р ТЕЛО №4	
Свинцовые, Свинцово- цинковые	--	Au, P ₂ S, P ₂ g	Au, P ₂ S, P ₂ g	Au	Te - V _{sm}	Au, P ₂ S, P ₂ g, Ag, Ee, Mt, H ₂ , A ₂ g, Stz, Em, Bt
Цинковые	--	Au, P ₂ S, P ₂ g, Bi	Au, P ₂ S, P ₂ g, Bi Td, Clv, Czп	Ee, Bi	Te - V _{sm}	Au, Ee, H ₂ , Em, Slv, Cl.
Медно- цинковые	V _{sm} , Rcb	Au, P ₂ S, P ₂ g, Bi, Ag, Td, V _{sm}	P ₂ S, P ₂ g, Bi, Ag, Td, Clv, Czп, Em, Te - V _{sm}	Bi, Clv, Czп V _{sm}	Bi, Te, V _{sm}	Au, Ee, H ₂ , Slv, Clv, Czп
Медные	Ptc, H ₂ , Td, Te - V _{sm} , Em, Vt, V _{sm} , Rcb	P ₂ S, P ₂ g, Bi, Td, V _{sm} , Vt, Ptc, H ₂	Bi, Td, V _{sm} , Clv, Czп, H ₂ , Ptc, Te - V _{sm}	Bi, V _{sm} , Clv, Czп, Lt, Te - V _{sm} , Clp	Bi, V _{sm} , Te - V _{sm}	H ₂ , Slv, Clv, Czп, Alt, Td, Te - V _{sm}

Примечание: Au, Ag, Bi - самородные выделения золота, серебра, висмута, Alt - алмайт, Ag - аргентит, Bt - бетехтинит, Clv - колаберит, Czп - кренерит, Clp - клапротолит, Ee - электрум, Em - эмплентит, H₂ - гессит, Lt - лайпонариит, Mt - монтбрейит, P₂S - P₂g - минерал: р прустита - пираргирит, Ptc - петцит, Rcb - рецбанит, Stz - штроймеерит, Slv - сльванит, Td - тетрадимит, Te - V_{sm} - теллуру-висмутит, Vt - виттихенит, V_{sm} - висмутин, (по данным Би Вейц, АА Гармаш, Н.А. Чжапохой и В.Д. Инина)

сульфосоли встречаются все реже, уступая в количественном отношении теллуридам висмута. Последние чаще обнаруживаются в рудах цинкового и свинцово-цинкового состава, в корневых частях месторождения "Б" они являются преобладающими. В глубинном месторождении "Б" теллуриды и сложные сульфиды висмута относительно широко развиты во всех типах руд залежи № 5, что резко отличает ее от Центральной залежи месторождения "А". В связи с этим соотношения форм нахождения рассматриваемых четырех элементов могут с успехом использоваться для определения не только уровня рудолокализирующих структур, но и глубины формирования месторождений. Отсутствие минеральных форм золота, серебра, висмута и теллура в цинковых, свинцово-цинковых и свинцовых рудах может свидетельствовать о малой глубине их формирования; наличие их самородных и сульфосольных форм при отсутствии теллуридов — об умеренных глубинах в верхах рудолокализирующих структур; широкое развитие теллуридов висмута при отсутствии самородных форм золота и серебра — о корневых частях рудолокализирующих структур, повсеместное нахождение в свинцовых и свинцово-цинковых рудах самородных форм благородных металлов, их сульфосолей и теллуридов — о больших глубинах формирования рудных тел в верхах рудолокализирующих структур. Представляется возможным определять положение рудных тел в рудолокализирующих структурах также по минеральным формам мышьяка. В верхних горизонтах месторождения "Б" мышьяк образует в основном минералы, в которых он находится в виде трех- и пятивалентных катионов (блеклые руды, минералы группы энергита, прустита-пираргирита и др.). Минералы с анионной формой мышьяка (арсенопирит и др.) здесь очень редки и обнаруживаются преимущественно в рудах медного и медно-цинкового состава. С увеличением глубины формирования рудных тел частота встреч арсенопирита и других минералов с "анионным" мышьяком увеличивается. Эти минералы начинают встречаться чаще не только в медных и медно-цинковых рудах, но и в цинковых и свинцово-цинковых. В залежи № 5 наиболее глубинного месторождения "Б" арсенопирит в медных рудах распространен шире, чем блеклые руды, а в более поздних типах руд (цинковых и свинцово-цинковых) количественно почти равен им. Это сближает залежь № 5 с рудными телами прикорневых частей месторождения "Б", в отличие от малоглубинных залежей месторождения "А", в которых арсенопирит практически не встречается.

Из числа геохимических признаков характеризующими уровни рудо-

локализирующих структур являются: приуроченность максимумов концентрации элементов-спутников к какому-либо типу генетического ряда руд (табл.2, п.5), содержание элементов в основных компонентах руд (табл.2, п.6-10) и величины отношений их кларков концентрации в рудах и минералах (табл.2, п.11-15).

Висмут, селен, теллур, галлий, индий, германий и молибден в рудных телах верхних горизонтов месторождений образуют наиболее высокие концентрации в рудах медного и медно-цинкового состава. Максимум концентраций кадмия на месторождениях "А" и "Б" приурочен к цинковым рудам (рис.4). С увеличением глубины формирования сульфидных залежей максимумы концентрации всех указанных элементов смещаются в более поздние продукты рудного процесса, приурочиваясь в корневых частях рудолокализирующих структур к свинцово-цинковым (и свинцовым?) рудам. Золото, серебро, таллий и мышьяк распределены противоположным образом. В верхних горизонтах месторождений максимум их концентрации приурочен к свинцовым и свинцово-цинковым рудам, а в корневых частях - к медно-цинковым.

Содержание элементов-спутников в их минералах-концентраторах закономерно изменяется с увеличением глубины формирования рудных тел. Наиболее достоверно положение последних в рудолокализирующих структурах можно определять по концентрации селена и теллура в галените, кадмия и галлия в сфалерите, мышьяка и сурьмы в дисульфидах железа (пирите) и таллия в дисульфидах железа и галените.

Содержание селена и теллура в галените в десятки (до сотен) раз выше, чем в сульфидах железа, меди и цинка. В рудных телах верхних горизонтов рудолокализирующих структур сульфид свинца менее богат этими элементами, чем в рудных телах их корневых частей. Так, если в двух относительно малоглубинных рудных телах месторождения "Б" (№ 1 и №2) содержания селена и теллура в галенитах колеблются в пределах соответственно 96-6380 и 10-212 г/т (средние 435,8 - 1814,2 и 24,0-50,6 г/т), то в рудных телах № 3 и №4, залегающих в корневых частях рудолокализирующей структуры, концентрация их достигает 9750 и 790 г/т (среднее 680,0-5270 и 417,5 г/т). Кроме того, концентрация селена и теллура в галенитах рудных тел верхних горизонтов рудолокализирующих структур закономерно снижается от медных руд к свинцово-цинковым, в то время как в сульфидах глубокозалегающих рудных тел содержание их обнаруживает тенденцию увеличения к цинковым и свинцово-цинковым рудам.

Сфалериты в рудах колчеданно-полиметаллических месторождений

являются основными концентраторами кадмия и галлия, не связанного с силикатами. В сульфиде цинка максимальные концентрации эти элементы образуют в рудных телах верхних горизонтов рудолокализирующих структур. В первом рудном теле месторождения "Б" средние их содержания в сфалерите составляют соответственно 394,0 и 141,0 г/т, во втором - 2590,0 и 54,6 г/т, в четвертом - содержание кадмия равно 1600 г/т. В Центральной залежи месторождения "А", залегающей в прикорневых частях рудолокализирующей структуры, содержания кадмия и галлия в сфалеритах равны соответственно 1700 и 112,8 г/т.

Мышьяк и сурьма во всех сульфидных, в том числе и в дисульфидных железах, находятся в виде мелких включений их минералов (блеклых руд, минералов группы энаргита-фаматинита, прустита-шираргирита, арсенопирита и пр.). Оба элемента дают высокие концентрации в дисульфидных железах из рудных тел верхних горизонтов рудолокализирующих структур: в первом рудном теле месторождения "Б" средние содержания их составляют, соответственно, 1164,0 и 115,0 г/т, во втором - 613,2 и 36,2 г/т, в третьем - 390,0 и 10,0 г/т. В халькопирите содержание мышьяка и сурьмы также снижается с увеличением глубины залегания рудных тел (600,0 и 100,0 г/т в рудном теле № 1; 92,0 и 9,6 г/т в рудном теле № 2). В противоположность сульфидам железа и меди сульфиды цинка и свинца относительно обогащены мышьяком и сурьмой в глубокозалегавших рудных телах, где эти элементы (особенно сурьма) находятся в более высоких концентрациях. В рудном теле № 1 содержание мышьяка и сурьмы составляют соответственно: в сфалерите 127,5 и 75,0 в галените - 110,0 и 80 г/т; в рудном теле № 2: в сфалерите - 483,0 и 245 г/т, в галените - 20,0 и 280,0 г/т. В Центральной залежи месторождения "А", расположенной в прикорневых частях рудолокализирующей структуры, содержание сурьмы в сфалерите и галените также выше, чем в пирите и халькопирите (соответственно, 215,5 и 1600; 197 и 263 г/т).

Таллий концентрируется в больших количествах только в галенитах и колломорфных дисульфидных железах. В рудных телах верхних горизонтов рудолокализирующих структур, где широко развиты мельниковит-пирит и скритокристаллический пирит, этот элемент в основной своей массе связан с колломорфными разностями дисульфидов железа. Галениты в этих рудных телах обеднены таллием. В рудном теле № 1 месторождения "Б" содержание элемента в дисульфидных железах составляет 103 г/т или 71,7% от общего количества его в рудах; для га-

ленитов соответствующие цифры составляют 47,0 г/т и 3,0 %. С увеличением глубины залегания рудных тел и снижением содержаний дисульфидов железа концентрация таллия в последних уменьшается, тогда как в галенитах увеличивается (30,0 г/т или 41,5% и 80,0 г/т или 12,0% соответственно; месторождение "Б", рудные тела № 2 и № 3). Наиболее обогащены таллием галениты сульфидных залежей месторождения "В", сформировавшихся на больших глубинах (в среднем до 146,8 г/т в галенитах против 12,1 г/т в дисульфидах железа, залежь № 5).

Различие физико-химических условий рудоотложения на верхних горизонтах и в корневых частях рудолокализирующих структур обуславливает также неодинаковую степень накопления в рудах родственных в геохимическом отношении элементов.

Золото и серебро постоянно обнаруживаются пробирным анализом во всех рудах колчеданно-полиметаллических месторождений. Однако степень накопления их относительно друг друга в однотипных рудах, сформировавшихся на разных глубинах, различна. В рудных телах верхних уровней рудолокализирующих структур золоте относительно серебра накапливается менее интенсивно, чем в рудных телах корневых их частей. На месторождении "Б" отношение кларков концентрации золота к серебру в медных рудах увеличивается от 0,19-0,25 в рудных телах № 1 и № 2 до 0,27-0,33 в рудных телах № 4 и № 3, на месторождении "А" - от 0,34 до 0,41, на месторождении "В" - от 0,39 (залежь № 5) до 0,85 и более (залежь № 6, рис.5).

Кадмий накапливается относительно цинка в сульфидных залежах верхних горизонтов рудолокализирующих структур (рис.5). Максимальная степень накопления его наблюдается в рудах медного и свинцового (свинцово-цинкового) состава, то есть в крайних членах генетического ряда. С увеличением глубины формирования рудных тел различия в относительном накоплении кадмия в генетическом ряду типов руд нивелируются, они минимальны в корневых частях рудолокализирующих структур.

Висмут, по ряду свойств близкий к свинцу, накапливается относительно последнего в медных (и медно-цинковых) рудах. В рудных телах верхних уровней рудолокализирующих структур накопление его относительно свинца не превышает (в кларках концентрации) первых десятков раз (26,4 в рудном теле № 1 месторождения "Б" и 43,6 в залежи № 5 месторождения "В"). С увеличением глубины формирования степень относительного накопления висмута возрастает до сотен раз,

достигая в корневых частях месторождения "Б" (рудные тела № 4 и № 3) 259,6–288,0.

Выше мы указывали, что изменение отношений кларков концентрации селена и теллура к сульфидной сере и мышьяка к сурьме можно использовать для определения глубин формирования месторождений. Но накопление селена и теллура относительно серы, сурьмы относительно мышьяка достаточно четко прослеживается и в ряду сульфидных залежей (например, на месторождении "Б", рис.5), в связи с чем эти признаки можно использовать также для определения как дополнительные, в совокупности с другими.

В качестве второстепенного признака уровня рудолокализирующих структур можно использовать и отношение селена к теллуру в галенитах и пиритах. На примере рудных тел месторождения "Б" (рис.6) видно, что в верхних горизонтах галениты резко обогащены селеном относительно теллура; последний в сульфиде свинца больше склонен накапливаться в глубокозалегающих рудных телах (рудное тело № 3). В отличие от галенитов, пириты относительно обогащены теллуром в рудных телах верхних горизонтов рудолокализирующей структуры и обеднены в корневых их частях. Накопление селена относительно теллура в галенитах рудного тела № I более чем в 10 раз превышает накопление его в пиритах, тогда как в рудном теле № 3 различие в относительном накоплении селена в галенитах и пиритах практически несущественны.

Описанные в настоящей статье минералого-геохимические признаки глубин формирования месторождений и уровней рудолокализирующих структур, по - видимому, не являются всеобщими: в изложенном виде они наиболее типичны, вероятно, для месторождений, рудные тела которых локализованы в пологопадающих структурах и последовательно сменяют друг друга в пространстве вдоль определенного рудолокализирующего контакта (рис.2,3). В крутопадающих структурах закономерности распределения и концентрации элементов-спутников будут, возможно, несколько иными, что требует дополнительного изучения.

Литература

1. Григорьев Д.П. Закономерности образования сульфидов меди в колчеданных месторождениях Среднего Урала. Зап. ВМО, п.77, 1948.
2. Иванкин П.Ф. Геология и вопросы генезиса полиметаллических

месторождений Прииртышья. Госгеолтехиздат, 1957.

3. Иванкин П.Ф., Иншин П.В., Кузобный В.С. - Рудные формации Рудного Алтая. Изд.АН Каз.ССР, 1961.
4. Сацков А.А. Геохимия. Госгеолтехиздат, 1962.
5. Татарников П.М. Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1963.
6. Ферсман А.Б. Геохимия кобальта. Изв.АН СССР. Сер.геол., 1939 № 3.
7. Ферсман А.Б. - Избранные труды, т. I-V, Изд-во АН СССР М., 1968.

Июль 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО
ЗАБАЙКАЛЬЯ И ИХ ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ

Б.П.Сангин

• институт геохимии СО АН СССР

Минералого-геохимическая зональность присуща гидротермальным месторождениям, и использование ее при поисковых и разведочных работах могло бы оказать существенную помощь в выявлении новых месторождений и рудных тел. Представленные на настоящем симпозиуме доклады подтверждают это положение.

Однако, несмотря на значительный объем проводимых геохимических исследований, эффективность их по-прежнему мала, что связано с недостаточным внедрением методов, основанных на использовании первичных ореолов, в практику работ. Подобная ситуация была охарактеризована в докладе Л.Н.Овчинникова и С.В.Григоряна /2/, которые отмечают, что большинство исследований первичных ореолов проводятся на различных объектах лишь в методическом плане, не связаны общей идеей и не доводятся до уровня внедрения в практику.

Нам представляется, что повышению эффективности геохимических исследований не может способствовать и увлечение идеей универсальной вертикальной зональности, охватывающей различные формационные ряды гидротермальных месторождений. Следует отметить, что использование подобной идеи в изучении конкретных рудных полей пока не привело к желаемым результатам. Поэтому чаще используется метод аналогии, т.е. перенесения в тот или иной район опыта из других регионов страны, где исследован соответствующий гене-

тический тип месторождений. Применение общих моделей вертикальной зональности, включающих месторождения разных генетических типов, оправдано только на первых этапах геологоразведочных работ, особенно в регионах, для которых не выработано единых представлений о типах имеющихся в них месторождений и их геологическом контроле. В условиях средне- и крупномасштабных поисково-разведочных работ на первый план должна выступать модель локальной вертикальной зональности, характеризующей определенный генетический тип месторождений. При проведении крупномасштабных поисково-разведочных работ генетический тип месторождения является тем звеном, который определяет как выбор площадей для поисков, так и методику их проведения.

Примером могут служить поисково-разведочные работы, проводимые в пределах полиметаллического пояса Восточного Забайкалья. Свинцово-цинковые месторождения этого пояса относились к единому генетическому ряду /1,4/. Это представление привело в настоящее время к трудностям в планировании дальнейших направлений поисково-разведочных работ. Следует отметить, что на первом этапе проведения поисково-разведочных работ на территории полиметаллического пояса разведчики придерживались методики поиска "руды около руды", которая себя оправдала. Сейчас наиболее остро стоит вопрос разработки критериев прогноза скрытого оруденения в первую очередь на обрабатываемых месторождениях и площадях, непосредственно прилегающих к действующим горнорудным предприятиям.

Проведенные в ряде рудных полей комплексные геолого-геофизико-геохимические исследования /5/ позволили выделить генетические типы полиметаллических месторождений, связанные с разными магматическими комплексами и характеризующиеся различными физико-химическими условиями рудоотложения (табл. I). Приведенные в табл. I характеристики представляют интерес в поисковом отношении. В редкометалльно-полиметаллическом и галенит-сфалеритовом типах выделяются подтипы в зависимости от вмещающей среды. Указано положение оруденения относительно рудоносных интрузивных комплексов, что должно учитываться при планировании площадей под поисково-разведочные работы на тот или иной тип месторождений. Разные генетические типы полиметаллических месторождений характеризуются определенными гидротермальными изменениями вмещающих пород, что свидетельствует о различных условиях их образования. Гидротермальные изменения вмещающих пород, особенно синрудные,

Генетические типы полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья

Таблица I

	Скарново-полиметаллический (Савинское № 5)	Редкометалльно-полиметаллический		Собственно-полиметаллический		Сульфосольно-полиметаллический (Благодатское)
		В алюмосиликатных породах (Каменское)	В карбонатных породах (Кличкинское)	В алюмосиликатных породах (Покровское)	В карбонатных породах (Акатуевское)	
Структурно-морфологические типы оруденения	Прожилково-вкрапленные и массивные руды в зонах скарнов и вблизи границ скарнирования	Прожилково-вкрапленные руды в зонах грейзенизации	Жилообразные рудные тела	Прожилково-вкрапленные руды в гидротермальной измененных породах	Трубо-, гнездо- и линзовидные метасоматические рудные тела	Метасоматические тела сложной формы и трещинные жилы в зонах разломов
Связь с магматизмом	Прямая генетическая связь с гранитоидными интрузиями (Кукульбейский комплекс)			Косвенная генетическая связь с малыми интрузиями (Акатуевский комплекс)		Парагенетическая связь с дайками и субвулканическими телами (Нерчинско-Заводской комплекс)
Интервал рудообразования	1,5-3,5 км	1,0 - 2,0 км		0,8 - 2,0 км		0,4-1,5 км
Околорудные изменения пород, от ранних к поздним	Скарнирование, пропилитизация, окварцевание, карбонатизация	Калишпатизация, грейзенизация, березитизация, окварцевание	Грейзенизация, березитизация, окварцевание	Турмалинизация, березитизация, окварцевание	Доломитизация, серпентинизация, окварцевание, карбонатизация	Доломитизация, окварцевание, аргиллизация, карбонатизация
Синрудные изменения вмещающих пород	Пропилитизация	Березитизация	Типа березитизации	Березитизация	Кремнисто-карбонатные метасоматиты	Аргиллизация, доломитизация
Установленный надрудный интервал синрудных изменений	Более 100 м	Нет данных		Более 30 м	70-80 м	Первые десятки метров

необходимо учитывать при поисках скрытого оруденения.

Ниже приводятся дополнительные геохимические данные для трех генетических типов полиметаллических месторождений.

Руды разных типов различаются как по уровню средних содержаний, так и по набору элементов (табл.2). На месторождениях сульфосольно-полиметаллического типа они характеризуются повышенными концентрациями As, Sb, Ag, In, Cd, Tl, Hg; указанный набор элементов свидетельствует об образовании руд в близповерхностных условиях и в более низком интервале температур. Руды месторождений скарново-полиметаллического типа имеют качественно иной спектр элементов, для них свойственны Nb, Bi, Co, V, высокие концентрации Ti, низкие содержания Sb, что свидетельствует о качественно ином источнике рудного вещества. Месторождения разных типов четко различаются также по редкоземельному составу основных рудных минералов: сфалерита, галенита и пирита — при качественном сходстве спектра редких элементов наблюдается различие по уровню их концентрации /5/. Таким образом, каждый генетический тип полиметаллических месторождений характеризуется определенными геологическими и минералого-геохимическими признаками, которые должны учитываться при поисково-разведочных работах.

Наиболее поздними минеральными ассоциациями, образующимися при формировании рудных тел, являются: галенит + карбонат; галенит + сульфосоли свинца + карбонат; галенит + карбонат + сфалерит. При этом количественно роль отмеченных минералов варьирует в широких пределах. Так, на Савинском № 5 скарново-полиметаллическом месторождении минералы сульфосолей свинца имеют крайне ограниченное распространение и встречены практически на одном верхнем горизонте, в то время как на Благодатском и Екатерино-Благодатском месторождениях сульфосольно-полиметаллического типа минеральная ассоциация с сульфосолями свинца имеет повсеместное развитие по вертикали в пределах известного контура оруденения. Это находится в соответствии со следующей общей особенностью зональности месторождений. Установлено, что верхние части вертикальных колонок зональности для всех изученных полиметаллических месторождений идентичны, что, по-видимому, отражает сходные физико-химические условия формирования конечного интервала рудообразования.

Вертикальная колонка зональности месторождений скарново-поли-

Таблица 2

Элементный состав руд полиметаллических месторождений (в %)

Тип месторождения	As	Sb	Ag	Cu	Sn	In	Cd	Ni	Co	V	Bi	Nb	Tl
Сульфосолюно-полиметаллический (Благодатское)	1,0	0,12	0,013	0,06	0,014	0,011	0,023	0,002	-	-	-	-	0,003
Собственно-полиметаллический/Акатуевское	0,07	0,06	0,020	0,035	0,002	0,006	0,020	0,001	-	-	0,015	-	0,01
Скарново-полиметаллический (Савинское № 5)	0,9	0,02	0,006	0,050	0,013	0,008	0,015	0,007	0,003	0,003	0,005	0,01	0,3

металлического типа включает в себя фрагментарно узкие интервалы колонок полной зональности двух других генетических типов полиметаллических месторождений.

Надрудные интервалы скрытого полиметаллического оруденения различных генетических типов имеют однотипный элементный спектр первичных ореолов и различные масштабы их проявления. Поэтому использование одних первичных ореолов не позволяет определить характер оруденения, а вместе с тем и дальнейшую методiku поисково-разведочных работ. Для этого необходимо применять другие указанные выше критерии, которые позволяют предсказать тип ожидаемого на глубине оруденения и соответствующим образом направить работы на выявленных участках.

Выделение генетических типов полиметаллических месторождений на территории Восточного Забайкалья позволяет при комплексных геолого-геофизико-геохимических исследованиях более дифференцированно искать скрытое свинцово-цинковое оруденение.

Л и т е р а т у р а

1. Кузнецов К.Ф., Мейтув Г.М. Геохимия редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья. "Наука", 1967.
2. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. В сб.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
3. Поликарпочкин В.В., Таусон Л.В., Дубов Р.И., Китаев Н.А., Пампура В.Д., Санин Б.П., Трошин Ю.П. Зональность гидротермальных месторождений как основа поисков глубокозалегающих рудных тел. - В сб.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
4. Смирнов С.С. Избранные труды. М., 1955.
5. Таусон Л.В., Санин Б.П. Генетические типы полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья. Ежегодник-1969, СибГЕОХИ, Иркутск, 1970.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГИМ)

Июль 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД
И ЖИЛЬНОГО КАЛЬЦИТА ДЛЯ ПОИСКОВ СКРЫТОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО
ОРУДЕНЕНИЯ

Р.А.Торосян

Институт геохимии СО АН СССР

В настоящее время большая роль в поисках скрытого оруденения отводится геохимическим методам, в особенности с использованием первичных ореолов, на основе полуколичественного спектрального анализа, обеспечивающего быстрое и эффективное проведение геохимических исследований при небольшой их стоимости. Нам хотелось бы обратить внимание на важность учета генетических, структурно-морфологических и минералого-петрографических особенностей известных месторождений для прогнозирования скрытого оруденения.

При изучении Михайловского полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье), залегающего в известняках и сложенного массивными рудами с отчетливой минералогической зональностью, было установлено, что в горизонтальном сечении ширина первичных ореолов рудных тел составляет, как правило, лишь первые десятки сантиметров и не превышает 1 м. По восстанию, на расстоянии 20 м от выклинивания рудных тел аномальные содержания Zn, Pb, Cu, Ag, Sb и As фиксируются только в 20%-проб с коэффициентом контрастности менее 2. Очевидно, в этом случае поиски скрытого оруденения по первичным ореолам не могли бы привести к существенным результатам.

В то же время, как показали проведенные нами совместно с Б.П. Саниным исследования, прямыми индикаторами скрытого оруденения

могут служить кварц-доломит-анкеритовые метасоматиты. Над рудными телами, на удалении в 30-40 м от них, площадь развития этих метасоматитов довольно значительна. Анализ имеющихся данных показывает, что аномальные концентрации элементов-индикаторов расположены вдоль трещин, вокруг которых вмещающая порода подвергнута гидротермальному изменению (превращена в кварц-доломит-анкеритовый метасоматит). Такой характер первичных ореолов рудных тел, когда аномальные содержания элементов-индикаторов обнаруживаются только на участках развития гидротермального изменения вмещающих пород и приурочены к трещинам, отмечается для большинства месторождений полиметаллического пояса Восточного Забайкалья (Савинское № 5, Акатуевское, Кадаинское и др.). Очевидно, в Восточном Забайкалье, наряду с первичными ореолами, в поисковых целях могут использоваться специфические для каждого месторождения гидротермально измененные породы. В частности, для выявления скрытого оруденения в карбонатных породах исключительно важно обнаружение кварц-доломит-анкеритовых метасоматитов.

Кроме того, в результате геохимического изучения жильного кальцита на Михайловском месторождении мы пришли к выводу, что он может быть использован в качестве прямого индикатора скрытого полиметаллического оруденения одновременно с выявлением физико-химических условий механизма формирования рудных тел и решением некоторых других генетических вопросов. Обогащенные Fe, Mn и Sr кальциты образуются из отработанных рудоносных растворов на значительном расстоянии от места локализации рудных залежей. Зональность распределения содержаний Fe, Mg, Ba и Sr позволяет приблизительно оценить возможную глубину залегания скрытого оруденения, а по объему кальцитовых жил, видимо, возможно предсказать масштаб оруденения.

Резюмируя сказанное, я хотел бы подчеркнуть, что при поисках скрытого оруденения необходимо выявлять и изучать все возможные его критерии, которыми наряду с первичными ореолами могут быть особые виды метасоматитов и жильные минералы (кальцит, кварц, барит, хлорит, серицит, турмалин и т.д.). Прогнозирование скрытого оруденения должно базироваться на комплексном применении этих критериев.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СТМ)

Июль-сентябрь 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ПЕРВИЧНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ ХАКАНДЖИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛИЗПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СЛЕПЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

М.И. Воин

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный
институт

Первичные геохимические ореолы близповерхностных (эпитермальных) месторождений, в том числе золоторудных, изучены пока мало. Состав и морфология первичных ореолов детально исследованы на значительную глубину лишь в одном золоторудном поле такого типа — Балеysком /2,4,6/. Данные об ореолах ряда эпитермальных золоторудных месторождений обобщены в докладе В.В.Поликarpочкина, Л.В.Таусона и др. /9/.

В этом сообщении мы приводим данные о первичных геохимических ореолах вокруг слепых рудных тел Южного участка Хаканджинского золото-серебряного месторождения на Северо-Востоке СССР. По данным Л.Н.Пляшкевич /7/, Ф.Ф.Вельдякова и др. /1/, В.И.Найбородина /6/, месторождение представлено пологопадающей залежью метасоматитов, расположенной в субвулканическом теле липаритов и имеющей сложное строение. Основные минералы рудных тел — кварц, адуляр, родонит, родохрозит, золото, аргентит, сульфиды цветных металлов, окислы марганца. Хаканджинское месторождение и Балеysкое рудное поле имеют ряд общих геологических черт: однотипность околорудных изменений (окварцевание, аргиллизация), низкая пробность и высокая серебрность золота, приуроченность высоких содержаний золота к халцедоновидному кварцу и т.д. Хаканджинское

месторождение отличается от Халейского рудного поля характером вмещающих пород (диариты разных текстур и структур) и пологим падением основной рудовмещающей структуры - Главной рудоносной зоны.

Геохимическая зональность околорудных метасоматитов Хаканджи изучалась В.И.Найбородиним /6/. Он выделяет два основных типа ореолов, наиболее ярко проявленных в северных участках месторождения: 1) обычные ореолы выщелачивания, характерные для большинства породообразующих элементов; 2) сложные ореолы выщелачивания с наличием в центральной части ореола подзоны отложения, характерные для ряда рудообразующих элементов. Поэтому для Хаканджи удобнее пользоваться понятием первичного ореола в трактовке Н.В.Квашневской и Н.Н.Сочеванова /3/ как зоны рудовмещающих пород, претерпевшей в процессе рудообразования обогащение одними и обеднение другими химическими элементами.

Ниже рассмотрены ореолы золота, а также тех элементов, содержания которых можно определить обычным групповым спектральным анализом. Ореолы золота оконтурены по данным полуколичественного химико-спектрального анализа (ЦНИГРИ, аналитик В.Е.Плошкин) с контролем проб при околокларковых содержаниях нейтронно-активационным методом (Тульское отделение ЦНИГРИ, С.П.Попов, Л.К.Скворцова, Т.В.Проничева), а при содержаниях выше 1 г/т - пробирным анализом. Для оконтуривания ореолов остальных элементов использованы полуколичественный спектральный анализ на 32 элемента (Тульское отделение ЦНИГРИ, руководитель В.С.Ананьев) и приближенно-количественный спектральный анализ с повышенной чувствительностью на ДЭС-13 на 16 элементов (Бронницкая ГПН ИМПРЭ, аналитик Л.Богомазова). В нижеследующей таблице сведены данные о чувствительности анализов и фоновых содержаниях элементов (в г/т).

Минимально-аномальные концентрации элементов, содержания которых в большинстве проб фоновой совокупности выше порога чувствительности анализа (Mn, Zn, Mo и др.), определялись при трех уровнях значимости (10%, 5% и 1%). Для мышьяка, вольфрама, таллия и бериллия за аномальные принимались содержания выше порога чувствительности анализа. Для золота и серебра, максимальные концентрации которых в пределах рудных тел на несколько порядков выше фоновых, за минимально-аномальные приняты содержания соответственно 0,1 и 1,0 г/т. Под размерами ореолов мы понимаем эф-

Элементы	Порог чувствительности	Среднее фоновое содержание
Золото	0,002	0,02
Серебро	0,01	0,1
Медь	1,0	8
Свинец	1,0	10
Марганец	10	200
Цинк	10	35
Молибден	0,1	2
Барий	10	600
Стронций	10	200
Мышьяк	30	30
Вольфрам	3	3
Таллий	1	1

эффективные мощность и протяженность, оконтуриваемые по минимально-аномальному содержанию. Сравнение параметров ореолов производится в пределах их эффективных размеров.

Опробование при изучении ореолов производилось методом пунктирной борозды; протяженность интервала, включаемого в одну пробу, колебалась от первых десятков сантиметров в пределах рудных тел до 6-7 м в удалении от них (в среднем 1-1,5 м). Изученная часть профиля вкрест Главной рудоносной зоны месторождения находится в липаритах, пересекаемых единичными, маломощными дайками андезито-базальтов. Рудоносная зона на профиле проявлена четко, но границы ее с вмещающими породами визуально не определяются. В верхней части профиля, на горизонте штольни (см. рис. 1), богатых золотом интервалов нет, а на уровне подсечения скважинами руды сложены кварц-родонит-родохрозитовым жильным агрегатом с мелким самородным золотом, пиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом и, по данным М.Г. Андреевой, реже встречающимися блеклыми рудами, арсенопиритом, сульфосолями серебра и некоторыми другими минералами.

Ореол золота, оконтуренный по содержанию 0,1 г/т, не является

сплошным. В изученном профиле обогащенные золотом участки группируются в сужающееся кверху линзовидное тело, имеющее максимальную мощность, включая перерывы до 35 м. Ось ореола совпадает с осью Главной рудоносной зоны месторождения. Внутри его выделяются четыре протяженных золотоносных тела, из которых два содержат интервалы с высоким содержанием золота. Структура ореола золота сложная. Намечаются пологопадающие тела, параллельные зоне в целом, и одно — более крутое. Характер изменения содержаний Au вкrest пологих тел и крутого различен. Пологие тела отчетливо асимметричны: постепенное снижение содержаний от наиболее богатых частей рудных тел к вмещающим породам наблюдается лишь в лежачем боку, а в висячем — содержания резко возрастают от фоновых до максимальных. В более крутопадающем теле асимметрии распределения содержаний не устанавливается, переход от фоновых содержаний к высоким — резкий. Быстрый переход от фоновых содержаний к богатой руде со стороны висячего бока зоны затрудняет использование ореола золота для выявления слепых рудных тел. Поэтому особое значение приобретает выявление тех элементов-спутников золота, ореолы которых в надрудной части месторождения более протяженны (таковы серебро, вольфрам, мышьяк, таллий и барий).

Ореолы Ag, W, Tl, As (рис. I, 2) являются сплошными и эффективная мощность их превосходит эффективную мощность ореола золота больше чем в 3 раза. Наиболее простое строение имеет ореол серебра: он симметричен, богатые части ореола расположены вдоль его оси, все тела с повышенной золотоносностью расположены в контурах с содержанием серебра 10 г/т и более. Зона обогащения серебром, сужаясь, протягивается по восстанию Главной рудоносной зоны минимум на 50 м выше верхнего окончания богатых интервалов золоторудных тел. Подобную же форму имеет и ореол вольфрама, но основное тело с повышенными (10 г/т и более) содержаниями вольфрама несколько уже, чем у серебра, и по восстанию рудоносной зоны оканчивается в 10–15 м ниже, чем тело серебра. Вверх по разрезу рудовмещающей толщи в ореоле вольфрама фиксируется еще несколько обогащенных интервалов, причем в наиболее мощном из них встречаются содержания вольфрама 100 г/т и выше.

Более сложную форму имеет ореол таллия. Выше и ниже Главной рудоносной зоны развиты почти сплошные поля с содержаниями таллия в 3–4 г/т. Параллельно оси рудоносной зоны, на протяжении нескольких метров выше нее, считая по нормали, отмечаются более

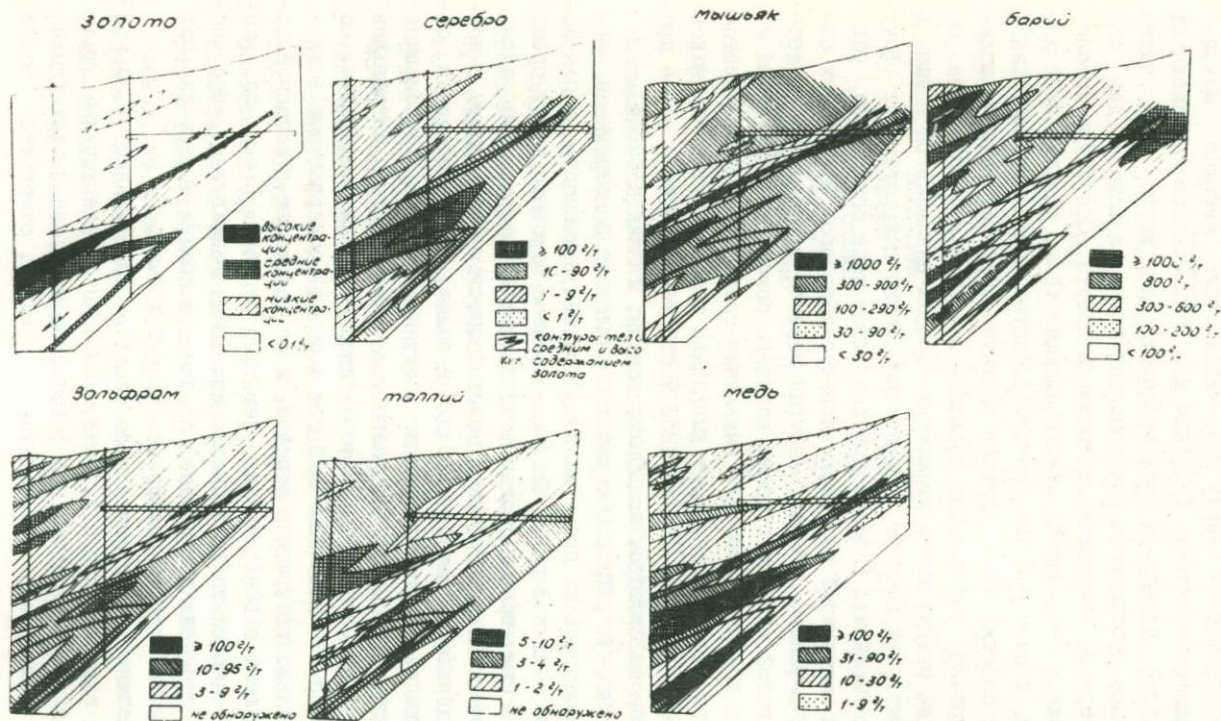


Рис.1. Первичные ореолы Южного участка Хаканджинского месторождения (вертикальные разрезы). Концентрации золота, серебра, вольфрама и теллура.

Рис.2. Первичные ореолы Южного участка Хаканджинского месторождения (концентрации мышьяка, бария, меди).

низкие содержания (1-2 г/т). На границах между этими полями расположены тела с наиболее высокими содержаниями таллия (5-10 г/т), причем более крупное тело расположено со стороны висячего бока рудоносной зоны. Мышьяк также характеризуется наличием полосы относительно низких содержаний (30-290 г/т) в поле с содержанием выше 300 г/т, имеющем ширину не менее 90 м. По сравнению с ореолом таллия, ореол мышьяка сильнее сдвинут вверх (по нормали) от оси рудоносной зоны: указанная полоса относительно низких содержаний расположена в висячем боку рудоносной зоны, а в нижней части разреза богатая часть ореола мышьяка заканчивается выше одного из тел с повышенной золотоносностью. Наиболее богатые мышьяком части ореола (с содержанием в 0,1% и выше) маркируют висячие бока двух тел с повышенной золотоносностью, образуя своеобразную "шапку" над золотоносной зоной.

Прерывистые ореолы над рудоносной зоной образуют барий и стронций. Наибольшие (0,08% и более) содержания бария отмечаются, главным образом, выше золоторудных тел по восстанию рудоносной зоны и в ее висячем боку. Участки с содержанием бария 0,1% и более образуют шапки над интенсивно золотоносными интервалами: по восстанию рудоносной зоны в 30-60 м, в ее висячем боку - на расстоянии до 60 м. Ореол стронция по форме напоминает ореол бария, но размеры его в несколько раз меньше, и его обогащенные части менее удалены от тел с повышенной золотоносностью.

Еще более прерывистым является ореол меди. Более крупные части его с повышенными (31 г/т и выше) содержаниями меди имеют стреловидную форму, четко симметричны, пространственно хорошо совпадают с золотоносными телами. Но мощности интервалов с повышенным содержанием меди всего в 1,2-2,0 раза больше мощности с повышенным содержанием золота. Аналогичные взаимоотношения с ореолом золота имеют марганец, цинк и свинец. Так как эффективная мощность ореолов Cu, Mn, Zn, Pb лишь немного больше эффективной мощности ореола золота, то и поисковое значение ореолов этих элементов-спутников золота для выявления слепых тел невелико.

Очень узкий ореол близ одного из тел с повышенной золотоносностью образует бериллий, еще более узкий - молибден. Ореола сурьмы при пороге чувствительности анализа в 10 г/т оконтурить не удается.

Структура первичных геохимических ореолов на Южном участке Ха-

канджинского месторождения является сложной. Ореолы вокруг рудоносной зоны в целом имеют сравнительно большую мощность, значительную протяженность по восстанию и форму, в общем подобную форме самой рудоносной зоне. Согласно В.И.Найбородину /6/, можно полагать, что эти ореолы являются существенно инфильтрационными. Детали строения ореолов, в особенности на интервалах, обогащенных основными рудообразующими элементами, сложны. Расположение обогащенных интервалов обусловлено локальными рудоконтролирующими структурами, но детали распределения элементов могут определяться диффузионными процессами.

По элементному составу ореолов Хаканджа похожа на эпitherмальные золоторудные месторождения Забайкалья и Дальнего Востока /4/. Здесь, кроме золота и серебра, резко повышены концентрации мышьяка, марганца, вольфрама. При меньших коэффициентах концентрации постоянно в преолах и рудах месторождения присутствуют Pb, Cu, Zn, Tl. Таким образом, от месторождений Забайкалья и Дальнего Востока Хаканджа отличается большими концентрациями в первичных ореолах Mn и W, меньшей - Sb.

Наибольшее значение при поисках слепых рудных тел имеют ореолы элементов с большой эффективной мощностью, превышающей эффективную мощность ореола золота (Ag, As, Tl, W, Ba). Серебро сравнительно далеко распространяется по восстанию рудоносной зоны, барий и мышьяк характеризуются отчетливо выраженной асимметрией ореолов, они накапливаются также в породах висячего блока над рудоносной зоной.

Анализ пространственных взаимоотношений ореолов ряда элементов показывает, что для обогащенных частей ореолов намечается определенная зональность в зависимости от положения по отношению к рудным телам. Эта зональность в целом хорошо согласуется с порядком выделения минералов из гидротермальных растворов, то есть с уменьшением величины изменения изобарно-изотермического потенциала в расчете на один анион, входящий в соединение, $-\frac{\Delta \lambda_T}{n}$ /5/. Приведенные ниже величины $\frac{\Delta \lambda_T}{n}$ в ккал/моль взяты из таблиц для $T = 500^\circ$ по Кельвину, близкой к средней температуре рудообразования на месторождении. Узкие ореолы вокруг рудных тел образуют главным образом те элементы, которые находятся в минералах, имеющих сравнительно высокие значения $\Delta \lambda_T$, в том числе жильные: являющиеся концентраторами калия мусковит-1226,7 и адуляр-826,4; родонит $MnSiO_3$ -270,5; родохрозит $MnCO_3$ -163,1; рудные: MnO_2 -

102,9; тетраэдрит $3\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$ - 88,7. Несколько шире ореолы элементов, входящих в состав минералов-концентраторов главных рудных элементов-спутников, с более низкими значениями ΔZ_T : ZnS - 46,2; CuFeS_2 - 31,4; Ag_3SbS_3 - 28,8; PbS - 21,9; Ag_2S - 18,0; FeAsS - 17,5.

Неясно, какой минерал в условиях Хаканджи является концентратором таллия. Величина ΔZ_T у двуокиси таллия невелика - 33, $\frac{\text{ккал}}{\text{моль}}$ и, возможно, этим отчасти объясняются значительные размеры ореола таллия. Ореол этого элемента сформировался, вероятно, в две стадии: сначала образовался широкий ореол вокруг рудоносной зоны, а затем произошло перераспределение таллия с отгонкой его в краевые части рудоносной зоны.

Л и т е р а т у р а

1. Вельдяков Ф.Ф., Рябов А.В., Старников Ю.Г., Умитбаев Р.Б. Новый тип эпitherмального золото-серебряного месторождения. - В кн.: Рудоносность вулканогенных образований Северо-Востока и Дальнего Востока, Магадан, 1967.
2. Гапонцев Г.П., Поликарпочкин Е.В., Сарапулова В.Н., Нестерова А.А. Распределение элементов-спутников золота в плоскости жил Балецкого рудного поля. - Геол.рудн.-м.-ний. 1969, № 5.
3. Квашневская Н.В., Сочеванов Н.Н. Геохимические методы прогнозирования и поисков скрытого оруденения. МГК, 23 сес. Докл. сов.геологов. Проблемы 6 и 13а. "Наука", 1968.
4. Китаев Н.А., Новиков В.М., Нарышев А.М., Поликарпочкин В.В. Сравнительные данные по элементному составу и зональности первичных ореолов эпitherмальных золоторудных месторождений Забайкалья и Дальнего Востока. - Ежегодник-1969 СибГЕОХИ. Иркутск, 1970.
5. Летников Ф.А. Изобарные потенциалы образования минералов (химическое средство) и применение их в геохимии. - М., "Недра", 1965.
6. Найбородин В.И. Эндогенные геохимические ореолы элементов в околорудных метасоматитах субвулканического золото-серебряного оруденения. - В кн.: Критерии рудоносности метасоматитов. Материалы к симпозиуму. Алма-Ата, 1969.

7. Пляшкевич Л.Н., Сидоров А.А. Проявления эпitherмального золотого и золото-серебряного оруденения на Северо-Востоке. - В кн.: Рудоносность вулканогенных формаций. "Недра", 1965.
8. Поликарпочкин В.В., Китаев Н.А., Сарапулова В.Н. Строение и вертикальная зональность первичных ореолов рассеяния Балейского золоторудного поля. - Геохимия, 1965, № 8.
9. Поликарпочкин В.В., Таусон Л.В., Дубов Р.И., Китаев Н.А. и др. Зональность гидротермальных месторождений как основа поисков глубокозалегающих рудных тел. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
10. Сидоров А.А., Найбородин В.И. О типах золото-серебряных месторождений в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе. - ДАН СССР, том 181, № 1, 1968.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

Сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

НЕКОТОРЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО ТИПА

В.В.Рябов, Г.П.Павлов

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов

В настоящее время, как показывают материалы, представленные на данной сессии, хорошо исследованы первичные геохимические ореолы различных сульфидных месторождений. Геохимические особенности железорудных месторождений контактово-метасоматического типа начали изучаться только в последнее время.

Проведенный авторами анализ распределения микроэлементов в различных минеральных ассоциациях, слагающих скарново-магнетитовые месторождения, позволил выявить интересные закономерности строения и формирования этих месторождений, которые, по-видимому, могут иметь не только практическое значение, но и способствовать решению некоторых общих вопросов генезиса первичных ореолов. Работы велись на месторождениях Магнитогорского, Теченского, Тагильского, Кушвинского рудных полей Южного и Среднего Урала. Пробы анализировались спектральным приближенно-количественным методом на 33 элемента.

Для выявления особенностей распределения микроэлементов в случаях существенного перераспределения их применялась следующая методика. Фоновые содержания определялись в различных породах из участков, максимально удаленных от рудоконтролирующих зон, с уточнением степени изменения их под микроскопом. Рассчитывались пределы колебаний фоновых содержаний с 5%-ным уровнем значимости и за пределами диапазона этих колебаний считались: ниже их - ано-

малии выноса, выше - аномалии привноса.

Было установлено, что в рудоконтролирующих структурах отчетливые ореолы образуют барий, стронций, бор, титан, ванадий, бериллий, фосфор, иттрий, цирконий, скандий, хром, марганец, кобальт, никель, цинк, серебро, свинец, медь, молибден, олово, германий, церий, ртуть.

Наиболее благоприятными для развития ореолов структурами, в которых они достигают максимальной интенсивности, являются зоны тектонических нарушений и повышенной трещиноватости, контакты различных геологических образований. Ореолы представлены отдельными зонами переменной мощности. Ширина их достигает первых сотен метров при значительном (более 1000 м) удалении от магнетитовых залежей по восстанию зоны.

Как известно /2,3/, контактово-метасоматические месторождения сложены несколькими последовательно образующимися минеральными ассоциациями. Изучение распределения микроэлементов в этих ассоциациях показало, что каждая из них характеризуется определенным комплексом элементов-индикаторов.

К наиболее ранним ассоциациям относятся существенно полевошпатовые (альбит-олигоклазовые, калишпатовые) метасоматиты, образующие обычно широкие ореолы вокруг скарново-рудных зон. При сравнении со слабоизмененными породами обнаруживается обеднение полевошпатовых метасоматитов ванадием, марганцем, кобальтом, медью, цинком, оловом, свинцом, молибденом. В то же время на Теченском месторождении в этих породах установлены повышенные концентрации хрома, стронция, бария. Содержание остальных элементов-примесей в процессе калинатрового метасоматоза, по-видимому, не меняется, однако поведение этих элементов недостаточно изучено.

Наиболее четко выявляются комплексы элементов, характеризующих процессы скарно- и рудообразования.

Скарнообразованию сопутствует привнос значительного количества марганца, в меньшей мере олова и германия. Большая группа элементов в скарновых зонах находится в концентрациях, значительно уступающих фоновым и кларковым, образуя отчетливые ореолы выноса. Интенсивному выносу из скарновых зон подвергаются барий, стронций, фосфор, хром, ванадий, возможно, скандий.

В процессе формирования магнетитовых руд также устанавливается вынос ряда микроэлементов - титана, фосфора, скандия, олова, германия, марганца, вероятно, бария, стронция, ртути. Однако, ха-

рактерной особенностью процесса рудоотложения является привнос большой группы микроэлементов - кобальта, никеля, меди, цинка, серебра, свинца, молибдена, иттрия, хрома, ванадия.

Приведенные данные показывают, что изменение физико-химических условий гидротермально-метасоматического процесса оказывает влияние не только на возникновение различных минеральных ассоциаций, но и на поведение микроэлементов в этом процессе. Накопление одних элементов и вынос других при образовании различных метасоматических пород и магнетитовых руд позволяет предполагать, что ореолы скарново-магнетитовых месторождений формируются не только в результате привноса вещества растворами из глубин, но также за счет перераспределения микроэлементов. Эти особенности формирования ореолов обуславливают различное положение микроэлементов в рудоконтролирующей зоне по отношению к определенным гидротермально-метасоматическим образованиям и друг к другу. Изучение геохимических ореолов, формирующихся в связи с процессами образования скарнов и магнетитовых руд на месторождениях Среднего и Южного Урала, подтверждает этот вывод.

Вынос микроэлементов из скарновых зон и накопление за их пределами в направлении движения растворов наиболее отчетливо наблюдается на Южно-Лебяжинском месторождении (рис. I). Гранатовые и пироксен-гранатовые скарны на этом месторождении связаны с крутопадающим разрывным нарушением. Магнетитовая залежь находится на глубине более 1000 м, а скарновая зона уходит вверх от рудного тела на 450-500 м. На наибольшее расстояние от рудного тела и верхов скарновой зоны удалены бор (соответственно на 1200 и 500 м) и ртуть (более 1200 м). Ореолы стронция располагаются на участке перехода скарновой зоны во вмещающие породы. Остальные элементы распределены между областями накопления бора и стронция. В целом элементы надскарнового ореола образуют следующий ряд зональности (сверху вниз): ртуть - бор - ванадий - бериллий - барий (цирконий) - хром - стронций - (итрий). Ниже, в пределах скарнового тела, располагаются ореолы марганца, олова, германия.

Таким образом, в процессе формирования скарновых зон образуются сопряженные ореолы выноса и накопления в результате выщелачивания микроэлементов при скарнообразовании и отложения их во вмещающих породах. Это является характерной особенностью ореолов скарновой зоны.

Напротив, при образовании магнетитовых руд основное значение

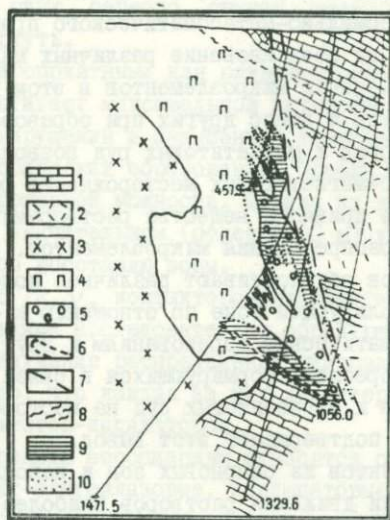


Рис. I. Первичные ореолы хрома на Южно-Лебяжинском месторождении.
 I - известняки; 2 - туфы; 3 - сиениты; 4 - существенно полевошпатовые породы; 5 - скарны; 6 - контуры рудного тела; 7 - разрывные нарушения; 8 - зоны дробления и рассланцевания; 9 - ореолы накопления хрома; 10 - ореолы выноса хрома.

приобретают ореолы накопления за счет привноса микроэлементов рудообразующими растворами. Ряд микроэлементов мигрирует из участков рудоотложения, однако степень выноса большинства из них незначительна, и они отлагаются обычно вблизи рудных тел. Магнетитовые залежи сопровождаются ореолами накопления марганца, кобальта, никеля, цинка, серебра, свинца, меди, молибдена, германия, олова, хрома.

При анализе распределения элементов-индикаторов магнетитового оруденения относительно друг друга установлено, что в надрудных сечениях накапливаются серебро, свинец, цинк, никель; на уровне верхних частей рудных тел и непосредственно над последними - кобальт, марганец, германий, олово; в околорудном пространстве и в подрудных сечениях - медь и молибден. Такое распределение элементов-индикаторов магнетитовых залежей подтверждается характером изменения отношений линейных продуктивностей по падению рудных зон. Установленный ряд зональности в целом совпадает с рядом зональности, выведенным на основании изучения первичных ореолов большого количества месторождений Средней Азии /1,4/.

Вместе с тем на Теченском месторождении (рис.2) верхняя часть ряда имеет существенные отличия - никель занимает наиболее высокое положение, а цинк располагается выше свинца. На месторождении Березки в околорудных сечениях наблюдается повышение роли олова, молибдена, меди и кобальта относительно свинца, серебра, никеля, цинка, т.е. создается впечатление, что первые занимают более высокое положение. Однако в надрудных сечениях их роль уменьшается и здесь начинают преобладать серебро, свинец, цинк. Такое строение ореолов связано, вероятно, с более высоким градиентом концентрации на уровне рудных тел элементов нижней части ряда зональности.

Таким образом, анализ распределения элементов указывает на сложность формирования геохимических ореолов скарново-магнетитовых месторождений. В процессе формирования каждой минеральной ассоциации образуется свойственный ей геохимический ореол, имеющий зональное строение. Поэтому следует ожидать наложения одних ореолов на другие. Так как ранние минеральные ассоциации распространены шире и неполностью замещаются более поздними, то геохимические ореолы последних обычно не выходят за пределы ореолов ранних ассоциаций и располагаются, как правило, в их нижних частях. Например, на Южно-Лебяжинском месторождении хром дает ореол

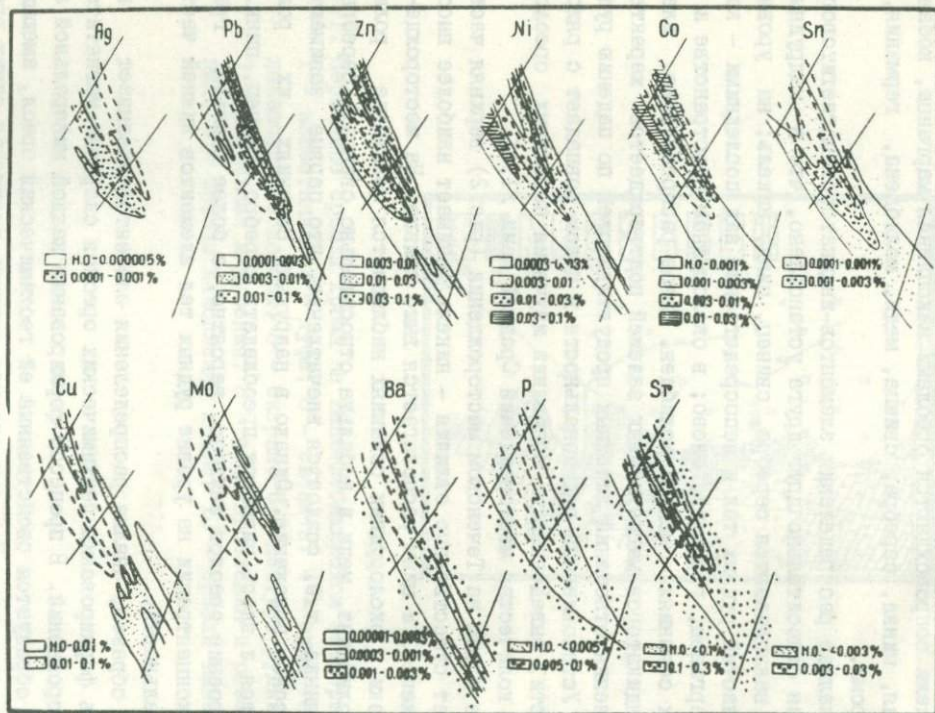


Рис. 2. Первичные ореолы химических элементов (Теченское месторождение).
Пунктиром показаны контуры рудных тел.

лы накопления над скарновой зоной. В то же время повышенные содержания его установлены на уровне рудного тела. То есть, он образует ореолы в связи как со скарновым, так и рудным процессами. Эти ореолы пространственно разобщены (см. рис. I).

Наиболее отчетливо совмещение ореолов наблюдается на месторождении Березки. Как было показано, марганец, германий, олово являются типичными элементами скарнового процесса. Они дают высококонтрастные аномальные концентрации в скарновой зоне. Вынос этих элементов из участков рудообразования приводит к возникновению ореолов с максимальными концентрациями марганца, германия, олова в скарнах вблизи рудных тел.

Возникновение интенсивных геохимических ореолов на значительном удалении от скарновых тел создает хорошие предпосылки для их поисков. Рудоносность вскрытых скарновых полей может быть оценена путем изучения распределения элементов-индикаторов магнетитового оруденения. Особенности распределения элементов-спутников скарново-рудных зон могут быть использованы также для оценки слабых магнитных аномалий.

Полученные результаты применены для оценки комплексной геохимической аномалии в зоне разлома севернее Магнитогорского месторождения (участок "Карьер Элеваторный"). Здесь установлены аномальные концентрации марганца, германия, цинка, кобальта, никеля, ванадия и др. Этот комплекс элементов характеризует скарново-магнетитовые месторождения. Преобладание надрудных элементов над околорудными, накопление в пределах аномалии ванадия и отсутствие выноса циркония, скандия, иттрия являются показателями надрудного характера ее. Магнитометрические исследования, проведенные на участке после геохимических работ, выявили магнитную аномалию слабой интенсивности. Наличие интенсивной геохимической и слабой магнитной аномалий дало основание прогнозировать скрытое рудное тело.

Положительные результаты работ по изучению ореолов скарново-магнетитовых месторождений позволяют рекомендовать при поисках этих месторождений применение в комплексе с геофизическими дешевых геохимических методов.

Л и т е р а т у р а

1. Григорян С.В. Эндеогенные ореолы гидротермальных месторождений и их использование при поисках и разведке рудных месторожде-

- ний. - Материалы семинара по методике и эффективности геохимических поисков на Урале. Свердловск, 1970.
2. Карасик М.А. Послемагматические рудные поля и их классификация. - Изд-во АН УССР, Киев, 1963.
 3. Овчинников Л.Н. Контактво-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. Труды ГТИ, Уральский филиал АН СССР, вып.39, Свердловск, 1960.
 4. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности строения и состава первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений, Иркутск, 1970.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

II сессия, 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ
В МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ВЫСОКОГОРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Л.В.Овчинникова, Л.Д.Туголесов

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов

Руды и вмещающие породы скарново-магнетитовых месторождений Высокогорского рудного поля на Среднем Урале характеризуются наличием в них своеобразной и богатой по числу компонентов ассоциации элементов-примесей. С целью выяснения особенностей их пространственного распределения в рудном поле и месторождениях, а также закономерностей нахождения элементов-примесей в минеральных ассоциациях различных этапов скарново-рудного процесса был отобран материал по нескольким разрезам Высокогорского, Лебяжинского и Евстунинского месторождений.

Месторождения Высокогорского рудного поля пространственно и генетически связаны с Тагильской сиенитовой интрузией, располагаясь вместе с ней в широкой зоне горизонтальной флексуры, сформировавшейся до рудообразования и в значительной мере обусловившей локализацию и размещение месторождений в рудном поле /1/. Наиболее крупное из числа изученных месторождений - Высокогорское - располагается на юго-восточном контакте сиенитового массива с известняками и вулканогенными породами силурийского возраста. Материал отбирался на его северо-восточном фланге, по Восточно-Ревдинскому участку, подавляющее большинство рудных залежей которого сформировано на месте известняков с незначительной примесью силикатного материала. Лебяжинское месторождение, находящееся на восточном контакте сиенитового массива с осадочно-вул-

каногенной толщей силура-девона, складывается из большого числа рудных тел, сгруппированных в два субмеридиональных пояса: Западный и Восточный. Исследовалась центральная часть Западного пояса, рудные тела которого залегают согласно с метаморфизованными вулканогенными породами и имеют крутое восточное падение. Евстунинское месторождение, расположенное в западной части рудного поля, на контакте сиенитового массива с более ранним массивом габбро, представлено протяженной скарново-рудной зоной северо-западного простирания, сформированной на месте роговиков; материал отбирался с юго-восточного и северо-западного флангов зоны. В метасоматических зонах Высокогорского рудного поля различаются следующие разновидности пород: роговики, близскарновые породы (глубоко, но изохимически метаморфизованные туфы, сиениты и другие силикатные породы), околоскарновые породы (преимущественно пироксен-плаггиоклазовые или гранат-пироксен-плаггиоклазовые), значительно отличающиеся по своему химическому составу от исходных пород, скарны - гранатовые, пироксеновые и пироксен-гранатовые и более низкотемпературные нескарновые метасоматиты - флогопитовые, эпидотовые и другие. Среди последних на Лебяжинском месторождении большим распространением пользуется последняя крупно-(гиганто)-кристаллическая кальцит-апатит-флогопит-диопсидовая ассоциация, локально развивающаяся по рудам, скарнам и в меньшей степени - околоскарновым породам.

Опробованию подвергались все разновидности неизмененных и метаморфизованных пород и руды. Штуфные пробы общим количеством около 800 отбирались из керна разведочных скважин через 8-10 метров с уменьшением интервала отбора до 2-3 метров вблизи контактов различных пород и увеличением его до 15-20 метров в мощных монотонных толщах. Все пробы анализировались приближенно-количественным методом на двадцать пять элементов. Для определения фоновых содержаний выбирались участки, сложенные наименее измененными, исходными для возникших рудоносных зон породами: известняками, сиенитами, туфами и порфиритами - на Высокогорском и Лебяжинском месторождениях и роговиками - на Евстунинском. Определение фоновых содержаний производилось с помощью палетки Разумовского; минимально-аномальные значения брались при 16%-ном уровне значимости, так как при более высоком уровне значимости в связи с невысокими содержаниями большинства элементов-примесей и малом их разбросе утрачивалась четкость аномалий. По тем же

причинам для Лебяжинского и Евстюнинского месторождений был применен метод изоконцентраций. Аномалии в рудных телах, как и в окружающих метасоматитах, выявлялись сопоставлением содержаний элементов-примесей в них с фоновыми содержаниями тех пород (известняков, вулканитов, сиенитов), на месте которых они образовались.

Как показала обработка результатов геохимического опробования, некоторые из изученных элементов-примесей являются хорошими индикаторами оруденения, образующими широкие и интенсивные первичные ореолы вокруг рудных залежей. Интенсивность и степень проявления ореолов отдельных элементов на разных месторождениях, а иногда и в связи с разными телами одного и того же месторождения, могут быть различными. Наиболее ярко эндогенные ореолы выражены, естественно, на более крупном Высокогорском месторождении, заметно слабее — на Евстюнинском. Лебяжинское месторождение отличается сложным строением ореольных зон, что связано здесь с глубокими и интенсивными процессами послерудного метасоматоза, приведшими к наложению друг на друга ореолов разных стадий.

Поведение элементов-примесей в рудоносных метасоматических зонах различно. Элементами, накапливающимися в околорудном пространстве всех месторождений, являются кобальт, марганец, цинк, никель, ванадий, олово, свинец и медь. Выносятся из зон гидротермальной переработки на всех месторождениях хром, барий и скандий, в некоторых условиях — титан. Общих закономерностей в распределении пиркония, молибдена, бериллия, бора, галлия и некоторых других металлов не выявлено.

Кратко охарактеризуем и особенности поведения наиболее важных и характерных металлов-индикаторов.

Кобальт образует положительные аномалии приблизительно равной интенсивности ($\geq 4,5 \times 10^{-3}$ — $5,5 \times 10^{-3}\%$) в скарново-рудных зонах всех месторождений, частично захватывая и околоскарновые породы. В нескольких рудных телах Высокогорского месторождения выделяются внутренние зоны более высокой концентрации ($\geq 1,6 \times 10^{-2}\%$); на Евстюнинском — максимальные содержания кобальта сосредоточены в стержневой части рудной зоны и в наиболее богатых рудах; для Лебяжинского — характерен резкий скачок в содержаниях в сторону повышения при переходе от бедных вкрапленных руд к богатым их участкам. На этом же месторождении узкие ореольные полосы повышенных концентраций кобальта характерны для трещинных зон в над-

рудных породах. Редкие положительные аномальные значения кобальта отмечаются в роговиках висячего бока Евстюнинского месторождения. Небольшие отрицательные аномальные участки оконтуриваются в околоскарновых породах подрудной зоны ряда рудных тел Высокогорского месторождения.

Марганец образует положительные аномалии, захватывающие руды, скарны и околоскарновые породы на всех рассматриваемых месторождениях; наиболее высокими содержаниями марганца ($\geq 0,8\%$) характеризуются рудные тела Лебяжинского месторождения, и, что особенно важно, ураганные содержания марганца ($\geq 1\%$) маркируют локальные зоны развития в его рудах характерной крупнокристаллической послерудной кальцит-апатит-флогопит-диопсидовой ассоциации. Положительные аномальные участки встречены в висячем боку Высокогорского (в туфах и порфиритах) и Евстюнинского (в роговиках) месторождений. Небольшие участки отрицательных аномальных содержаний марганца в подрудной зоне Высокогорского месторождения совпадают с таковыми же кобальта.

Олово образует положительные ($\geq 3,4 \times 10^{-4}$ - $1 \times 10^{-3}\%$) аномалии в скарново-рудных зонах Высокогорского месторождения. На Евстюнинском - повышенные ($\geq 4,0 \times 10^{-4}\%$) содержания приурочены преимущественно к рудам и отчасти к вмещающим их метасоматитам, но выдержанных аномалий они не образуют. На Лебяжинском месторождении намечается слабая тенденция к повышению содержания олова от вмещающих пород (не более $3 \times 10^{-4}\%$) к скарново-рудной зоне (среднее - $6 \times 10^{-4}\%$) с особенно высокими значениями в узких зонах в руде, в которых развита упомянутая выше послерудная крупнокристаллическая минеральная ассоциация.

Никель образует не очень четкие положительные аномалии ($\geq 6 \times 10^{-3}\%$) на Лебяжинском месторождении, узкие зоны - на Высокогорском и отдельные локальные поля повышенных значений - на Евстюнинском, нигде не выходящие за пределы рудных тел. Пониженные содержания никеля характерны для надрудной толщи Высокогорского месторождения.

Ванадий в виде положительных аномалий, охватывающих руды, скарны и частично околоскарновые породы, отмечается на Лебяжинском и Высокогорском месторождениях. На Евстюнинском - положительные аномальные поля в руде выражены менее четко, разделяясь участками с фоновыми содержаниями. Интересно отметить, что содержание ванадия в рудах и породах Лебяжинского и Высокогорского месторож-

дений ($1,5 \times 10^{-3}$ - $4 \times 10^{-3}\%$) значительно ниже, чем на Евстунинском ($0,02-0,1\%$).

Цинк на Высокогорском и Лебяжинском месторождениях обнаруживает положительные аномалии ($\geq 0,02\%$), почти точно повторяющие контуры рудных тел на Лебяжинском и частично охватывающие рудомещающие скарны - на горе Высокой. В рудных телах последней выделяются внутренние зоны с содержаниями $\geq 0,1\%$, а в околоскарновых породах подрудной зоны - небольшая отрицательная аномалия ($\leq 7 \times 10^{-3}\%$). На Евстунинском месторождении локальные положительные аномалии сосредоточены в рудной зоне с максимумами в ее нижних горизонтах. Небольшие положительные аномалии отмечаются в надрудной зоне Высокогорского (в туфах и порфиритах висячего бока) и Евстунинского (в роговиках) месторождений.

Медь и свинец образуют более или менее хорошо очерченные положительные аномалии только в рудных телах Высокогорского месторождения; ореол меди ($\geq 1,2 \times 10^{-2}\%$) охватывает при этом часть скарнов и околоскарновых пород, свинец ($\geq 1,2 \times 10^{-3}\%$) распространен только в рудах. Повышенные содержания обоих элементов местами наблюдаются в рудах и двух других месторождений, но выдержанных аномалий они не образуют. Участки с повышенными содержаниями свинца отмечаются в надрудной зоне Евстунинского и Высокогорского месторождений; на глубоких горизонтах последнего также в сиенитах лежащего бока. Для Лебяжинского месторождения весьма характерна приуроченность максимальных содержаний свинца и меди опять-таки к локальным зонам развития в руде той же крупнокристаллической минеральной ассоциации, а в околоскарновых и близскарновых породах - к участкам эпидотизации и флогопитизации.

Суммируя сказанное, необходимо подчеркнуть, что при общей склонности рассмотренных элементов к концентрации в скарно-рудных зонах только для некоторых из них намечается тенденция к образованию надрудных ореолов, то есть к распространению повышенных их содержаний вверх по восстанию и в висячий бок рудных тел; последнее особенно отчетливо выражено на Высокогорском и Евстунинском месторождениях. Ограниченность надрудных ореольных зон на Лебяжинском месторождении можно объяснить, по всей вероятности, более глубоким эрозийным срезом исследованного участка. В подрудной зоне месторождения горы Высокой установлены отрицательные аномалии кобальта, марганца и цинка. Недостаток материалов не позволяет нам говорить о причинах отсутствия таких

аномалий на глубоких горизонтах Евстынинского месторождения (бу- ровые скважины здесь не выходят за пределы рудных залежей). Рас- пределение марганца, свинца и меди в рудах и околоскарновых по- родах Лебяжинского месторождения осложнено локальным воздействи- ем послерудных процессов.

Хром в рудах и скарнах Лебяжинского месторождения отсутствует полностью*; на Евстынинском - зоны выноса хрома захватывают так- же и метасоматиты, причем наиболее низкие содержания его соот- ветствуют стержневым частям рудных тел и участкам наиболее бога- тых руд. Скарново-рудные зоны Высокогорского месторождения ха- рактеризуются очень низкими ($\leq 5 \times 10^{-4}\%$) содержаниями хрома, что, возможно, связано не столько с его выносом, сколько с формирова- нием скарново-рудных зон горы Высокой на месте известняков, не содержащих хрома. С другой стороны, явно повышенные аномальные содержания хрома характерны для порфиритов и туфов надрудной тол- щи Высокогорского месторождения и подрудной - Лебяжинского.

Скандий ведет себя аналогично хрому. Наблюдается явная тен- денция его выноса из зон и участков, сложенных рудами и скарнами, и только в рудных телах Лебяжинского месторождения выделяются уз- кие локальные зоны довольно значительных ($\geq 2 \times 10^{-3}$ - $4 \times 10^{-3}\%$) со- держаний скандия, которые совпадают с участками развития в руде крупнокристаллической поздней минеральной ассоциации. На этом же месторождении небольшое, но явное, повышение содержания скан- дия наблюдается в верхних частях рудных тел и на продолжении их по восстанию в зонах развития эпидот-актинолитовых метасоматитов в околоскарновых породах и скарнах. На Высокогорском месторожде- нии положительная аномалия скандия приурочена к порфиритам и туфам висячего бока рудной залежи, где она совпадает с зоной также повышенных содержаний хрома.

Барий в рудах и скарнах Высокогорского месторождения практи- чески отсутствует. Во вмещающих неизмененных полевошпатсодержа- щих породах - туфах, порфиритах и сиенитах - он содержится в первых сотых долях процента, а в известняках отсутствует пол- ностью, поэтому можно предположить, что заметного перемещения в процессе метасоматоза и оруденения он не испытывал. Однако, не- значительный вынос его, вероятно, происходил, поскольку отрица-

* Здесь и ниже имеется в виду отсутствие в определяемых ана- лизом количествах.

тельные ($\leq 0,01\%$) аномалии, приуроченные к скарново-рудным телам, захватывают в небольшой мере прилегающие к ним полевошпатовые околоскарновые породы. В околоскарновых породах подрудной зоны месторождения отмечается довольно крупная положительная аномалия бария ($\geq 0,036\%$).

Скарново-рудные тела Лебяжинского месторождения характеризуются пониженным содержанием бария ($\leq 0,03-0,05\%$), однако в лежачем боку почти каждого рудного тела располагается узкая зона повышенных (до $0,1-0,2\%$) содержаний, связанная с флогопитовыми или эпидотовыми метасоматитами, развитыми здесь за счет околоскарновых или близскарновых пород. Наиболее высокие ($\geq 0,5-1,0\%$) содержания бария отмечаются в зонах трещиноватости в сиенитах.

Рудные тела Евстигнинского месторождения, развитые по скарнам, практически не содержат бария; в рудных же телах по плагиоклаз-содержащим породам барий находится в количествах до $0,010-0,015\%$, сосредоточиваясь, в основном, в их нижних горизонтах. Максимальные содержания бария характерны для роговиков и актинолитсодержащих пород надрудной зоны Евстигнинского месторождения.

Титан, как следует из анализа данных по его распределению в скарновых зонах всех месторождений, является весьма инертным компонентом, не испытывающим заметного перемещения из исходных пород в ходе скарново-рудного процесса. Большинство (три из четырех) скарново-рудных тел Высокогорского месторождения, сформировавшихся на месте известняков с незначительной примесью вулканогенного материала, характеризуется низкими содержаниями в них титана, лишь ненамного превышающими фоновые содержания его в известняках. Четвертое рудное тело Высокогорского месторождения, залегающее на контакте с туфо-порфиритовой толщей, содержит титан в количествах, близких к фоновому его содержанию в порфири-тах и туфах. Последнее характерно и для изученных рудных тел Лебяжинского месторождения, залегающих целиком в метаморфизованных силикатных породах. Тем более примечательной оказывается способность титана к заметному перемещению в узких, вероятно, тектонических зонах, испытавших интенсивный метасоматоз и рудоотложение. Так, на Евстигнинском месторождении с высоким (не менее $0,2\%$) содержанием титана в исходных роговиках центральная часть скарново-рудной зоны, включающая наиболее богатые рудные тела, охвачена единой отрицательной аномалией с особенно низкими содержаниями титана ($0,005-0,01\%$) в нижних горизонтах. Не менее ярко это

проявилось и на Лебяжинском месторождении, в рудных телах которого некоторые участки упоминавшейся выше послерудной минеральной ассоциации содержат титан в количествах, на два порядка меньших содержания его в окружающих рудах и породах.

Фосфор во вмещающих породах и скарново-рудных зонах Высокогорского и Евстюнинского месторождений присутствует в количествах, едва превышающих чувствительность анализа. Для Лебяжинского месторождения при общем обеднении фосфором скарново-рудной зоны, по сравнению с вмещающими породами, в рудных телах выделяются узкие полосы весьма высоких его содержаний (местами $\geq 1,0\%$), которые поразительно точно совпадают с обедненными титаном участками развития в рудах той же поздней кальцит-апатит-флогопит-диопсидовой ассоциации, особенно богатой апатитом.

Молибден в породах и рудах изученных месторождений присутствует в весьма малых количествах (1×10^{-5} - $1 \times 10^{-3}\%$) и распределен в них довольно хаотично. Небольшие положительные аномалии отмечаются в скарново-рудной зоне Высокогорского месторождения. При полном отсутствии молибдена в замещаемых скарнами и рудами известняках можно предполагать привнос его и слабую тенденцию к накоплению в связи со скарново-рудным процессом. На Евстюнинском месторождении при общей тенденции к повышению содержания молибдена в два-три раза от роговиков к скарнам отмечается концентрация его в отдельных участках рудных тел без образования выдержанных аномалий. Вмещающие породы Лебяжинского месторождения содержат молибден в незначительных ($\leq 4 \times 10^{-4}\%$) количествах, содержание же его в скарново-рудной зоне еще более низкое. И только локальные узкие зонки поздней крупнокристаллической минеральной ассоциации в верхних частях рудных тел, а также эпидотовых и флогопитовых метасоматитов - в нижних их частях - в некоторой степени обогащены молибденом (до $0,6 \times 10^{-2}$ - $0,9 \times 10^{-2}\%$).

Характер поведения элементов-примесей в различных участках скарново-рудных зон исследованных месторождений и вмещающих их породах суммирован в виде таблицы.

Таблица

Поведение элементов-примесей в разных участках рудоносных зон Высокогорского рудного поля

Элементы-примеси	Руды		Скарны	Около-скарновые породы	После-рудные минеральные ассоциации	Вмещающие породы	
	По силкатным породам	По известнякам				Над-рудная зона	Под-рудная зона
I	2	3	4	5	6	7	8
Кобальт	++ + +	++	+ + +	/+/ /+/ /+/		/+/ /+/	-
Марганец	+ ++ +	+	+ + +	+ + +	++	+ +	-
Олово	++ + +	++	+ + +	/+/ +	++		
Никель	/+/ + /+/	/+/ +				-	
Ванадий	+ + /+/	+	+ + /+/	/+/ /+/			
Цинк	++ + /+/	++	/+/ +			+ +	-
Медь	+ /+/ /+/	+	+ +	/+/ +	+ +		
Свинец	+ /+/ /+/				+ +	/+/ /+/	/+/ +
Хром	/-/ - -		- /-/ -	/-/ -		/+/ +	/+/ +
Скандий	- /-/ /+/ -		- /-/ -		+ +	+ /+/	

I	2	3	4	5	6	7	8
Барий	- -/+/		-	/-/		/+/	+ /+/
Титан	-		/-/	/-/	-		
Фосфор	-				+		
Молибден	/+/	/+/				+	
	/-/						
	/+/		/+/				

Примечание: ++ Интенсивный привнос (положительные аномалии 2-х градаций)

+ Заметный " (положительные выдержанные аномалии)

/+/Слабый " (разобщенные аномальные участки или точки)

--

/-/ Вынос, те же подразделения, что и для привноса

В каждой графе элемента-примеси первая строчка соответствует данным по Высокогорскому месторождению, вторая - по Лебяжинскому и третья - по Евстюнинскому.

В заключение необходимо остановить внимание на следующем.

1. Подавляющее большинство изученных элементов-примесей привносится в скарново-рудные зоны и распределяется в них скарно- и рудообразующими растворами. Исключение, вероятно, составляют титан и барий, основная масса которых заимствуется просачивающимися растворами из исходных силикатных пород.

2. Лишь небольшое число элементов-примесей можно рекомендовать на данном этапе изучения в качестве поисковых на скарново-железородные тела. К ним можно отнести кобальт, цинк, свинец и с некоторой долей условности - марганец. Все эти элементы, кроме положительных аномалий в скарново-рудных зонах всех изученных месторождений, дают также положительные аномалии и в их надрудных

зонах, удаляясь от скарново-рудных тел на расстояние первых сотен метров.

3. При изучении ореолов бария вокруг гидротермальных рудных тел необходимо помнить о его присутствии в качестве примеси в полевошпатовых силикатных породах — неперменных членах вмещающих такие месторождения толщ. Такой не мобилизованный гидротермальным процессом барий может исказить при валовом опробовании ореолы этого элемента, привнесенного гидротермами и отложенного в виде барита.

4. Изучение закономерностей распределения элементов-примесей необходимо проводить параллельно с исследованием условий скарно- и рудообразования на исследуемом объекте. Так, формирование месторождения в несколько разделенных во времени стадий может наложить отпечаток на первичные ореолы рассеяния элементов-примесей, вызвав, в частности, их перераспределение и (или) дополнительное обогащение в зонах проявления последующих стадий метасоматоза. Такое явление характерно, например, для Лебяжинского месторождения, где участки послерудной крупнокристаллической минеральной ассоциации специфически обогащены марганцем, медью, оловом, фосфором, скандием и рядом других элементов.

Таким образом, в отличие от ореолов сульфидных месторождений, охарактеризованных в докладе Л.Н.Овчинникова и С.В.Григоряна /2/, ореолы скарново-магнетитовых месторождений Высокогорского рудного поля более разнообразны по своему строению и распределению внутри них отдельных элементов-индикаторов. Особенно важен факт несомненного формирования этих ореолов не в одну стадию.

Для раскрытия более общих закономерностей строения эндогенных ореолов скарново-магнетитовых месторождений и стадийности их образования необходимы дальнейшие систематические исследования.

Л и т е р а т у р а

1. Овчинников Л.Н., Максенов В.Г. Геологическое строение Высокогорского рудного поля. — Геол.рудн.м-ний, 1959, № 3.
2. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубоководных рудных месторождений. Ч.1. Иркутск, 1970.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СТНМ)

II сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

О ЗОНАЛЬНОСТИ И СТАДИЙНОСТИ РУДООТЛОЖЕНИЯ

А. А. Яловой

Северо-западное геологическое управление

Как и все выступавшие ранее, я выражаю благодарность организаторам совещания. В качестве пожелания на будущее предлагаю несколько увеличить число докладов, чтобы, по возможности, были охвачены все генетические типы месторождений.

В весьма интересном докладе Л. Н. Овчинникова и С. В. Григоряна /2/ содержится много новых данных. Но, на наш взгляд, в нем есть ряд спорных положений, на которых я остановлюсь. Предварительно отмечу, что я стою за детальное изучение первичных ореолов, но вместе с тем считаю необходимым четко определить место их использования в поисковой практике и возможности в познании генезиса руд. Вопрос о генезисе имеет большое значение, поскольку генетические особенности месторождений влияют на проведение поисково-разведочных работ.

При изучении медно-никелевых месторождений Норильского района нами выявлена зональность строения рудных тел по различным, согласующимся между собой, параметрам. В результате геометризации некоторых рудных тел установлена зональность распределения металлов. Можно сказать, что особенности распределения металлов в ореолах почти полностью отражают особенности распределения их в самих рудных телах. Зональность рудных тел мы объясняем не зональностью отложения из единого рудообразующего раствора в результате падения температуры, а стадийностью процесса рудообразования.

Внутреннее строение рудных тел зависит от структур, существовавших в период рудоотложения. Например, рудное тело, локализованное в одной зоне проницаемости, имеет сравнительно простое внутреннее строение, что отражается и в строении первичных ореолов. Рудное же тело, локализованное в двух сближенных параллельных зонах проницаемости характеризуется более сложным внутренним строением, что влияет также на строение ореолов. Так, вверх от осевой плоскости верхней зоны в рудном теле наблюдается асимметричная зональность; аналогичная зональность, но в другом направлении (вниз) отмечается от осевой плоскости нижней зоны проницаемости. В промежутке между зонами фиксируется симметричное распределение металлов с падением содержаний при удалении от осевых плоскостей.

Характерной особенностью распределения элементов по вертикали является неоднократная смена более высоких содержаний металлов пониженными. Это может быть наглядно продемонстрировано на примере центральной части залежи сплошных руд в поле рудника "Маяк" месторождения Талнах. Максимальные содержания никеля наблюдаются в полосе, прослеживающейся от западного борта залежи к восточному (рис.1). По вертикали содержание никеля уменьшается в обе стороны от максимума. В центральной части рудного тела между скважинами К-43 и К-28 отмечаются два максимума содержания никеля - один в нижней половине рудного тела (скважина К-41), а второй в средней части верхней половины разреза. В северном направлении (к скважине К-28) максимумы сливаются при снижении величин содержаний, и в средней части разреза (в скв.К-40) фиксируется одна широкая полоса. Далее мощность полосы уменьшается, и наблюдается ее разветвление в скважине К-28. В других разрезах также имеет место неравномерное распределение никеля по вертикали при некотором общем снижении содержания его в рудном теле в северо-восточном направлении.

Медь в этих разрезах также распределена неравномерно (рис.2). Максимальные значения содержания меди смещаются относительно максимумов никеля как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной. В отдельных случаях наблюдается незначительное перекрытие наиболее высоких содержаний меди и никеля. Характерно, что полосы максимальных содержаний меди и никеля не только смещены относительно друг друга в вертикальной и горизонтальной плоскостях, но и имеют разные углы наклона. Иногда насчитывается более пя-

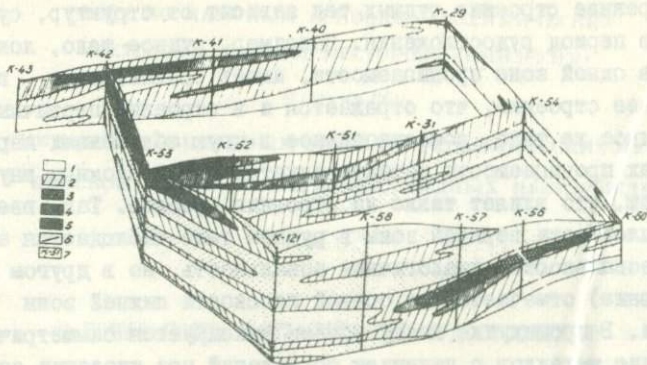


Рис.1 Распределение никеля в центральной части залежи сплошных руд в поле рудника Маяк.

1—низкие содержания, 2—средние, 3—высокие, 4—очень высокие, 5—максимальные, 6—геологические границы и изолинии содержания, 7—буровые скважины.

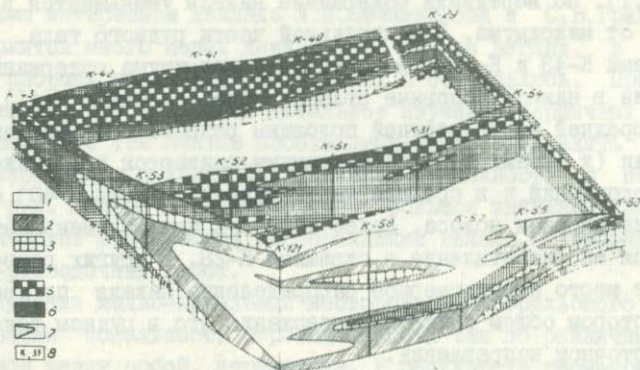


Рис.2 Распределение меди в центральной части залежи сплошных руд в поле рудника Маяк.

1—очень низкие содержания, 2—низкие, 3—средние, 4—высокие, 5—очень высокие, 6—максимальные, 7—геологические границы и изолинии, 8—буровые скважины.

ти зон проницаемости, контролирующих оруденение на месторождениях Талнах.

Л.Н.Овчинников и С.В.Григорян /2/ подчеркивают "... удивительную стандартность рудообразующего раствора, постоянство его анионного состава и свойств, свидетельствующих о весьма узком диапазоне изменений физико-химических параметров рудообразования во времени и пространстве, оказывающихся мало зависимыми от геологической среды", а на следующей странице они пишут, что "... для ... ореолов устанавливается единая зональность, что позволяет однозначно считать, вопреки мнению ряда исследователей, что существенного временного разрыва в проявлении отдельных стадий не существует и что смена выделяемых стадий минерализации, стадий рудоотложения является больше результатом пространственной, нежели временной дифференциации единого рудообразующего раствора, поступающего непрерывно".

По нашим данным, на медно-никелевых месторождениях все рудные тела, как промышленные, так и непромышленные, представленные и вкрапленными, и сплошными рудами, контролируются вполне отчетливыми и хорошо фиксируемыми зонами повышенной трещиноватости и проницаемости. Наличие некоторых мономинеральных тел, различные соотношения металлов в отдельных рудных телах и ряд других фактов привели нас к выводу о многостадийном характере процесса рудообразования /3,4/. Более детальное рассмотрение стадийного рудообразования, указывающее, в частности, на отчетливые реакционные взаимоотношения минералов разных стадий, и учет баланса веществ по стадиям позволяют констатировать значительную разницу состава рудообразующих растворов и строгую направленность в его изменении от начала к концу процесса. При этом процесс идет с постоянным разрыхлением структуры образующихся минералов при различном поведении ионов в растворах в начале и конце процесса.

Стадийность подтверждается отчетливым метасоматическим преобразованием ранее отложенных минералов растворами последующих стадий и разной степенью сохранности продуктов предыдущих стадий в зависимости от длительности последующих. Так, при наложении второй стадии происходит преобразование ранее отложенного шпротина. Он подвергается дроблению с образованием сначала специфических шестигуольных зерен, ограниченных по спайности. По мере протекания процесса эти шестигуольники исчезают, в отдельных случаях остаются их реликты. Кроме того, наблюдается моноклиниза-

пия гексагонального пирротина, осуществляющаяся в результате постепенного выноса железа /1,3/. Изменение структурно-текстурных особенностей руд можно продемонстрировать на примере преобразования пентландита. Отложение пентландита происходит во время второй стадии /3/ в виде вростков, разрывающихся по спайности в пирротине. В период третьей стадии в результате собирательной перекристаллизации вростки пентландита преобразуются в крупные порфиробластовые выделения. В период четвертой стадии последние также становятся неустойчивыми и замещаются. Устойчивой формой выделения пентландита является дендритная, которая и наблюдается в рудах, подвергшихся преобразованию в это время. Следует подчеркнуть, что указанные изменения форм выделения пентландита происходят без дополнительного привноса никеля.

Вряд ли можно полагать, что отмеченные особенности с такой же отчетливостью выражены в первичных ореолах. Несомненно, что основную информацию о последовательности минерализации и особенностях отложения минералов несут руды и рудные тела, а не первичные ореолы.

Эммонсовский ряд наблюдается в большинстве случаев, что отмечается многими геологами, но в полном виде он встречается редко. Обычно имеет место сочетание отдельных металлов из этого ряда, например 1,2,3,6,7 или 3,4,5 и т.д. Отклонения от этого ряда обуславливаются, очевидно, спецификой геологических обстановок.

Изучение первичных ореолов весьма необходимо, но, как показывает практика (я имею в виду опыт уральских геологов и работы в ряде других районов), первым и необходимым условием успешных поисков скрытых месторождений является учет геолого-структурной обстановки. Месторождения приурочены к определенным структурам. В первую очередь, это зоны глубинных разломов, краевые части мульды, купола и ряд других структур, выдвигаемых многими геологами в качестве важных признаков при поисках месторождений. Комплексность поисковых методов отчетливо прозвучала только в докладе Института геохимии Сибирского отделения АН СССР (г.Иркутск).

Хотя настоящее совещание и является геохимическим, мы не должны забывать эти главные критерии поисков рудных месторождений. Не умаляя значения использования первичных ореолов, следует все же отметить, что все продемонстрированные здесь примеры изучения первичных ореолов на известных рудных полях прежде всего подтвер-

дили старое правило: "ищи руду около руды". Использование первичных ореолов имеет первостепенное значение при поисках на площадях известных рудных полей, но при отыскании новых рудных полей оно уступает структурно-геологическим критериям.

Л и т е р а т у р а

1. Генкин А.Д., Логинова В.П., Органова Н.И. О взаимоотношениях и особенностях размещения гексагональных и моноклинных пирротитов в рудах. - Геол.рудн.м-ний, 1965, № 3.
2. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
3. Яловой А.А. О текстурных особенностях сульфидных медно-никелевых руд месторождения Талнах. - В кн.: Петрология траптов Сибирской платформы. М., "Недра", 1967.
4. Яловой А.А. Об эндогенной зональности и двух этапах формирования сульфидных медно-никелевых руд Талнахского месторождения. Материалы к первой научной конференции аспирантов - геологов Ленинграда. Ленинград, 1970.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

Сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

О НЕКОТОРЫХ ПРИНЦИПАХ СОСТАВЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ КАРТ
В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ф.Л.Думлер

Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт

В представленных на сессии докладах всесторонне рассмотрены закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов, предложены достаточно надежные критерии отличия надрудных и подрудных частей ореолов и на этой основе разработаны принципы оценки геохимических аномалий. Правильно поставлен вопрос о необходимости в дальнейшем не только проводить опытно-методические работы с изучением первичных ореолов на эталонных, известных объектах, но и уточнять методику в ходе опытно-производственных поисковых работ. По нашему мнению, поиски по первичным ореолам наиболее рационально и эффективно можно проводить в процессе геологической съемки масштаба 1:50000. Такие геолого-геохимические поиски в опытном порядке на протяжении нескольких лет проводятся в Центрально-Казахстанском геологическом управлении. Несмотря на то, что методика геохимического картирования, предложенная В.Н. Казминым и И.В. Орловым /3/, подверглась в свое время серьезной критике, положительный опыт применения ее в несколько усовершенствованном виде /6/ убеждает в необходимости продолжения поисков по первичным ореолам непосредственно в ходе геологической съемки.

При геохимических поисках глубокозалегающих рудных месторождений в масштабе 1:50000, кроме установления геохимической специ-

ализации геологических комплексов, необходимо выявлять такие прямые и косвенные признаки рудной минерализации, как зоны привноса (выноса) химических элементов, соответствующие, как правило, рудным полям месторождений, а также первичные ореолы рудных тел. Размеры зон привноса химических элементов во много раз превышают размеры самих месторождений. Так, по данным Л.В.Таусона и др., в районе Шахтаминского молибденового месторождения, имеющего протяженность 2-3 км, отмечаются зоны привноса молибдена длиной 17 км, свинца и цинка - 20 км, ртути - 25 км. При этом "в породах с повышенными концентрациями молибдена и других рудных элементов не отмечается каких-либо постмагматических изменений" /7/. По данным А.А.Смылова /1/, на месторождениях радиоактивных элементов размеры таких зон составляют 2-4 x 0,2-1 км.

Под первичным ореолом понимается область повышенных содержаний химических элементов, окаймляющая рудные тела и образовавшаяся в процессе рудоотложения. Этот термин применим как к эндогенным, так и к экзогенным месторождениям. Эндогенный ореол - это лишь частный случай первичного ореола. В отличие от первичных, вторичные ореолы рассеяния химических элементов образуются в результате пострудных процессов.

Представляется неправильным употребление термина "первичный ореол рассеяния". Первичный ореол образуется одновременно с рудным телом, от которого он отличается непромышленными содержаниями полезных компонентов; граница между рудным телом и ореолом условна (она определяется только по экономическим соображениям). Как и в рудном теле, в ореоле происходит не рассеяние, а концентрация рудного вещества. Например, явно неудачен этот термин в применении к ореолам собственно магматических месторождений, образовавшихся путем гравитационной дифференциации, приводящей к концентрации рудных минералов).

Содержания химических элементов в зонах привноса (выноса), а также в первичных ореолах глубокозалегающих рудных тел могут очень мало отличаться от содержаний их во вмещающих породах. Вследствие этого, как нам представляется, требуется разработка новых принципов составления геохимических карт и выделения геохимических аномалий, позволяющих выявлять слабо выраженное обогащение через указанные признаки.

В настоящее время при построении геохимических карт в большинстве случаев пользуются следующим приемом. Для всех выделен-

ных на карте геологических подразделений рассчитываются параметры распределения ведущих элементов. После этого наносятся (цветом, штриховкой или крапом) средние содержания каждого элемента в заранее отрисованном геологическом контуре. Такая информация является основным содержанием геохимических карт. Кроме того, на карту наносятся контуры геохимических аномалий, в которых содержания элементов превышают фоновые на удвоенную или утроенную величину стандартного отклонения. Таким образом, практически все геохимические границы идеально совпадают с геологическими. Чтобы оценить теряемую при этом информацию, представим себе, например, аналогичным образом составленную карту магнитного поля, где каждый геологический объект охарактеризован лишь средним его значением, а все контуры магнитных аномалий точно повторяют геологические границы.

В пределах объектов, являющихся на первый взгляд геологически однородными, часто наблюдаются совершенно закономерные изменения содержаний химических элементов. Этот факт отмечен в докладе Л.В. Таусона и др. /7/, и, вероятно, большинство исследователей сталкивались с подобными явлениями в практической работе. Существующие методы построения геохимических карт практически не учитывают возможную пространственную упорядоченность распределения содержаний элементов в пределах геологически однородных тел. Это приводит к предельному упрощению картины геохимического поля и пропуску зон привноса (выноса) химических элементов.

Кроме того, при выделении геохимических аномалий допускаются следующие погрешности. Вместо отсчета колебаний геохимического фона от закономерно построенной поверхности отсчет ведется от плоскости, ее осредняющей. При этом резко завышается дисперсия и соответственно уровень аномальности. Там, где поверхность истинного фона проходит ниже осредняющей плоскости, теряются малые и даже средние аномалии, в обратном случае даже фоновые содержания выделяются как аномалии.

К.Л. Пожарицкий еще в 1947 г. писал, что "при отчетливо выраженной локальной зависимости приложение обычных формул вариационной статистики приводит к абсурдным результатам" /5, стр.272/. Имеются математические способы (тренд-анализ, метод скользящего окна), позволяющие, сняв случайные погрешности, детально изобразить в изолиниях картину закономерно меняющегося геохимического фона. Если на этом переменном фоне, где от точки к точке изменя-

ются и среднее содержание, и стандартное отклонение, выделять геохимические аномалии с вероятностью даже 0,99, будет получен значительный резерв слабых аномалий. Геолог и петрограф не пройдут мимо закономерных изменений содержаний химических элементов, и при дополнительной проверке они найдут объяснение в слабо проявленных, ранее незамеченных гидротермальных изменениях или минералого-петрографических особенностях отдельных частей геологических тел. Таким образом, вместо геологической карты, раскрашенной или заштрихованной "по-геохимически", могут быть получены карты, отражающие реальную картину геохимического поля.

Применение метода скользящего окна для обработки данных гамма-съемки, предпринятое А.Г.Ветровым, дало отличные результаты /2/. А.Н.Мельгуновым (ЦКГУ) при участии автора были аналогично обработаны результаты бериллометрической съемки в Центральном Казахстане. Уже первые результаты показывают значительные преимущества таких методов.

Ценные дополнительные сведения о наличии скрытого оруденения на участках, где отсутствуют какие-либо аномалии, удается получить при применении метода многократной корреляции Ю.К.Буркова (ВСЕГЕИ). Выявляемая этим методом согласованность колебаний содержаний элементов, типичных для искоемых руд, является положительным поисковым признаком. При этом учитываются изменения содержаний одновременно многих элементов, частные величины каждого из которых находятся в пределах погрешностей и поэтому не достигают уровня аномальности. Последнее перекликается с идеей построения суммарных ореолов, содержащейся в докладе Л.Н.Овчинникова и С.В.Григоряна /4/. И тем и другим способом могут быть выявлены дополнительные ореолы нескольких элементов, величина концентраций каждого из которых в отдельности не достигает аномального уровня.

При изложенном подходе к принципам построения геохимических карт и выделения аномалий эффективность геохимических поисков слабопроявленного в исследуемом срезе оруденения будет значительно повышена. Выделение зон слабого привноса химических элементов и выявление бедных первичных ореолов актуальны в настоящее время, когда уже имеются достаточно надежные критерии оценки ореолов и нет основания опасаться слишком большого количества выявленных аномалий.

1. Баранов Г.М., Смыслов А.А., Федоров А.А. Методика опробования горных пород и полевые гамма-спектрометрические измерения. - Тр. ВСЕГЕИ, новая серия, т.164. Л., 1968.
2. Ветров А.Г. О применимости радиометрических методов при поисках слабо проявленного уранового оруденения. - В кн.: Вопросы рудной геофизики, вып.8, 1968.
3. Казмин В.Н., Орлов И.В. К вопросу о принципах составления геохимических карт при геологической съемке. - Сов.геология, 1966, № 6.
4. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
5. Пожарицкий К.Л. Опробование месторождений цветных металлов и золота. М., Металлургиздат, 1947.
6. Скублов Г.Т., Орлов И.В., Авдеев А.В., Неб Я.П., Сушков В.А., Тьгай О.М., Цубин В.Э. Опыт проведения площадной геохимической съемки в Агадырском рудном районе (Центральный Казахстан). - Советская геология, 1970, № 2.
7. Таусон Л.В., Анфилогов В.Н., Коваленко В.И., Козлов В.Д., Кузьмин М.И., Трошин Ю.П. Факторы потенциальной рудоносности гипабиссальных интрузий гранитоидов. - В кн.: Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов. Иркутск, 1970.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

II сессия. 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ПОИСКОВ ПО ПЕРВИЧНЫМ ОРЕОЛАМ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

М. А. Свирский

Нерчинский полиметаллический комбинат

В настоящее время геохимические исследования скрытого оруденения и прежде всего изучение первичных ореолов широко применяются как метод научно-исследовательских работ. Однако, в производственных условиях, при поисках и разведке месторождений и отдельных рудных тел различных полезных ископаемых, этот метод не получил достаточно широкого применения, а его разрешающая способность остается весьма низкой. Не случайно поэтому, что во время симпозиума лишь в одном сообщении, по месторождениям Карамазара, нас познакомили с примерами, когда на основе изучения первичных ореолов были открыты новые скрытые рудные тела.

На наш взгляд, как и всякий новый метод, геохимические методы поисков скрытого оруденения следует развивать и совершенствовать. Однако для того, чтобы промышленность прочно взяла на вооружение указанные методы, необходим целый ряд условий, к сожалению, отсутствующих в настоящее время.

Прежде всего следует резко повысить экспрессность метода. Как правило, на отбор геохимических проб, их анализ, составление разрезов и выявление по этим данным аномальных участков затрачивается 10-12 месяцев, вследствие чего поисково-разведочное бурение часто опережает геохимические исследования. Существующие способы обработки геохимических проб не всегда гарантируют чистоту отобранного материала и весьма трудоемки. На многие химические эле-

менты отсутствуют достаточно простые и надежные способы количественных анализов. Все это нередко приводит к непомерно высокой стоимости геохимических исследований, что, разумеется, не стимулирует их широкое внедрение в промышленность.

Во время дискуссии во многих выступлениях были высказаны предложения об усложнении обработки данных геохимического опробования и более широком применении сложных методов математической статистики, теории игр и т.п. Это, очевидно, в какой-то мере отпугивает геологов-практиков, в большинстве своем не знакомых со сложными приемами математической обработки данных опробования. Поэтому при разработке практических руководств по геохимическим исследованиям следует максимально упростить существующие приемы, сделав их доступными для широкого круга геологов-практиков.

До сих пор не имеет точного определения, а потому по-разному толкуется понятие "ореольное содержание". Очень часто за ореолы принимается видимая вкрапленность тех или иных рудных минералов; предложение относить к ореольному содержанию ниже минимально-промышленного, очевидно, не удовлетворительно. Поэтому было бы очень полезным поручить какому-либо научно-исследовательскому институту проведение с применением единой методики определения геохимического фона по крупным и важным рудным районам и рудным полям для наиболее характерных элементов-индикаторов, а также установление величин ореольных содержаний. При определенной обработке и проверке указанные данные могли бы быть сведены в таблицы, что значительно облегчит и ускорит проведение геохимических исследований.

Несколько замечаний общего характера. При теоретическом рассмотрении на моделях процессов образования первичных ореолов совершенно правильно принимаются идеализированные условия - однородная среда, изолированное рудное тело, отсутствие усложняющих распределение элементов тектонических нарушений и т.п. Но часто подобные усложняющие факторы не принимаются во внимание и при исследованиях уже в конкретных природных условиях, что приводит к существенным ошибкам. Известно, например, что многие месторождения цветных и редких металлов представлены зонами, в которых субпараллельно и кулисообразно по простиранию и восставанию расположены обособленные рудные тела. В этом случае наблюдается наложение первичных ореолов различных рудных тел, и общая

картина резко усложняется по сравнению с ореолом одного обособленного рудного тела.

Необходимо уделить больше внимания изучению распространения первичных ореолов вдоль разрывных нарушений, их геохимической характеристике, ибо в практике поисковых и разведочных работ не менее важной задачей, чем прямые поиски рудных тел, является прослеживание рудоконтролирующих тектонических нарушений.

Очень часто скрытые рудные тела выклиниваются по восстанию под экраном непроницаемых прослоев пород или тектонической глины. В этом случае надрудные ореолы отсутствуют, что надо учитывать в практике работ.

В некоторых выступлениях (С.В. Григорян и др.) было высказано мнение о том, что уже в настоящее время метод поисков эндогенного оруденения по первичным ореолам можно использовать как вполне самостоятельный. На наш взгляд, указанный метод еще находится в стадии научно-методических разработок, и преждевременное внедрение в промышленность может привести лишь к дискредитации его. Наиболее высокая геологическая и экономическая эффективность поисков и разведки оруденения достигается применением комплекса различных геохимических, геофизических и минералогических методов на общей геологической основе и определением места каждого из них в стадиях поисковых и разведочных работ. Именно такой подход, принятый сотрудниками Института геохимии СО АН СССР, представляется нам единственно правильным.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

Июль-сентябрь 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПРИ ПОИСКАХ СКРЫТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Г.И.Семенов

Управление геологии Киргизской ССР

Большинство представленных на симпозиуме работ ограничивается решением прямой задачи - обнаружением и характеристикой первичных ореолов конкретных, обычно хорошо изученных, рудных тел или месторождений. Такое ограничение препятствует внедрению рекомендуемых методов и приемов в геологическое производство.

При проведении поисков скрытого оруденения необходимо не только выявить ореол, но и доказать вероятность наличия рудного тела, а затем определить его состав, местоположение и размеры. Эта обратная задача несравненно сложнее первой - прямой. В процессе изучения ореола неизбежно появляется большое число излишних характеристик и параметров, являющихся, по существу, информационным шумом. При решении прямой задачи эти неинформативные данные можно сразу не принять во внимание, тогда как при решении обратной задачи необходимо сначала оценить их, доказать их неинформативность прежде чем отбросить как ненужные.

Существующие теоретические и опытно-методические разработки указанное обстоятельство игнорируют. Особенно это имеет значение для конвергентных явлений, когда различными факторами (причинами) обуславливаются сходные, часто практически неразличимые следствия. Общие характеристики конвергентных явлений следует сразу же исключать из числа рекомендуемых для использования или, по крайней мере, жестко ограничивать их применение.

На начальном этапе геохимических исследований, особенно прикладных, в распоряжении геохимика имеются данные, характеризующие: а) размещение проб по отношению к изучаемым геологическим объектам (геологическая карта, разрез, документация выработок или скважин); б) взаиморасположение, размер и характер проб (план опробования); в) содержания химических элементов в пробах (данные анализа); г) соотношение содержаний ряда элементов в пробах (комплекс анализировавшихся элементов). В конечном счете необходимо конкретно решить обратную задачу, то есть получить ответы на вопросы о том, есть ли в данной совокупности проб аномалия (ореол), можно ли отнести ее к числу потенциально перспективных, определить уровень эрозионного среза, состав индикаторов руд, оценить возможность обнаружения скрытого рудного тела вообще и промышленного в частности, указать примерное расстояние до искомого рудного тела и параметры его залегания. Невозможно дать ответы на все эти вопросы на основе одних лишь геохимических исследований, требуется привлечение большого количества дополнительных сведений структурного, литологического, минералогического характера и т.п. Иными словами, необходимо широкое комплексирование, и притом оперативное, геохимических методов с различными видами геологических исследований и техническими работами. Любые попытки решить проблему в целом, ориентируясь только на геохимические исследования, заранее обречены на неудачи. Вторым крупным недостатком проводимых методических работ следует считать то, что в них не определяется место и время применения геохимических методов в общей комплексной проблеме поисков слепого оруденения.

Большинство описанных в литературе методик обработки и интерпретации геохимической информации не выходит из рамок использования перечисленных выше четырех видов фактических данных. Но на этой основе выделено и предполагается к внедрению большое число различных параметров и характеристик. При обосновании параметров и характеристик авторы абстрагируются от некоторых частных, но тем не менее важных, деталей, то есть формализуют их геологическое содержание, ограничиваясь теми или иными важными для данной задачи сторонами описываемого явления или объекта. Можно привести многочисленны примеры подобной ситуации. Так, в качестве показателя контрастности содержаний элементов в каком-либо геологическом объекте используется кларк концентрации — отношение содержания элемента в объекте исследования к кларку этого элемен-

та в литосфере. Следует иметь в виду, что планетарными кларками не фиксируются региональные, местные и связанные с литолого-петрографическими особенностями пород отклонения содержаний от средних для литосферы. Поэтому применение кларка концентрации должно быть ограничено крупными, лишь на один-два порядка меньше литосферы в целом, объектами, то есть регионами, провинциями или отдельными классами пород. В прикладной (поисковой) геохимии кларк концентрации может найти применение только на первоначальном этапе, когда не хватает собственных данных для сравнения.

Более приемлемым и чаще употребляемым на практике /1/ является измерение концентрации в геохимических фонах. Но и его применение ограничивается теми случаями, когда изучаемый объект характеризуется единой величиной фона, то есть геологическое строение объекта более или менее однородно. В случае геологически неоднородного строения более объективным показателем будет коэффициент концентрации — отношение содержания в руде или породе к минимально аномальному для данного типа изучаемых природных образований. Но от степени концентрации вещества зависит затрата идущей на концентрацию энергии. Это обстоятельство учитывается предложенным Н.И. Сафроновым /4/ показателем энергии рудообразования.

Как видно из приведенных примеров, характеристика одного и того же явления или объекта может выражаться разными величинами. При этом необходимо учитывать как конкретное геологическое содержание изучаемого явления, так и, что не менее важно, его масштаб. На последнем обстоятельстве мы остановимся несколько ниже.

Поиски наиболее выразительных параметров и характеристик первичных ореолов, позволяющих более или менее однозначно отвечать на перечисленные выше вопросы, на наш взгляд, следует проводить в процессе опытно-методических работ, являющихся начальной стадией производственных работ (поисков). Для отыскания наиболее объективных параметров, освобожденных от ограничений и условий той или иной степени формализации, следует использовать несколько независимых друг от друга методов, определяющих этот параметр для соизмеримых по масштабу явлений. Так, например, для выделения типоморфных комплексов элементов-индикаторов некоторых оловянных и олово-вольфрамовых месторождений Средней Азии нами применялись такие методы как расчет коэффициентов линейной корр-

ляции (парных и частных), величин миграционной способности, отношений линейной продуктивности (парных и множественных), индивидуальных (по элементам) и суммарных (для групп элементов) величин энергии рудообразования и т.д. Путем сопоставления результатов, полученных разными методами, удается выделить наиболее общие и закономерные характеристики, свободные от случайностей в конкретном распределении рудных элементов в пределах изучаемого объекта. Более того, в дальнейшем сопоставление полученной характеристики с фактическими материалами позволяет выявить первоначально неразличимые детали, свидетельствующие о наличии побочных, не описываемых данным параметром, явлений. На тех же олово-вольфрамовых месторождениях Средней Азии появление в типоморфном комплексе рудных индикаторов сурьмы свидетельствует о существенной роли сульфидов в составе руд (возможно, и о появлении некоторого количества станнина), присутствие вольфрама говорит о более высокотемпературной минерализации и уменьшении роли сульфидов, а редкие случаи присутствия бериллия в этом комплексе — о еще более высокой температуре рудообразования.

Такая перекрестная проверка получаемых параметров повышает их объективность. И наоборот, абсолютизация того или иного параметра, выдвижение его в качестве универсального, влечет за собой ошибки. Отсюда третья претензия к опытно-методическим разработкам — необходимы повышение объективности рекомендуемых методик и рассмотрение их комплексирования для различных условий применения.

Сравнительный анализ результатов многолетних опытно-методических и производственных геохимических работ по первичным ореолам, по вторичным ореолам, потокам рассеяния и т.д. показывает, что геохимические признаки оруденения существенно меняются в зависимости от масштаба изучаемого объекта. Так, например, можно выявить типоморфные комплексы элементов и, по-видимому, другие характеристики, отвечающие по масштабу рудному узлу, отдельным типам месторождений либо различным морфогенетическим типам рудных тел. При этом некоторые характерные элементы-индикаторы рудного узла или месторождения (например, бериллий и литий) выпадают из комплекса элементов-индикаторов, присутствующих в первичных ореолах отдельных рудных тел. Более того, они могут выступать в роли антагонистов по отношению к группе индикаторов того же олово-вольфрамового оруденения. Подоная разномасштабность

геохимических показателей рудоносности в общем не противоречит представлениям о геохимии процессов формирования и дальнейших изменений как самих рудных месторождений, так и всех сопутствующих им геологических образований. Поэтому необходимо находить для каждого рекомендуемого параметра не только содержание описываемого им явления, но и масштаб последнего.

Несмотря на некоторые различия типоморфных комплексов элементов в каждом конкретном случае, вертикальная зональность их распределения в общих чертах отвечает стандартному ряду, приведенному в докладе ИМГРЭ /2/. Так, для всех упоминавшихся олововольфрамовых месторождений Средней Азии ряд вертикальной зональности элементов-индикаторов выглядит следующим образом (снизу вверх): бериллий - литий - вольфрам - (молибден?) - олово - индий - медь - (серебро) - (ртуть).

Для рудных интервалов характерно наличие вольфрама, олова, индия и меди. По мере удаления рудных тел от кровли гранитных массивов из этого набора выпадает вольфрам, а в ореолах наиболее удаленных рудных тел - и медь. Кроме перечисленных, в ореолах присутствует в аномальных концентрациях большая группа элементов-спутников, в которую входят цинк, свинец, висмут, мышьяк, галлий, германий, таллий. Вероятно, сюда же относятся ртуть и серебро. В отдельных случаях некоторые элементы выпадают из приведенного перечня, но в целом он характерен для данных месторождений. Распределение элементов этой группы отличается тем, что продуктивность их ореолов и подсчитанная по ним энергия рудообразования закономерно возрастают по восстанию вплоть до надрудных участков. Эффективная ширина ореолов этих элементов весьма значительно превышает ширину ореолов собственно рудных элементов, вследствие чего они являются индикаторами не столько рудных тел, сколько месторождений в целом. Эти ореолы характеризуют не сам оловорудный процесс как таковой, а скорее интенсивность гидротермальной деятельности в пределах рудоконтролирующих тектонических структур. Аналогичное распределение (приуроченность к рудоконтролирующим структурам) большинства перечисленных элементов (особенно свинца и цинка) сохраняется и во вторичных ореолах рассеяния.

В связи с этим отмечу, что меня заинтересовали приведенные в докладе СибГЕОХИ /3/ аналогичные примеры разрыва во времени оловянной и свинцово-цинковой минерализации на месторождениях За-

байкаля.

В практическом приложении геохимических методов к поискам скрытого оруденения необходимо учитывать следующее. Независимо от состава и происхождения рудных месторождений, геологических условий их размещения, а также различных осложняющих факторов (стадийность, телескопирование, пострудное перераспределение веществ и т.п.) методы изучения и оценки первичных ореолов должны быть предельно просты, стандартны и вместе с тем надежны. Перед научно-исследовательскими и опытно-методическими работами ставятся широкие задачи, что связано с необходимостью получения ответов на целый ряд вопросов, относящихся к петрологии, петрохимии, генезису рудных месторождений, образованию их ореолов, геохимии процессов и объяснению их с физико-химической стороны. Наоборот, при поисках и разведке скрытого оруденения важно получить однозначные, конкретные ответы на сравнительно небольшой круг вопросов, используя ограниченный, экономически целесообразный комплекс средств.

Если рассматривать искомое рудное тело как n - мерный объект, обладающий n характеристиками (параметрами), то и ответы должны быть получены на соответствующее число вопросов, то есть должны быть определены все n координат объекта в этом пространстве. Одного параметра, сколь бы универсальным он ни считался, для этого недостаточно. В качестве координат при оценке можно рассматривать упомянутые выше уровень эрозийного среза, состав искомого оруденения, его интенсивность, расстояние до скрытого рудного тела и параметры его залегания. При отсутствии ответа на какой-либо из этих вопросов соответственно возрастает степень неопределенности всего решения в целом. Геохимические методы могут и должны быть использованы при определении всех этих параметров, являясь для некоторых из них ведущими.

Основным критерием эффективности рекомендуемых к внедрению в производство методов остается практика. Весьма эффективные примеры, приведенные в докладе ИМГРЭ и Таджикского геологического управления /1/, показывают, что, пользуясь простыми параметрами оценки первичных ореолов, при условии неременной проверки рекомендаций техническими средствами, можно получить отличные результаты.

Л и т е р а т у р а

1. Григорян С.В., Беспалов Н.И. и др. Опыт поисков эндогенного оруденения по первичным ореолам в Рудном Карамазаре. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
2. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
3. Поликарпочкин В.Б., Таусон Л.В. и др. Зональность гидротермальных месторождений как основа поисков глубокозалегающих рудных тел. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
4. Сафронов Н.И., Лапп М.А., Мещеряков С.С. Научные основы поисков глубокозалегающих месторождений. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

Сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

К МЕТОДИКЕ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

С.В.Григорян, В.З.Туманян

Институт минералогии и геохимии редких элементов

В настоящее время в различных подразделениях ИМГРЭ разработаны и внедрены в практику некоторые новые методы обнаружения и интерпретации аномалий. Суть нового подхода состоит в том, что обработка геохимических данных проводится с применением аппарата современной теории связи. Мы не можем в этой заметке сколько-нибудь подробно осветить все аспекты этого подхода (а тем более доказать его непротиворечивость задаче) и вынуждены поэтому изложить лишь отдельные результаты, имеющие, по нашему мнению, определенное значение для практики.

Легко видеть, что геохимические методы поисков полезных ископаемых являют собой частный случай многоканальных систем передачи сообщений (число каналов равно числу элементов, анализируемых в пробе). Естественно поэтому, что соответствующие методы обнаружения легко переносятся на случай геохимических сигналов. Одним из таких методов является накопление сигнала, геохимический аналог которого может быть назван методом аддитивных аномалий (метод сложения содержаний различных элементов в каждой пробе). Этот метод, улучшающий отношение сигнал/шум пропорционально \sqrt{N} (N — число каналов), позволяет повышать вероятность правильного обнаружения при заданном уровне вероятности ложной тревоги.

Более чувствительным (к тому же менее трудоемким) является метод обнаружения, названный методом мультипликативных аномалий

(перемножение содержаний различных элементов в каждой пробе). Он был разработан нами (приложение I) специально для случаев, когда сигналы (ореолы по отдельным элементам) слабы и не поддаются уверенному оконтуриванию при использовании других методик. Метод позволяет регистрировать различные по происхождению аномалии, обусловленные такими, например, факторами, как: наличие ореола, зоны трещиноватости, зоны рассеянной минерализации, смена пород и др. Для каждой из выделенных аномалий требуется выявление причины ее возникновения, и только некоторые из них могут быть признаны истинными ореолами. Выделение ореолов производится достаточно легко, так как контрастность даже для слабых ореолов составляет 10^6 – 10^9 , доходя до величин 10^{30} – 10^{20} . Хочется подчеркнуть, что метод перемножения содержаний в каждой пробе выгодно отличается от известных методов обнаружения аномалий не только своей значительно большей разрешающей способностью (контрастностью), но и чрезвычайной простотой, поскольку отпадает необходимость в определении фоновых содержаний.

Применение теории связи к интерпретации обнаруженных аномалий также оказывается полезным. Так, например, разработана и успешно применяется методика выявления пространственной зональности ореолов, основанная на выделении инвариантных траекторий фазового пространства внутри автоморфизмов выпуклых оболочек n -мерного евклидова пространства. Мы остановимся здесь еще на одном методе, позволяющем в большинстве случаев определять уровень эрозийного среза.

Универсальный ряд зональности или ряд, свойственный данному месторождению, позволяет разделить элементы на две большие группы – надрудные и подрудные. Элементы обычно легко отделяются, и в пределах ореола решается простая альтернатива – ореол надрудный или нет. Делается это путем образования отношения (для каждой пробы) произведения содержаний надрудных элементов к произведению содержаний подрудных (приложение II). Рассматривая это отношение вдоль скважины (или профиля), можно, как правило, легко оценить уровень среза.

Если надрудные и подрудные элементы выбраны верно, то падающий участок кривой зональности в простых случаях дает представление о размере рудного тела или зоны повышенной минерализации. Совершенно не обязательно, чтобы скважина вскрывала все участки кривой зональности. Для определения уровня среза вполне достаточ-

но выяснить, на каком участке кривой лежат интересующие нас пробы, а это, как правило, бывает очевидным, особенно в сочетании с графиком мультипликативных аномалий по той же выборке проб. Очевидно, что метод парных отношений является частным случаем описанной выше методики.

На все описанные выше методики и на ряд других, не вошедших в данное сообщение, в настоящее время написаны программы для ЭВМ в рамках создаваемой нами автоматизированной системы обработки геолого-геохимической информации (АСОГИ).

Мы надеемся, что предлагаемые методики, в виду их достаточной эффективности и чрезвычайной простоты, прочно войдут в практику геохимических поисковых работ и во многих случаях облегчат задачу обнаружения скрытых рудных тел.

Мультипликативный метод обнаружения аномалий(мультипликативные аномалии)

Для обоснования метода достаточно показать эквивалентность отношения правдоподобия произведению концентраций для каждой пробы:

$$\Lambda \sim \prod_{j=a}^n \quad (I)$$

Рассмотрим отношение правдоподобия:

$$\Lambda = \frac{P(C_{i,a}; C_{i,b}; \dots C_{i,j} \dots C_{i,n} | S_1)}{P(C_{i,a}; C_{i,b}; \dots C_{i,j} \dots C_{i,n} | S_0)} = \frac{1}{P(C_{i,a}; C_{i,b}; \dots C_{i,j} \dots C_{i,n} | S_0)} - 1 \sim$$

$$\sim \frac{1}{\prod_{j=a}^n P(C_{i,j})} \quad \text{для } \forall i \quad (\text{в силу некогерентности-фонных содержаний}),$$

где:

$C_{i,j}$ - содержание j -го элемента в i -ой пробе; $i = 1, 2, \dots, k$; $j = a, b, \dots, n$; S_0 - принадлежность выборки фону; S_1 - непринадлежность выборки фону; P - вероятность состояний.

Воспользовавшись гиперболической аппроксимацией спадающих ветвей кривой распределения, имеем

$$P(C_{i,j}) \sim \frac{\alpha_j}{C_j}, \quad \text{где } \alpha_j = \text{const} \quad \text{для } \forall i; \forall j$$

Тогда (I) примет вид

$$\Lambda = \frac{1}{\prod_{j=a}^n P(C_{i,j})} \sim \prod_{j=a}^n \frac{C_j}{\alpha_j} \sim \prod_{j=a}^n C_j \quad \text{для } \forall i$$

В этой цепочке эквивалентностей аддитивные и мультипликативные константы отброшены, так как они, как известно, не влияют на относительные приращения информации в анализируемой пробе.

Определение уровня среза

В пределах ореола можно заниматься обнаружением надрудной части ореола (применение метода Приложения I только к надрудным элементам, поскольку остальные компоненты—шум) и найти Λ_n . Аналогично находится Λ_n (подрудная часть). Образуется отношение:

$$\frac{\Lambda_n}{\Lambda_n} = \frac{\int (\text{надрудных содержаний})}{\int (\text{подрудных содержаний})}$$

Получены данные для построения графика кривой зональности.

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ
ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ

С.В.Григорян, М.А.Зубов, В.З.Туманян

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов

В дискуссии, развернувшейся на симпозиуме, основное внимание обращено на вертикальную зональность первичных геохимических ореолов. Это вполне понятно, так как вертикальная зональность ореолов (точнее, зональность по восстанию рудных тел) имеет огромное практическое значение: с ее помощью, как было показано в докладе "Опыт поисков эндогенного оруденения по первичным ореолам в Рудном Карамазаре" /1/, удается определять уровень расположения выявленных геохимических аномалий относительно ислепных, и вскрытых эрозией рудных тел.

Вместе с тем, как показывают исследования, при интерпретации геохимических аномалий должна быть использована не только вертикальная, но и продольная (по простиранию) зональность. Последняя позволяет определять положение обнаруженной аномалии относительно рудных тел в плане, т.е. установить, какие части аномалии выявлены - центральные или периферийные.

Продольная зональность первичных ореолов была исследована нами на части тех месторождений, по результатам изучения которых в докладе "Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений" /3/ рассмотрена вертикальная зональность первичных ореолов. Было установлено, что и в продольной плоскости рудных тел и ореолов происходит отчетли-

вая дифференциация в распределении элементов как по восстанию, так и простиранию рудоносных зон.

В качестве примера рассмотрим продольный разрез по одной из рудных зон месторождения Алтынтопкан. На рис.1 изображены изолинии величин показателя зональности ряда элементов-индикаторов, рассчитанных по первичным ореолам вокруг крутопадающего линзообразного скарново-полиметаллического рудного тела. Вертикальный поперечный разрез через это тело приведен на рис.2. Показатель зональности первичных ореолов (отношение линейной продуктивности ореола данного элемента к сумме всех) и методика составления рядов зональности рассмотрены в статье Л.Н.Овчинникова и С.Г.Григоряна "Еще раз о вертикальной зональности первичных ореолов" (см.настоящий сборник). На рис.1 точками указаны места пересечения скважинами плоскости рудного тела. По каждой из скважин и по профилям на поверхности рассчитаны величины показателя зональности первичных ореолов.

В продольном разрезе (рис.1) устанавливается закономерное изменение величин показателя зональности ореолов. В северо-восточной части разреза наблюдается относительное накопление серебра и в особенности мышьяка, о чем свидетельствует увеличение показателя зональности ореолов этих элементов с юго-запада на северо-восток. В отличие от этих элементов, максимальные значения показателя зональности ореолов никеля установлены в юго-западной части разреза, в зоне, непосредственно примыкающей к Алтынтопканскому разлому. Основные компоненты руд - свинец и цинк - занимают промежуточное положение.

Известно, что зональность первичных ореолов фиксирует направление движения рудоносных растворов. В данном случае, исходя из отмеченной зональности, мы определенно приходим к выводу, что рудообразующие растворы, по всей вероятности, поднимались по разлому и сбрасывали свой груз в примыкающих к зоне разлома скалах.

На основании обобщения результатов изучения продольной зональности месторождений нами получен ряд элементов-индикаторов, аналогичный ряду вертикальной зональности первичных ореолов, приведенному в докладе /3/. Совершенно очевидно, что как вертикальная, так и рассмотренная выше продольная зональность ореолов есть не что иное, как проекции вектора зональности по движению рудообразующих растворов на соответствующие плоскости.

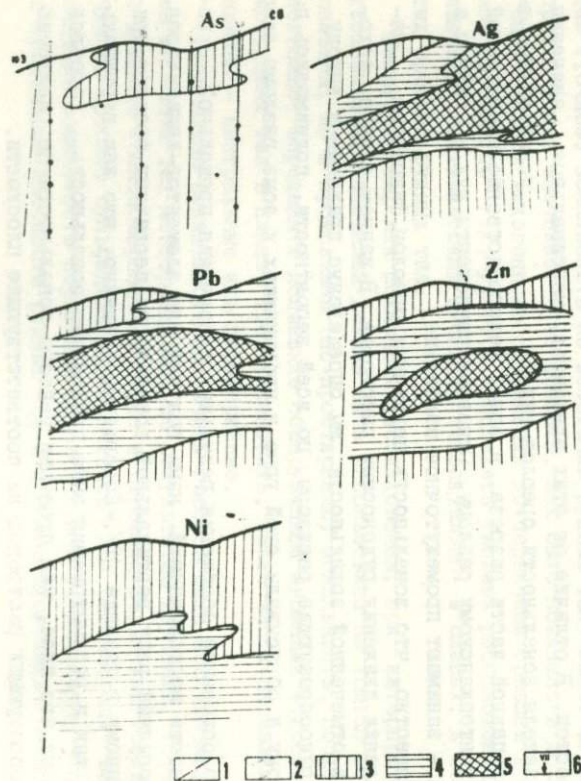


Рис. I. Продольный вертикальный разрез рудной зоны месторождения Алтынтюпкан с изолиниями показателя зональности.

1 - Алтынтюпканский разлом; 2 - контур рудного тела. Значения показателя зональности; 3 - мышьяк 0,05-0,17; серебро 0,002-0,01; свинец - 0,003-0,01; цинк 0,001-0,01; никель 0,005-0,03;

4 - серебро 0,01-0,04; свинец 0,01-0,1; цинк 0,01-0,1; никель 0,03-0,4; 5 - серебро 0,04-0,3; свинец 0,1-0,27; цинк 0,1-0,14; 6 - линии поперечных разрезов с опробованными скважинами.

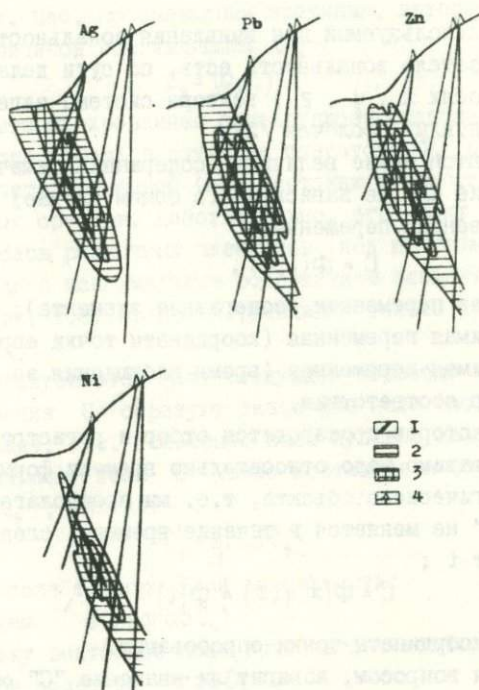


Рис.2. Поперечный разрез с первичными ореолами вокруг рудного тела месторождения Алтынтюпкан.

1 - рудное тело: содержания химических элементов в ореоле в %: 2 - серебро 0,00002-0,0001; свинец 0,003-0,01; цинк 0,009-0,02; никель 0,0007-0,001;

3 - серебро 0,0001-0,001; свинец 0,01-1,0; цинк 0,02-1,0, никель 0,001-0,004; 4 - опробованные скважины.

заклучение попытаемся выразить экспериментальные сведения о зональности первичных ореолов в терминах математических рассуждений.

Заметим, что используемый для выявления зональности первичных ореолов показатель зональности есть, по сути дела, траектория движения (в осях x , y , z) вектора системы алгебраических автоморфизмов выпуклых ооолочек /2/.

1. Регистрируются некие величины (содержания химических элементов), зависящие или не зависящие (в общем случае) от временной и пространственных переменных

$$C = \Phi(i, t), \quad (1)$$

где C - зависимая переменная (содержание элемента);

i - независимая переменная (координаты точки опробования);

t - независимая переменная (время наблюдения за объектом);

Φ - оператор соответствия.

2. Время, за которое производится отбор и регистрация величины "С" несопоставимо мало относительно времени формирования изучаемого геологического объекта, т.е. мы предполагаем, что значение функции "С" не меняется в течение времени, следовательно "С" не зависит от t ;

$$C = \Phi(x, y, z) = \Phi(i) \quad (2)$$

где x , y , z - координаты точки опробования.

Можно задаться вопросом, зависит ли значение "С" от координат точки t или не зависит. Другими словами - являются ли значения "С" взаимно независимыми величинами? Иначе - есть ли в изучаемой выборке детерминированная (закономерная) составляющая? Практика изучения первичных ореолов неоспоримо утверждает факт закономерного изменения (в большинстве случаев - увеличения) содержаний с приближением к центру рудопроявления (или минерализации).

Следовательно, в пределах ореола значения "С" изменяются не случайным образом, а поэтому мы имеем дело не со случайными величинами, а со случайными процессами. Это важное заключение указывает, в частности, на недостаточность всевозможных статистических оценок, таких, например, как среднее, дисперсия, закон распределения и т.д. Из этого же заключения следует, что

$$C = \Phi_s(i) + \Phi_n(i), \quad (3)$$

где $\Phi_S(i)$ - сигнальная (закономерная) функция (оператор);
 $\Phi_N(i)$ - шумовая (случайная) функция (оператор).

4. Можно изучать поведение каждого слагаемого формулы (3) в отдельности. Нам, по очевидным причинам, интересуют поведение детерминированной составляющей Φ_S

$$C_S = \Phi_S(i), \quad (4)$$

где C_S - детерминированная составляющая содержания.

5. Большую помощь в изучении оператора Φ_S оказывает факт наличия пространственной (по восстанию и простиранию) зональности первичных ореолов. Действительно, этот факт устанавливает, что центры ореолов различных элементов (под центрами ореолов мы понимаем точки с максимальным содержанием элементов) разобщены в пространстве, т.е. являются функциями только пространственной переменной "i".

Мы используем этот факт следующим образом:

а) значения C образуют скалярное поле (по определению скалярного поля), т.е. тензорное поле нулевой валентности;

б) скалярному полю C можно поставить в соответствие векторное поле C'_S , так как

$$C'_S = \text{grad } C_S \quad (5)$$

где C'_S - поле тензора I-ой валентности;

в) найдем $\text{div}(\text{grad } C_S)$

Поскольку векторное поле градиента с необходимостью есть потенциальное поле, то $\text{rot } C'_S = 0$

$$\text{div } C'_S = \nabla^2 C_S$$

∇^2 - Лапласиан.

Помня, что центры ореолов ("источники" поля) есть функция пространственной координаты "i", можем утверждать, что

$$\nabla^2 C_S = f(i) \quad (6)$$

или в явном виде

$$\frac{\partial^2 C_S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_S}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_S}{\partial z^2} = f(x, y, z) \quad (7)$$

Следует обратить внимание на то, что на систему координат не наложены никакие ограничения (в силу инвариантности ∇^2).

Выведенное дифференциальное уравнение в частных производных, относящееся к эллиптическому типу, позволяет утверждать:

1) первичные ореолы есть объемные трехмерные тела, имеющие, ес-

тественно, проекции на каждую из осей;

2) количества химических элементов в каждой точке в пределах ореольного пространства есть потенциалы геохимического поля.

Решение приведенного уравнения и его интерпретация в геологических терминах дает возможность проводить оценку геохимических аномалий на качественно новой основе, что существенно повысит точность и эффективность прогноза.

Л и т е р а т у р а

1. Григорян С.В., Беспалов Н.И. и др. Опыт поисков эндогенного оруденения по первичным ореолам в Рудном Кармазаре. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
2. Зубов М.А., Туманян В.З. Зональность первичных ореолов и методы ее выявления. - Материалы VIII конференции молодых ученых ВНИМСа. Часть I. Москва, 1970.
3. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КАССИТЕРИТ-СУЛЬФИДНОЙ ФОРМАЦИИ

Т.А.Морозова, Л.Н.Бельчанская

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов

В основу излагаемых ниже материалов положены данные изучения геохимических ореолов некоторых месторождений олова в Приморье, Забайкалье и Якутии. В Приморье были изучены месторождения Верхнее и Левицкое, в Якутии - Эге-Хая и Улахан-Эгелях, в Забайкалье - Халчерангинское.

Рудные тела изученных месторождений, за исключением Верхнего, выходят на эрозионную поверхность. Зона "Надежда" Верхнего месторождения является слепым рудным телом, залегающим на глубине 250-300 м от поверхности. Жила Буровая - 2 Халчерангинского месторождения эродирована в самой верхней части, где она представлена полиметаллическими рудами с убогим содержанием олова. Промышленная оловянная минерализация проявляется на глубине 200-300 м от поверхности.

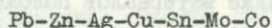
В результате обобщения полученных геохимических данных установлено, что рудные тела указанных месторождений сопровождаются первичными ореолами олова, свинца, цинка, серебра, меди, мышьяка, молибдена, кобальта, вольфрама. Наибольшей контрастностью обладает ореол олова. Ширина ореолов в десятки и более раз превышает размеры рудных тел. Ореолы перечисленных элементов имеют значительную протяженность по вертикали. Общая протяженность ореолов над слепыми рудными телами (месторождение Верхнее) составляет не

менее 250-300 м.

В строении первичных ореолов установлена отчетливая вертикальная зональность, проявляющаяся в приуроченности ореолов свинца, цинка и серебра к верхним уровням рудного тела, а олова, меди, молибдена и кобальта - к нижним, причем молибден и кобальт концентрируются в ореоле ниже олова и характеризуют, вероятно, подрудный горизонт месторождений касситерит-сульфидной формации.

Для количественной оценки зональности были подсчитаны продуктивности, их отношения и коэффициенты контрастности вертикальной зональности ореолов отдельных элементов и мультипликативных ореолов. Обработка этих данных показала закономерное изменение соответствующих параметров по вертикали. Необходимо отметить, что более контрастно вертикальная зональность проявляется при рассмотрении мультипликативных ореолов. Ореолы, оконтуренные по произведениям концентраций, становятся более широкими, зональность их - контрастной, изменение параметров по вертикали - стабильным.

По коэффициенту контрастности вертикальной зональности выведен общий для всех указанных месторождений ряд зональности:



Установленный на сульфидно-касситеритовых месторождениях Приморья, Забайкалья и Якутии ряд согласуется с обобщенным рядом зональности, приведенном в докладе Л.Н.Овчинникова и С.В.Григоряна /1/.

Ниже дана таблица изменений величины отношений линейных продуктивностей парных и мультипликативных ореолов по вертикали.

Горизонт подсечения рудного тела	Приморье (м-ние Верхнее)		Якутия (м-ние Эге-Хая)		Забайкалье (м-ние Хапчеранга)	
	Pb/Sn	$\frac{\text{PbZnAg}}{\text{Sn}^2\text{Cu}}$	Pb/Sn	$\frac{\text{PbZnAg}}{\text{Sn}^2\text{Cu}}$	Pb/Sn	$\frac{\text{PbZnAg}}{\text{Sn}^2\text{Cu}}$
I	2	3	4	5	6	7
Почвы	8,5-15,2	0,01-0,03	Ореолы не изучались		Ореолы не изучались	
Надрудный	0,7-1,6	0,01-0,05	"		16-71	0,02-0,04
Верхний рудный	0,1-0,5	0,0004-0,0009	1,7	0,001	Ореолы не изучались	

На рисунке приведен совмещенный разрез по месторождениям Верхнее, Хапчеранга и Эге-Хая, расположенным в трех разных оловорудных провинциях. На графике изображено изменение отношения мультипликативных ореолов от почв и надрудного горизонта Верхнего и Хапчерангинского месторождений к подрудному горизонту Эге-Хая. Величина этого отношения закономерно уменьшается с глубиной примерно в 1000 раз.

Выявленные закономерности распределения элементов в околорудном пространстве оловянных месторождений касситерит-сульфидной формации имеют важное практическое значение. Они могут быть использованы для: а) определения по комплексу элементов типа рудной формации (основные элементы-индикаторы: олово, свинец, цинк, медь, серебро, мышьяк, молибден, кобальт); б) отличия надрудных ореолов от подрудных на основе установленного ряда вертикальной зональности; в) оценки уровня эрозионного среза рудопроявлений, так как контрастная вертикальная зональность выявляется не только при сопоставлении надрудных и подрудных сечений, но и различных сечений самих рудных тел.

Изучение мультипликативных ореолов резко расширяет диапазон практического использования первичных ореолов за счет экстраполяции разработанной на изученных разрезах методики на другие рудные тела месторождения и даже за пределы последних. Близкие количественные показатели отношений параметров мультипликативных ореолов для месторождений не только одного региона, но и для объектов касситерит-сульфидной формации, расположенных в различных металлогенических провинциях, дает возможность не только качественно, но и количественно, без проведения дополнительных исследований оценивать эрозионный срез аномалий и отличать надрудные ореолы от подрудных далеко за пределами известных месторождений.

Необходимо отметить, что вертикальная зональность достаточно отчетливо выявляется и при рассмотрении парных отношений, однако в этом случае наблюдается большой разброс значений, что значительно затрудняет интерпретацию аномалий. Например, наиболее характерное парное отношение Pb/Sn в ореоле оловянных месторождений, в зависимости от соотношения олова и полиметаллов в рудах, колеблется от < 1 до $1,5$ в бессульфидных месторождениях и от 2 до 70 там, где сульфиды встречаются в промышленных концентрациях. Из таблицы видно, что отношение Pb/Sn в надрудном

горизонте по Верхнему месторождению составляет 0,7-1,6, а по Хапчеранге - 16-71. В то же время по мультипликативным ореолам отношение надрудных элементов к подрудным для всех месторождений на одних и тех же уровнях практически не меняется. Это лишний раз подчеркивает, что мультипликативные ореолы обладают большей стабильностью и информативностью. Отношение Pb/Sn может быть использовано для характеристики оловянных месторождений и аномалий по содержанию в них сульфидов.

Важен установленный на месторождении Верхнем факт тесной корреляции первичных и вторичных ореолов. Отношение продуктивности Pb·Zn·Ag к продуктивности Sn²Cu в почвах и коренных породах в верхней части разреза близки по абсолютному значению и достаточно резко отличаются от нижележащих горизонтов. Это говорит не только о пространственной, но и о генетической связи вторичных ореолов с первичными. Тесная корреляция эндогенных и экзогенных ореолов позволяет проводить поиски рудных тел и сопровождающих их первичных ореолов по вторичным и по величине отношения элементов в последних определять эрозийный срез первичного ореола и рудного тела.

Л и т е р а т у р а

1. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений: В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИИ (СТПМ)

Посессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

О СООТНОШЕНИИ СТАДИЙНОСТИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ЗОНАЛЬНОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

В.В.Поликарпочкин, Н.А.Китаев

Институт геохимии СО АН СССР

Нам представляется совершенно правильным содержащийся в докладе Л.Н.Овчинникова и С.В.Григоряна /2/ тезис о том, что выделяемые на гидротермальных рудных месторождениях стадии минерализации в преобладающем большинстве случаев являются результатом не временной, а пространственной дифференциации единого рудообразующего раствора. Имеющийся в нашем распоряжении материал, полученный при изучении первичных ореолов гидротермальных месторождений различного типа (золоторудных, полиметаллических, оловорудных, флюоритовых), подтверждает это положение.

При рассмотрении указанного вопроса существенное значение имеют представления о характере распределения каждого отдельно взятого рудного или сопутствующего элемента в рудных телах и околорудном пространстве. Здесь прежде всего мы должны подвергнуть критике упрощенное, а по существу неверное, представление о том, что постепенное уменьшение концентраций осаждающихся в процессе минерализации элементов по мере удаления от рудного тела как по восстанию, так и в горизонтальном плане является характерным случаем и будто бы, исходя из такого представления, мы можем адекватно описать процесс образования ореола. В действительности оно является не характерным, а лишь частным случаем, причем уменьшение далеко не всегда происходит по экспоненциальному закону /5/.

Нам уже приходилось описывать достаточно широко распространен-

ные случаи гораздо более сложного распределения элементов в совокупности рудных тел и их ореолов /3,7/. В частности, нередко наблюдается распределение с приуроченностью максимальных концентраций к рудному телу, постепенным уменьшением их по мере удаления от контакта с последним вплоть до практического отсутствия элемента и возникновением на некотором расстоянии нового максимума. В других случаях максимум в рудном теле отсутствует, в пределах его и в прилегающей к нему зоне вмещающих пород фиксируются лишь очень низкие, часто ниже кларковых, содержания элемента, а повышенные концентрации располагаются в том или ином удалении от рудного тела.

Мы отмечали также /4/, что существуют распределения, характеризующиеся постоянной величиной концентраций элемента в пределах определенного интервала близ рудного тела и происходящим затем мгновенным падением концентраций до уровня фона, что соответствует ореолам с резко обозначенными фронтами. Такой же характер распределения фиксируется в некоторых образовавшихся метасоматическим путем месторождениях с резко обозначенными контактами рудных тел (например, в ряде залегающих в карбонатных породах полиметаллических месторождения Восточного Забайкалья), когда мгновенное падение концентраций до уровня фона происходит на границе рудного тела и ореолы определенных элементов практически отсутствуют. В посвященной первичным ореолам литературе последних лет приводятся многочисленные случаи так называемых отрицательных ореолов или ореолов выщелачивания и других распределений элементов, более сложных, чем это представлялось вначале.

Совершенно ясно, что все перечисленные распределения элементов в совокупности рудных тел и ореолов, не соответствующие представлению о постепенном по экспоненциальному или какому-либо другому закону понижении концентраций по мере удаления от рудных тел, не являются случайными или имеющими второстепенное значение, а представляют собой существенные характеристики ореолов. Наличие отрицательных ореолов вблизи рудных тел, сменяющихся повышенными концентрациями элементов по периферии, различными авторами очень часто объясняется наложением разновременных стадий минерализации, при котором первоначально отложенное вещество выносится из прилегающей к рудному телу зоны растворами более поздней стадии минерализации.

Вероятно, мы действительно встречаемся с подобного рода явле-

нием при так называемом предрудном, происходящем в результате ранней дегазации интрузий, привносе рудных веществ, проблема которого разрабатывается в Институте геохимии СО АН СССР под руководством Л.В.Таусона.

Почти несомненно предрудный привнос имел место на молибденовых месторождениях типа Шахтаминского /6/.

При возможном наличии в ряде случаев, пусть даже и достаточно часто, предрудного привноса первостепенное значение имеет то обстоятельство, что объяснение наблюдаемого в месторождениях распределения промышленно-ценных элементов и их спутников обычно не требует привлечения представления о многостадийности оруденения. Наоборот, это представление часто находится в противоречии с данными наблюдений. Указанные выше распределения различного характера, приводящие в совокупности разных элементов к возникновению зон различного состава, хорошо объясняются с позиций метасоматического процесса и связанной с ним зональности.

Совершенно очевидным это становится при рассмотрении распределения элементов в околорудном пространстве. Здесь обычно наблюдается закономерная смена зон ореолов, характеризующихся различным элементным составом или резко различающимися концентрациями определенного набора элементов. Невозможно представить себе возникновение подооной закономерно построенной в пространстве зональности с точки зрения наложения разновременных стадий минерализаций, обусловленных последовательной подачей порций растворов, различающихся по химическому составу. В представлении же о воздействии единого раствора, состав которого меняется в пространстве в результате реакций с породами и, возможно, по другим причинам, такая зональность становится необходимым свойством системы. Этот механизм может быть перенесен и на сами рудные тела, которые можно представить как определенную зону, чаще же как совокупность нескольких зон общей для месторождения метасоматической колонки.

Наличие экспрессных методов анализа рудных элементов позволяет быстро и легко воссоздавать картину их пространственного распределения путем систематического опробования разрезов с отбором большого числа проб. В целом в результате исследований, проведенных в целях применения геохимических методов при поисках рудных месторождений, накоплен огромный материал, представляющий большой интерес для развития представлений о метасоматозе и метасоматической зональности в рудном процессе. С другой стороны, по-

сколькo зональное распределение рудных элементов и их спутников в первичных ореолах (и самих рудных телах) является отражением общей метасоматической зональности, процессы образования ореолов можно понять только при одновременном изучении поведения рудных и петрогенных компонентов. Плодотворность такого подхода продемонстрирована в некоторых докладах и выступлениях на настоящем симпозиуме.

Для иллюстрации изложенных выше представлений приведем некоторые данные по детально изучавшимся нами /3/ первичным ореолам Балейского золоторудного поля. Ореолы, характеризующиеся наличием золота, серебра, мышьяка, сурьмы, меди, свинца, цинка и некоторых других элементов, выражены здесь очень отчетливо. Они имеют зональное строение, характеризующееся распространением различных элементов на разное расстояние от рудных тел. В вертикальном разрезе ореол каждого элемента выражен в виде полос, окаймляющих рудные тела с обеих сторон и сверху, расширяющихся по восстановлению (рис. 1). В рудных телах выделялось значительное число стадий минерализации (до I6), но в последние годы в публикуемых работах проявляется тенденция значительного уменьшения их числа. Строение ореолов хорошо объясняется в предположении единого раствора, состав которого изменялся в пространстве в результате взаимодействия с породами. Лишь для сурьмы наблюдаются некоторые отклонения от закономерно построенной картины распределения. Наиболее высокие концентрации этого элемента приурочены к участкам, обнаруживающим секущее положение к зональному ореолу других элементов. Это соответствует представлению о наличии в Балейском рудном поле обособленного кварц-антимонитового этапа минералообразования, более позднего, чем золотое оруденение, и непосредственно с ним не связанного.

Эволюция рудообразующего раствора в пространстве, являющаяся следствием взаимодействия с породами, изменения температуры, давления и тому подобных факторов, должна иметь определенные общие тенденции и поэтому естественно, что в различных случаях мы наблюдаем повторение одного и того же порядка расположения элементов в ряду зональности. Признаки единого ряда вертикальной зональности, в общих чертах соответствующего известному ряду Эммонса, отмечались в докладах Л.Н.Овчинникова, С.В.Григоряна /2/ и нашем /6/. Вместе с тем, мы считаем очень важными различного рода отклонения от этого ряда, так как изучение их может привес-

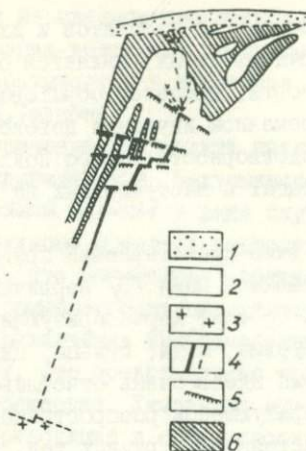


Рис. I. Ореолы меди и свинца, Балейское рудное поле.

1 - послерудные (четвертичные) отложения; 2-песчаники и конгломераты; 3-гранитоиды; 4-рудные жилы; 5-пологопадающие тектонические нарушения; 6-ореолы меди и свинца.

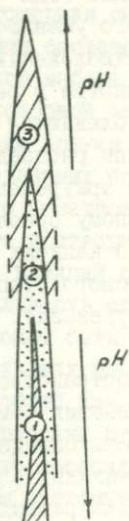


Рис. 2. Схема зональности золотоносной кварцево-сульфидной минерализации.

ти к выявлению существенных причин, обуславливающих зональность рудных тел и ореолов. В нашем докладе мы указывали, что одной из таких причин могла быть специализация гидротермальных растворов на определенные элементы, влияющая через закон действия масс. Но возможны и другие причины. Покажем это на примере коренных рудопроявлений золота в Ленском районе (Витимо-Патомское нагорье).

Золотое оруденение представлено здесь различными типами (кварцевыми жилами, зонами прожилковой кварц-пиритовой и широко проявленной вкрапленной кварц-пиритовой минерализации), но химизм процесса во всех случаях в основных своих чертах был одинаковым. В обобщенной схеме можно выделить три зоны, различающиеся по минеральным ассоциациям, характеру происшедших химических реакций и находящихся в определенных пространственных взаимоотношениях друг с другом (рис.2).

Для средней зоны (2) характерен практически мономинеральный кварцевый состав. В жилах эта зона соответствует основному кварцевому телу, в прожилках занимает их периферическую часть, в случае вкрапленной минерализации образует кварцевую рубашку вкрапленников пирита. Отложение кварца сопровождается кислотным выщелачиванием, в результате которого из породы выносятся почти все компоненты, кроме, разумеется, SiO_2 ; в значительной степени остается TiO_2 . Выщелачивается также золото (в кварце содержания его ничтожны).

Для внешней зоны (3) характерно отложение сульфидов (преобладает пирит), карбонатов и щелочного полевого шпата. Эти минералы выпадают в условиях повышающейся щелочности. Здесь происходит и отложение золота, которое появляется в приконтактной части кварцевой жилы и сопровождает ее также с внешней стороны. Характеризующаяся наличием указанных минералов кайма окружает кварцевую жилу со стороны зальбандов и в направлении выклинивания, образуя ее ореол. Она представляет собой не что иное как зону нейтрализации кислого раствора, производящего выщелачивание и отложение кварца. Естественно поэтому, что щелочность раствора должна возрастать по мере удаления от жилы.

Для внутренней зоны (I) характерна та же ассоциация минералов, что и для внешней: сульфиды, карбонаты, щелочной полевой шпат и золото. В жилах эта зона иногда занимает центральное положение, располагаясь на определенном расстоянии от выклиниваний жил, но

чаще она имеет неправильную конфигурацию, распространяясь по участкам наибольшей трещиноватости кварца. В случае прожилковой минерализации сульфиды (пирит) слагают внутреннюю часть прожилков, в случае вкрапленной минерализации с этой зоной могут быть отождествлены имеющие обычно довольно правильную кубическую форму пиритовые ядра кварц-пиритовых вкрапленников. Появление той же ассоциации минералов, что и во внешней зоне, свидетельствует о том, что здесь также существовали условия повышенной, по сравнению со средней зоной, щелочности.

На основании некоторых наблюдений золотоносных кварцевых жил в Ленском районе и аналогий с другими районами в распределении сульфидной минерализации кварцевых жил (их внутренней зоны) устанавливается вертикальная зональность, которая заключается в том, что в верхних частях жил, на некотором расстоянии от их выклинивания, встречается пирит (иногда также арсенопирит), а ниже появляются галенит и сфалерит, затем халькопирит и блеклые руды. Золото встречается во всех зонах (кроме верхней, не содержащей сульфидов), но количество его возрастает от верхних частей жил в направлении к зоне халькопирита и блеклых руд. Можно полагать, что указанная зональность контролируется щелочностью среды: в условиях наибольшей щелочности происходит отложение блеклых руд, а в направлении вверх раствор постепенно раскисляется в результате взаимодействия с SiO_2 кварцевой жилы.

Таким образом, во внутренней сульфидной (с золотом, карбонатами и щелочным полевым шпатом) зоне кварцевых жил щелочность повышается на глубину, тогда как во внешней зоне она увеличивается вверх от жилы (на рис.2 это показано ориентированными в противоположных направлениях стрелками). Отсюда следует, что в той мере, в какой отложение минералов зависит от щелочности раствора, во внешней зоне (то есть ореоле кварцевой жилы) должна иметь место зональность, обратная той, которая наблюдается в самих кварцевых жилах. Для Ленского района таких данных пока еще нет, но мы можем воспользоваться материалами по другим районам, основываясь на том, что указанные выше особенности распределения характерных минералов с удивительным постоянством прослеживаются во всех районах распространения золотоносных кварцевых жил.

В ореолах Балецкого рудного поля свинец образует довольно отдаленный надрудный ореол. Но для самих рудных жил характерно противоположное направление изменения концентраций свинца — они уве-

личиваются на глубину. В свое время (I,3) это обстоятельство не было понято нами, но в свете изложенных представлений оно получает вполне обоснованное объяснение. Нечто подобное наблюдается и в отношении меди. Медь образует в ореоле кварцевых жил БалеЙского рудного поля максимумы, сдвинутые несколько выше максимумов мышьяка. В рудных телах участки максимальных содержаний либо располагаются в пределах золоторудных столбов, либо несколько сдвинуты относительно их вверх или вниз. Мышьяк образует интенсивный ореол в виде резко выраженных шапок, расположенных непосредственно выше окончания рудных жил, второй максимум он дает в рудных жилах.

Взаимно-обратная зональность рудных тел и их ореолов (зональность ореолов является зеркальным отражением зональности рудных тел), по-видимому, не ограничивается одними золотоносными кварцевыми жилами. Ее можно ожидать во всех случаях, когда кислотное выщелачивание с отложением кварца, сопровождаемое каймой нейтрализации кислого раствора на его внешнем фронте, сменяется на глубине условиями более щелочных растворов.

Л и т е р а т у р а

1. Гапонцев Г.П., Поликарпочкин В.В., Сарапулова В.Н., Нестерова А.А. Распределение элементов-спутников золота в плоскости жил БалеЙского рудного поля. - Геол.рудн.м-ний, 1969, № 5.
2. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубоководных рудных месторождений. Иркутск, 1970.
3. Поликарпочкин В.В., Китаев Н.А., Сарапулова В.Н. Строение и вертикальная зональность первичных ореолов рассеяния БалеЙского золоторудного поля. - Геохимия, 1965, № 8.
4. Поликарпочкин В.В., Шатров Б.Б., Лапш М.А. Зональные ореолы рассеяния Ивановского полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье). - В кн.: Геохимия рудных месторождений. М., "Наука", 1964.
5. Поликарпочкин В.В. О некоторых особенностях распределения элементов в ореолах рассеяния и факторах, их определяющих. - Геол. рудн.м-ний, 1967, № 6.

6. Поликарпочкин В.В., Таусон Л.В., Дубов Р.И., Китаев Н.А., Цампура В.Д., Санин Б.П., Трошин Ю.П. Зональность гидротермальных месторождений как основа поисков глубокозалегающих рудных тел. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
7. Сафронов Н.И., Поликарпочкин В.В., Трушков Ю.Н. Комплексные методы поисков месторождений золота. - Сов.геология, 1960, № 4.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

II сессия. 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ЕЩЕ РАЗ О ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ОРЕОЛОВ

Л.Н.Овчинников, С.В.Григорян

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов

В оживленной дискуссии, развернувшейся вокруг заслушанных на настоящей сессии докладов, большое внимание было уделено зональности первичных геохимических ореолов и, в частности, обобщенному ряду элементов-индикаторов вертикальной зональности сульфидных месторождений, приведенному в нашем докладе /5/. И это не случайно: вертикальная зональность первичных геохимических ореолов имеет не только теоретическое, но и огромное практическое значение и поэтому постоянно привлекает пристальное внимание исследователей.

Прежде всего мы бы хотели обратить внимание наших оппонентов и других заинтересованных специалистов на два важных исходных обстоятельства. Первое – универсальная вертикальная зональность первичных ореолов гидротермальных сульфидных месторождений, в своих основных чертах не зависящая ни от промышленного металла, ни от типа и происхождения месторождения, – не наше предположение, не результат пусть даже строгого теоретического исследования, а объективная реальность, выявляющаяся при сопоставлении данных опробования, относящихся к околорудному пространству большого числа месторождений, разнообразных по составу и геолого-структурной обстановке. Эта зональность настолько наглядна, что проявляется на любом месторождении, независимо от воли и желания

исследователя, как только этот исследователь приступает к объективной статистической обработке и систематизации полученных геохимических данных. Об этом, в частности, уже свидетельствуют доступные нам опубликованные и фондовые материалы других авторов, а также ряд выступлений на данной сессии.

Второе обстоятельство, подчеркнутое нами еще в докладе, заключается в том, что, как и любую природную закономерность, выведенный ряд зональности элементов-индикаторов ни в коем случае нельзя воспринимать догматически. При сохранении общей тенденции, отдельные соседние члены этого ряда, расположенные по обоим его краям, в силу влияния дополнительных локальных факторов могут меняться местами. Выявление универсального ряда зональности первичных ореолов элементов-индикаторов сульфидных месторождений при всей его большой значимости — только первый, начальный этап проникновения в механизм и закономерности формирования рудных месторождений. В настоящее время мы ведем изучение обязательных отклонений от этого ряда, связанных уже с более частными факторами образования отдельных типов месторождений и их конкретных представителей.

Следует обратить внимание и на то, что сама методика составления обобщенного ряда элементов-индикаторов вертикальной зональности первичных ореолов исключает догматический подход к этому ряду как к чему-то застывшему и показывает вероятностный характер нахождения металлов в этом ряду. По-видимому, здесь будет уместно более детально, чем в докладе, остановиться на методике получения обобщенного универсального ряда зональности с одновременной попыткой дать оценку вероятности нахождения каждого из элементов-индикаторов на соответствующем месте в ряду.

Для количественной оценки описываемой зональности и положения элемента в зональном ряду мы предлагаем пользоваться показателем зональности индикатора, который представляет собой отношение продуктивности (линейной или площадной) ореола данного элемента к сумме продуктивностей ореолов всех элементов-индикаторов данного типа оруденения. При этих подсчетах среднее содержание элементов в ореолах нормируется через их среднефондовое значение.

По сравнению с предложенной ранее методикой определения ряда зональности по величине коэффициента контрастности отношений продуктивностей соответствующих пар элементов метод показателя зональности обладает большей точностью. Благодаря суммированию

ошибки определения исходных данных. Именно поэтому вероятность при сопоставлении групп элементов-соседей резко возрастает и для ассоциаций элементов, выделенных в приведенном ряду и характеризующих надрудные и подрудные ореолы, составляет 100%. Это лишний раз подчеркивает преимущество использования при геохимических поисках показателей суммарных ореолов по сравнению с моноэлементными.

Учитывая вышеизложенное, мы предлагаем при интерпретации геохимических аномалий широко использовать так называемые мультипликативные ореолы, построенные по результатам перемножения в каждой пробе содержаний группы элементов-индикаторов. Мультипликативные ореолы по размерам значительно превосходят моноэлементные, что имеет большое практическое значение, поскольку существенно облегчает обнаружение ореолов вообще. При поисках скрытого (слепого) оруденения мультипликативные ореолы обладают значительно большей глубиной по сравнению с моноэлементными.

Особенно эффективным нам представляется использование мультипликативных ореолов при оценке уровня геохимических аномалий относительно рудных тел и в частном случае при определении уровня их эрозионного среза. Для этой цели можно пользоваться величиной отношения продуктивностей мультипликативных ореолов надрудных и подрудных элементов. Выбор этих элементов производится на основе приведенного выше универсального ряда вертикальной зональности. Установлено также, что графики отношений продуктивностей мультипликативных ореолов благодаря значительным размерам последних по сравнению с моноэлементными являются монотонными на большем интервале по вертикали, что существенно повышает надежность их практического использования.

При построении мультипликативных ореолов удается установить более надежную, по сравнению с моноэлементными ореолами, связь первичных и вторичных геохимических ореолов, что особенно важно при интерпретации вторичных литогеохимических аномалий /4/.

Рассматривая вертикальную зональность первичных ореолов, нельзя не отметить еще одну чрезвычайно важную в методическом и практическом отношении особенность мультипликативных ореолов, а именно: большую универсальность вертикальной зональности мультипликативных ореолов по сравнению с моноэлементными.

Несмотря на качественно единообразную вертикальную зональность первичных ореолов разных по составу рудных месторождений,

характеризующуюся приведенным выше рядом, количественно зональность каждого месторождения специфична, т.е. значения парных отношений продуктивностей ореолов-индикаторов вертикальной зональности в большинстве случаев характеризуют только данное конкретное месторождение и не всегда применимы в иных случаях. Другими словами: величины отношений продуктивностей ореолов одних и тех же пар элементов в месторождениях одной формации для одних и тех же уровней ореолов, как правило, отличаются значительно. Это означает, что величины парных отношений параметров первичных ореолов надежно могут быть использованы только в пределах тех месторождений, где вокруг известных рудных тел для соответствующих сечений установлены конкретные значения парных индикаторных отношений.

Исследования показывают, что мультипликативные ореолы лишены этого недостатка. Значения отношений мультипликативных ореолов, рассчитанных для адекватных сечений первичных ореолов, близки между собой при значительном градиенте в вертикальном разрезе. Для иллюстрации этого положения на рис. I приведены графики изменения по вертикали отношений линейных продуктивностей мультипликативных ореолов таких различных по условиям формирования свинцово-цинковых месторождений как Курусай, Алтын-Топкан, Канимансур и Гарпенберг. Первые три месторождения находятся в Средней Азии (Таджикская ССР), а месторождение Гарпенберг - в средней части Швеции. Рудные тела скарново-полиметаллических месторождений Курусай и Алтын-Топкан залегают в скарнированных известняках возраста D_3-C_1 , а свинцово-цинковое месторождение Канимансур в кислых эффузивах верхнекарбонového возраста. Все эти месторождения имеют молодой возраст (триас). Месторождение Гарпенберг докембрийского возраста и залегают в древней (архей) метаморфизованной толще фьллитов. Как следует из рис. I, несмотря на резкие различия в геологических условиях локализации этих месторождений, графики изменения отношений мультипликативных ореолов имеют монотонный характер, весьма близко и достаточно контрастно отражают вертикальную зональность в строении первичных ореолов, которая выражается в закономерной смене с глубиной элементов-индикаторов верхних рудных сечений (свинец, серебро, цинк) индикаторами более глубоких уровней ореолов (медь, висмут, кобальт). Выбор групп элементов производился на основе приведенного выше обобщенного ряда вертикальной зональности. В подрудных сечениях величины от-

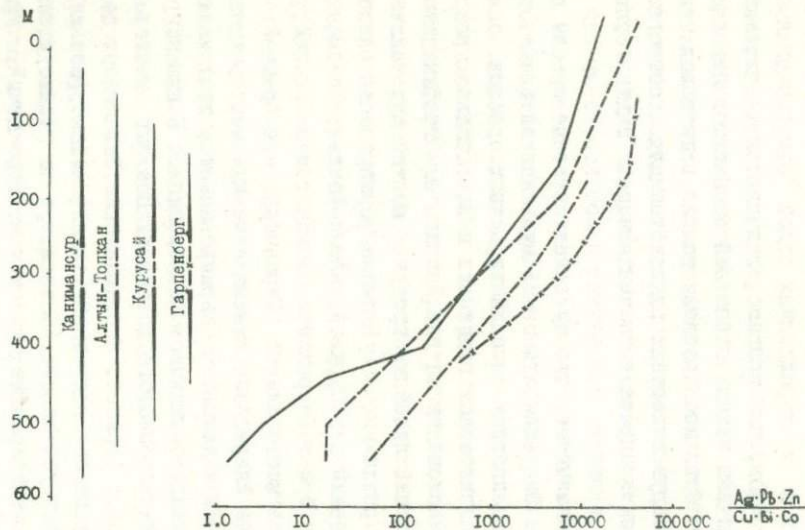


Рис. I. Графики отношений надрудных (Pb·Ag·Zn) и подрудных (Cu·Bi·Co) мультипликативных ореолов свинцово-цинковых месторождений.

ношений мультипликативных ореолов для всех месторождений не превышают 100, тогда как в верхнерудных и надрудных сечениях это отношение во всех случаях более 10000, т.е. контрастность превышает 100.

Т.А.Морозовой и Л.Н.Бельчанской (Центральная геохимическая экспедиция ИМГРЭ) по предложенной нами методике были получены аналогичные результаты для ряда оловорудных месторождений Приморья, Якутии и Забайкалья. Результаты этих расчетов приведены в настоящем сборнике в статье упомянутых исследователей.

Таким образом, намечается возможность создания на основе мультипликативных ореолов табулированных величин для оценки уровня геохимических аномалий различных рудных формаций далеко за пределами известных месторождений, что резко расширяет диапазон практического применения методики поисков месторождений по первичным геохимическим ореолам. Естественно, что прежде чем использовать параметры мультипликативных ореолов для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий, следует установить тип формаций, обусловивших эти аномалии. Геохимические критерии определения типа рудной формации по параметрам аномалий нами рассмотрены ранее /2/ и здесь не приводятся.

В настоящее время с помощью ЭВМ и на основе ряда зональности ореолов нами проводятся исследования возможностей составления соответствующих номограмм для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий различных рудных формаций по табулированным величинам отношений продуктивностей мультипликативных ореолов наиболее информативных комбинаций надрудных и подрудных элементов.

Следует отметить, что использование в практике обобщенного ряда вертикальной зональности первичных ореолов целесообразно еще и потому, что во многих случаях он позволяет избежать ошибок при выборе элементов-индикаторов надрудных и подрудных сечений ореолов, а следовательно, и ошибок при оценке перспектив рудоносности участков исследований. Так, например, на одном из участков месторождения Курусай по результатам геохимического опробования было установлено, что среднее содержание молибдена в первичном ореоле монотонно убывает с глубиной. Следовательно, мы должны были отнести молибден к индикаторам надрудных сечений ореолов, ибо наиболее широкие и контрастные ореолы этого элемента были установлены только выше рудных тел на поверхности. Такое поведение

молибдена противоречило приведенному выше ряду элементов-индикаторов, в соответствии с которым молибден является типичным индикатором подрудных сечений сульфидных месторождений. Изучение причин такого отклонения позволило установить, что появление молибдена в ореолах было обусловлено развитием по галениту гипергенного вульфенита, тогда как основной формой нахождения гипогенного молибдена - индикатора подрудных сечений первичных ореолов является молибденит.

В заключение следует отметить, что вряд ли можно согласиться с теми товарищами, которые выступают против широкого внедрения в практику производственных работ рассмотренной методики поисков гидротермального оруденения по первичным ореолам, требуя проведения дальнейших более углубленных исследований и уточнения ряда неясных вопросов. Не возражая против проведения в данном направлении дальнейших исследований, мы тем не менее считаем, что широкое внедрение в практику геологоразведочных работ данной методики уже сегодня дает только положительный эффект. Это внедрение окажется полезным как в практическом (будет повышена эффективность геологоразведочных работ), так и в научно-методическом отношении, поскольку лучший способ проверки и дальнейшего развития методики - это ее производственное применение. В правильности такого утверждения нас убеждают результаты апробации в производственных условиях рассматриваемой методики, приведенные в совместном докладе ИМГРЭ и Геохимической экспедиции Управления геологии Таджикской ССР /3/ и убедительно показавшие высокую эффективность практического применения методики поисков рудных тел по первичным геохимическим ореолам. Кроме того, вряд ли есть основания ожидать, что дальнейшие исследования приведут к существенной корректировке предложенных методических принципов, составленных на основе обобщения огромного эмпирического материала. Подтверждением этого положения может служить тот же обобщенный ряд вертикальной зональности первичных ореолов. Впервые этот ряд был опубликован в 1965 г. /2/ и выглядел следующим образом: Ba - Hg - As - Sb - Ag - Pb - Zn - Cu - Mo - Co - Au - U-Sn. Этот вариант обобщенного ряда был составлен на основе изучения весьма ограниченного числа месторождений: ряда урановых настуран-молибденитовой формации, Кансайского скарново-полиметаллического Канимансурского свинцово-цинкового (Средняя Азия) и Кедабекского медного месторождения (Азербайджанская ССР), - тем не менее в

последовательности элементов, присутствующих в обоих рядах, существенных расхождений нет.

Подчеркивая необходимость широкого практического использования выявленных закономерностей зональности первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений, мы в то же время не можем не указать и на то, что современное состояние разработки методов поисков рудных месторождений по первичным геохимическим ореолам несомненно требует дальнейшего расширения целенаправленных теоретических и экспериментальных исследований с целью создания более полной научно-обоснованной теории формирования первичных ореолов и самих рудных месторождений.

Л и т е р а т у р а

1. Беус А.А., Григорян С.В. и др. Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. М., "Недра", 1965.
2. Григорян С.В., Янишевский Е.М. Об основных критериях оценки геохимических аномалий при поисках скрытого оруденения. — Разведка и охрана недр, 1965, № 12.
3. Григорян С.В., Беспалов Н.И. и др. Опыт поисков эндогенного оруденения по первичным ореолам в Рудном Карамазаре. — В кн.: Научные основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Иркутск, 1970.
4. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. К методике интерпретации лито-геохимических аномалий. — В кн.: Поиски рудных месторождений по гипергенным литогеохимическим ореолам рассеяния. Материалы I сессии Междуведомственного Совета. Алма-Ата, 1969.
5. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений. Иркутск, 1970.

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ФТОР И СЕРА КАК ИНДИКАТОРЫ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

П. В. Комаров

Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии АН СССР

Во многих докладах, прозвучавших на первом и втором симпозиумах, подчеркивалась большая роль летучих элементов в процессах минералообразования.

Тематикой Института геологии рудных месторождений в последние десять лет поставлена задача изучить участие элементов — фтора, хлора, бора и серы в процессах формирования рудных месторождений, чтобы использовать эти данные при геохимических поисках.

Уже в первые годы работы в этом направлении было выяснено, что одним из наиболее эффективных элементов-индикаторов оруденения среди летучих является фтор. Поэтому необходимо было получить сведения о закономерностях распространения фтора в месторождениях различных генетических типов. С этой целью проведены фторометрические работы на месторождениях различных полезных ископаемых, расположенных в Приморье, Забайкалье, Средней Азии, Казахстане, Якутии, на Урале и Кольском полуострове.

Результаты этих исследований опубликованы в ряде статей /1, 2, 4/, поэтому о фторе здесь будет говорить лишь в общем виде и в сравнении с другим индикатором — серой. Устойчивые аномалии фтора вокруг эндогенных гидротермальных месторождений чаще всего связаны с окологрудными измененными породами — такими как скарны, грейзены, березиты и т.д. Это делает фтор одним из лучших индикаторов при поисках месторождений различных полезных ископаемых,

в том числе не обнаженных эрозией. Однако месторождения с околорудными метасоматитами, представленными пропилитами и листвени-тами, а также в случае аргиллизации и слабо проявленной серпиг-тизации, характеризуются довольно низкими аномалиями фтора, что затрудняет их обнаружение. Такие околорудные измененные породы наблюдаются на многих богатых сульфидных месторождениях, а также месторождениях других типов, в которых сульфиды распространены в той или иной степени.

Проведение сульфометрии пород на многих месторождениях, расположенных в различных регионах, показывает, что серой как индикатором можно пользоваться также довольно успешно. Это объясняется широким участием серы в процессах минералообразования. Сера участвует в формировании медно-никелевых и титано-магнетито-сульфидных месторождений магматического генезиса очень большой группы сульфидных гидротермальных месторождений, гидротермальных и осадочных сульфатных месторождений барита, гипса, алунита, а также самородной серы. Изучение возможностей использования фтора или серы как индикаторов оруденения показывает, что эффективность этих индикаторов зависит от распространенности их в месторождениях и связана с генетическими особенностями месторождений.

В самых общих чертах можно отметить, что среди гидротермальных месторождений высокие аномалии фтора в большинстве случаев имеют те, для которых устанавливается генетическая связь с интрузивами. Это преимущественно высокотемпературные месторождения редких элементов в контактах и куполах гранитных и щелочных массивов.

Следующий максимум проявления фторной минерализации связан с образованием флюоритовых месторождений и месторождений различных элементов с флюоритом. Для этого типа руд фтор является лучшим индикатором при поисках как обнаженных эрозией, так и скрытых близповерхностных месторождений.

Сульфиды, кроме молибденита, в высокотемпературную стадию образования редкометалльных месторождений не отлагаются. Формирование основной массы сульфидных гидротермальных месторождений происходит после консолидации интрузивов и часто совпадает по времени с проявлением даек лампрофиров и порфиритов /3,5/.

Начиная от средних и кончая наиболее низкими температурами, при которых формируются эпitherмальные месторождения, сульфиды являются основной формой нахождения металлов; лишь некоторые ме-

таллы, например уран, в связи с высоким сродством с кислородом, отлагаются в виде окислов. По содержанию серы можно оконтуривать и приблизительно оценивать промышленную значимость некоторых месторождений, например бария в баритовых или алюминия в алунитовых месторождениях.

Распространенность серы в сульфидных и сульфатных, а также в других месторождениях, где сульфиды не имеют промышленного значения, делает серу эффективным индикатором при поисках разнообразных месторождений. В первичных ореолах металлов вокруг сульфидных рудных тел, устанавливаемых при металлометрии, фиксируются рассеянные сульфиды, но эти же ореолы будут обнаруживаться и по сере. Если околорудные измененные породы представлены березитами, ореол пиритизированных пород достигает мощности многих метров. При этом могут быть случаи, когда металлометрия не уловит повышенных содержаний металлов, тогда как по сере получатся высокие аномалии.

Одним из недостатков серы как индикатора при поисках с опробованием вблизи современной поверхности, является вынос ее из коры выветривания. Однако этот вопрос нуждается в тщательном изучении. В очень многих случаях сера в той или иной мере сохраняется в породах, обнаженных на дневной поверхности. Интенсивному окислению с выносом серы подвергаются массивные сульфидные руды, образующие при окислении "железную шляпу". Тонкая же сульфидная вкрапленность в породах над еще скрытыми рудными телами, в том числе и богатыми, окислению подвергается в несравненно меньшей степени.

Во многих сульфидных рудных телах широко распространены прожилки барита, гипса, иногда алунита, образуются сульфаты типа ярозита, которые довольно устойчивы в зоне окисления. В сумме они дают отчетливые аномалии серы над рудными телами. Это подтверждается данными по сульфометрии, проведенной нами в поверхностных выработках на многих сульфидных или других, содержащих серу в меньших количествах, месторождениях различных регионов страны. Сера сульфидов полностью выносится только из пород, подвергшихся глубокому выветриванию.

На рис. I приведен разрез через один из участков полиметаллического месторождения Канмансур с графиками содержания фтора и серы^{*}. Несмотря на то, что пробы отобраны непосредственно с по-

^{*} Анализы серы выполнены в ЦХЛ ИГЕМ (аналитик Т.Макарова).

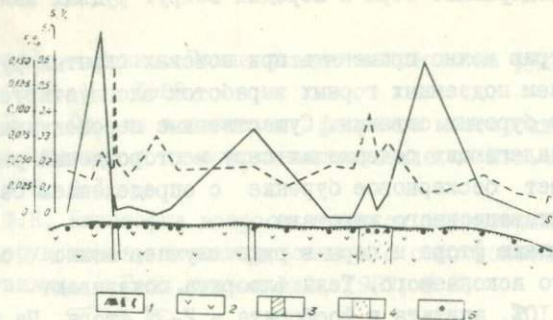


Рис. 1. Разрез одного из участков полиметаллического месторождения Канимансур (Средняя Азия):

1—почвенно-растительный слой, 2—измененные кварцевые порфиры и их туфы, 3— древние горные выработки, 4—зона обохренных пород, 5—точки отбора проб.

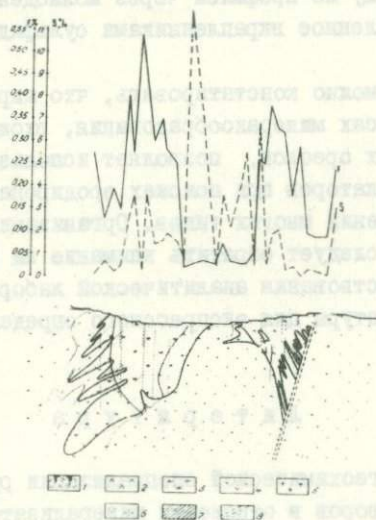


Рис. 2. Разрез одного из месторождений молибдено-медных порфирировых руд:

1—лёсс, 2—сиениты, 3—сиенитодиориты, 4—дациты, 5—гранодиоцит-порфиры, 6—дацитовые порфиры, 7—вторичные кварциты, 8—соросо-сдвиг.

верхности, содержание серы в породах вокруг рудных жил довольно высокое.

Сульфометрию можно применять при поисках скрытых рудных тел с опробованием подземных горных выработок эксплуатируемых рудников, а также буровых скважин. Существенные перспективы при поисках глубокозалегающих содержащих серу месторождений различного генезиса имеет бескерновое бурение с определением серы посредством активационного каротажа.

По содержанию фтора и серы в ряде случаев можно определять вид полезного ископаемого. Тела флюорита показывают содержание фтора более 10%, апатита и фосфорита - 2-3% фтора. На месторождениях редких элементов в гранитах и щелочных породах представляют интерес содержания фтора порядка 0,4-0,5% и выше. Содержание серы более 50% соответствует залежам самородной серы. При пересечениях протяженных аномалий серы заслуживает внимания интервалы с содержанием ее 0,5% и выше. Как видно из рис.2, содержание серы по одному из профилей через молибдено-медное месторождение, представленное вкрапленниками сульфидов, колеблется от 0,5 до 12%.

Таким образом, можно констатировать, что широкое участие фтора и серы в процессах минералообразования, вхождение их в состав руд и первичных ореолов, позволяет использовать эти элементы в качестве индикаторов при поисках эродированных и глубокозалегающих месторождений многих типов. Организациям, занимающимся приборостроением, следует обратить внимание на необходимость разработки и совершенствования аналитической лабораторной, полевой и каротажной аппаратуры для экспрессного определения фтора и серы.

Л и т е р а т у р а

1. Комаров П.В. О геохимической специализации рудообразующих магматогенных растворов в отношении минерализаторов (хлора, фтора и бора). - Геол.рудн.м-ний, 1963, № 6.
2. Комаров П.В., Нактинас Е.М. Фтор, хлор и бор, как элементы-индикаторы при геохимических поисках. - Геол.рудн.м-ний, 1965, № 3.
3. Комаров П.В., Аракелянц М.М. О выделении триасового и верхнеюрского этапов магматизма в Кличкинском рудном поле (Восточное

Забайкалье). - В кн.: Новые данные по геологии рудных районов Востока СССР. М., 1969.

4. Комаров П.В. ореолы и аномалии фтора на месторождениях полезных ископаемых и их поисковое значение. - Изв.АН СССР, сер. геол., 1970, № 1.
5. Шипулин Ф.К. Некоторые вопросы генезиса гидротермального сульфидного оруденения, ассоциированного с самостоятельными малыми интрузиями. - Геол.рудн.-м-ний, 1963, № 2.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

II сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕГКОЛЕТУЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

В.З. Фурсов

Центральная геохимическая экспедиция Казахского
геофизического треста

На сессии Межведомственного совета заслушаны доклады, посвященные геохимическим критериям потенциальной рудоносности и научным основам геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. В них подняты сложные проблемы, решения которых настоятельно требует теоретическая и прикладная геохимия. От этого в значительной степени будет зависеть эффективность геохимических методов поисков рудных месторождений. В нашем выступлении мы остановимся на вопросе использования легколетучих элементов при геологических исследованиях. Эта тема на симпозиуме развивалась в докладах ВитРа (Н.И. Сафронов, М.А. Лапп, С.С. Мещеряков), ГЕОХИ (В.Л. Барсуков и др.), ИГЕМа (Ф.К. Шипулин, Н.А. Озерова, П.В. Комаров, Л.Г. Филимонова и др.). В перечисленных докладах приводились данные об использовании ореолов ртути, иода и фтора при геохимических поисках.

Для геохимических поисков весьма важно создание высокопроизводительных и высокочувствительных методов определения легколетучих элементов в твердой и газовой фазе. Наиболее интересным методом, способным удовлетворить требования как теоретических исследований, так и практики геохимических поисков, является атомно-абсорбционный анализ /4/.

Метод атомно-абсорбционного анализа на ртуть без перевода ее

в раствор, разработан в Центральной геохимической экспедиции Казгеофизтреста (В.З. Фурсов, И.И. Степанов). Для определения концентраций ртути в газе и твердых пробах в ЦГХЭ было создано шесть моделей приборов КазРАФ - 1, 2, 3, 4, 5, 6 (наиболее совершенны три последние модели). Прибор КазРАФ-4 предназначен для определения ртути в твердых пробах. Особенностью этого прибора в отличие от ранее созданных (И.И. Степанов, Ю.Н. Кузнецов и В.З. Фурсов, 1965) является то, что анализ производится в два этапа: 1) возгонка ртути из пробы при температуре $700-800^{\circ}$ совместно с мешающими примесями и осаждение ее на золотом "струнном" сорбенте (И.И. Степанов, А.А. Рудковский и В.З. Фурсов, 1969); 2) десорбция ртути путем подогрева сорбента электрическим током и измерение концентраций десорбированной ртути в условиях отсутствия мешающих примесей. Диапазон определяемых концентраций - от $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-2}\%$, что достигается изменением навесок пробы, длины кюветы и расхода воздуха в газовом тракте прибора.

Прибор КазРАФ-5 предназначен для разделения валовых концентраций ртути на составляющие путем изменения режима подогрева пробы от 20 до 1000°C с непрерывным фиксированием мгновенных концентраций ртути самописцем ЭШП-09 (В.З. Фурсов, И.И. Степанов, 1967). Прибор КазРАФ-6 монтируется на автомашине (ГАЗ-69 или УАЗ-454) и предназначен для измерения сорбированных и свободных паров ртути в почвенном воздухе с чувствительностью $2 \cdot 10^{-9}$ мг/л. Такая чувствительность достигнута за счет применения золотого "струнного" сорбента и улучшения методики полевых измерений.

Создание ртутных фотометров позволило изучить распределение ртути в твердой и газовой фазах на ртутных, полиметаллических и медноколчеданных месторождениях, а также паров ртути в различных геоструктурных зонах Средней Азии, Казахстана и сейсмоактивных районах Алма-Аты и Ташкента. Проведено изучение паров ртути на ртутных месторождениях Киргизии, Тувы, Чукотки и Якутии.

Анализ данных, полученных на ртутных месторождениях, показывает, что между механическими ореолами рассеяния киновари и газовыми ореолами ртути существует четкая пространственная корреляция. Концентрация паров ртути в почве сложным образом зависит от содержания киновари и температуры почвы. При температуре почвы $2-10^{\circ}$ и концентрации ртути в твердой фазе $8-20 \cdot 10^{-3}\%$ возникают пары ртути с концентрацией $1-10 \cdot 10^{-7}$ мг/л, при температуре почвы 20° и концентрацией ртути в твердой фазе $0,8-5 \cdot 10^{-3}\%$ газовая

фаза содержит элемент в концентрации $1-8 \cdot 10^{-7}$ мг/л. Газовые ореолы ртути возникают за счет сублимации и окисления киновари, которые происходят при любых температурах в условиях земной поверхности. Разрушение рудных залежей и образование механических ореолов рассеяния интенсифицирует процессы окисления и сублимации. Большая часть паров ртути концентрируется в почве в форме газа или сорбирована, эти формы находятся в определяемом термодинамическими условиями равновесия друг с другом и сульфидом ртути. Величина отношения массы свободных паров ртути в почве к массе ртути в твердой фазе названа нами коэффициентом ртутотодачи, который изменяется от $11 \cdot 10^{-8}$ до $700 \cdot 10^{-8}$. Причины, обуславливающие такие широкие пределы изменения этого коэффициента, не выяснены. Концентрация ртути в атмосфере на высоте один метр от поверхности земли над открытыми механическими ореолами рассеяния на всех исследованных месторождениях имеет величину менее $1 \cdot 10^{-7}$ мг/л. Только в трех точках наблюдения из двухсот на месторождении Пламенном (Чукотка) концентрация элемента в атмосфере составила $3-5 \cdot 10^{-7}$ мг/л. Содержания паров ртути в почвенном воздухе для соответствующих точек были равны $1000-5000 \cdot 10^{-7}$ мг/л.

Исследование зависимости концентрации насыщенных паров ртути над киноварью* от температуры на специальном моделирующем устройстве показало, что эта зависимость может быть выражена формулой

$$C_t = C_0 \cdot t^{\alpha \cdot t}$$

где C_t - концентрация насыщенных паров ртути при температуре t , C_0 - концентрация насыщенных паров ртути при 0°C , α - параметр, изменяющийся в пределах $0,052 - 0,055$ ($\frac{1}{\text{градус}}$).

Изучение ореолов рассеяния ртути на полиметаллических и медно-колчеданных месторождениях позволило выявить ряд закономерностей. В процессе формирования рудных залежей и зон вокруг них наряду с ореолами рудообразующих элементов возникают ореолы ртути. Линейная продуктивность первичных ореолов ртути в верхних частях месторождений, как правило, в 3-10 раз больше, чем в нижних частях. При гипергенных процессах большая часть ртути рудных тел и первичных ореолов переходит во вторичные ореолы рассеяния, формирующиеся в элювио-делювии и глинисто-щебенистой коре выветривания. Небольшая часть массы элемента испаряется, при этом в элювио-де-

* Диаметр частиц 0,07 мм.

ловии, коре выветривания и аллохтонных отложениях формируются газовые ореолы ртути в сорбированной и свободной формах.

Над залежами полиметаллических руд месторождения Шубинского концентрация ртути газовых ореолов в элювио-делювиальных отложениях составляет $6-20 \cdot 10^{-9}$ при фоне $1-3 \cdot 10^{-9}$ мг/л. Наличие первичных, вторичных литохимических и газовых ореолов ртути вокруг рудных тел и зон полиметаллических и медноколчеданных месторождений позволяет надеяться на эффективное использование ртути при поисках глубокозалегающего оруденения.

Распределение паров ртути в сейсмоактивных зонах Алма-Аты изучалось по методике, примененной ранее в Ташкенте (В.З. Фурсов, Н.Б. Вольфсон, А.Г. Хваловский, 1968), лишь с некоторыми изменениями. В районе Алма-Аты было пройдено три профиля общей протяженностью около 200 км, с шагом наблюдения 500 метров.

В южной части Каскеленского профиля (рис. I) по скважинам I23-9I выявлена область повышенных концентраций сорбированных паров ртути шириной 16 км и интенсивностью от 3 до $18 \cdot 10^{-7}$ при фоне $0,33 \cdot 10^{-7}$ мг/кг породы. Она разделяется на три разобщенных аномалии. Аномалия, расположенная в интервале скважин I23-I08, имеет протяженность 7,5 км и пространственно совпадает с Заилийской зоной глубинных разломов. Наиболее высокие концентрации сорбированных паров ртути отмечаются в ее северной части (скв. I12-I08). По вертикали аномалия развивается на всю глубину скважин. Вторая аномалия (скв. I05-I00), протяженностью 2,5 км, совпадает с разломом, выделенным по данным геологических наблюдений, сейсморазведки и магниторазведки. По вертикали она прослеживается на всю глубину скважин при концентрациях $3-10 \cdot 10^{-7}$, максимально до $18,2 \cdot 10^{-7}$ мг/кг породы. Третья аномалия (скв. 97-9I), протяженностью 3 км, совпадает с разломом, выделенным по сейсмическим данным (скв. 95-94), и южной ветвью Каскеленской зоны глубинных разломов. По валовой концентрации ртути в твердой фазе в пределах описанной аномальной области обнаруживаются лишь единичные мелкие аномалии, слабо превышающие уровень фона.

С Каскеленской зоной глубинных разломов пространственно совпадает аномалия паров ртути интенсивностью $2-4 \cdot 10^{-7}$ при фоне $0,3 \cdot 10^{-7}$ мг/кг породы, протяженностью 3 км (скв. I37-I3I). По вертикали она представлена серией разобщенных аномальных точек интенсивностью от $3 \cdot 10^{-7}$ до $17,3 \cdot 10^{-7}$ мг/кг породы.

Аномалия интенсивностью $3-5 \cdot 10^{-7}$ при фоне $0,27 \cdot 10^{-7}$ мг/кг

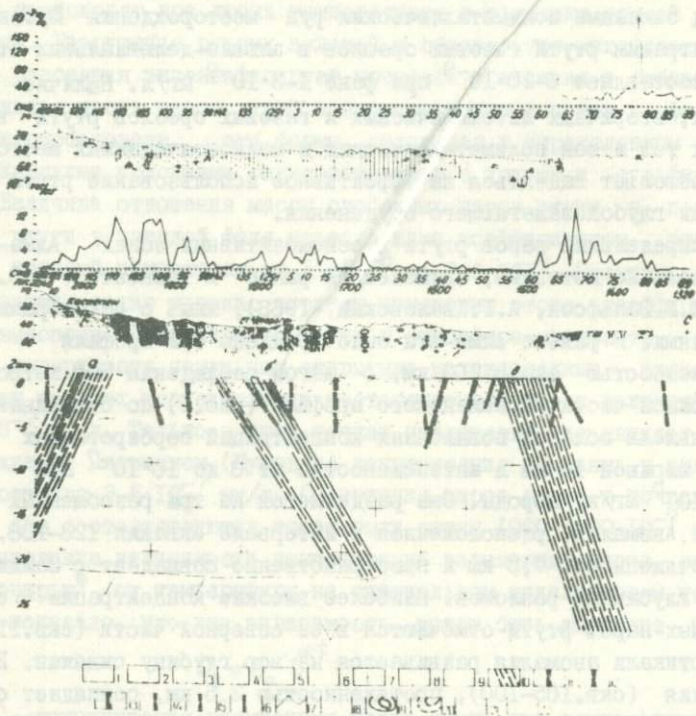


Рис. I. Результаты изучения сорбированных паров ртути по скважинам шнекового бурения. Профиль Каскеленский, район г. Алма-Ата.

I - лёссовидные суглинки; 2 - глины; 3 - галечно-щебенистые отложения; 4 - золотые пески; 5 - нерасчлененные осадочные отложения мезо-кайнозоя; 6 - нерасчлененные образования палеозоя; 7 - "гранитный слой"; 8 - "базальтовый слой"; 9 - граница Конрада; 10 - зоны глубинных разломов, установленные по геофизическим данным (сейсморазведки, магниторазведки, электроразведки) и подтвержденные геологическими наблюдениями (а - Зайлийская, б - Каскеленская, в - Алтын-Эмельская); II - разломы, выделенные по данным геологических наблюдений, сейсморазведки и магниторазведки;

I2 - разломы, выделенные по данным геологических наблюдений и сейсморазведки; I3 - разломы, выделенные по данным геологических наблюдений, сейсморазведки и электроразведки; разломы, выделенные по геофизическим данным; I4 - сейсморазведки и магниторазведки; I5 - магниторазведки; I6 - сейсморазведки;

I7 - графики средних концентраций сорбированных паров ртути по скважинам; I8 - графики средних валовых концентраций ртути в твердой фазе по скважинам; I9 - изоконцентрации сорбированных паров ртути, первая изолиния - 3, вторая $10 \cdot 10^{-7}$ мг/кг породы; 20 - валовые изоконцентрации ртути в твердой фазе, первая изолиния - 30, вторая - $100 \cdot 10^{-7}\%$; 2I - скважины шнекового бурения; 22 - пикеты сейсмического профиля ИГЭ.

породы, протяженностью 5,5 км (скв.3-14), совпадает с двумя разломами, установленными по геолого-геофизическим данным и расположенными висячем блоке Каскеленской зоны глубинных разломов (скв.4-5, 13-14). Возможно, указанные разломы имеют связь с Каскеленской зоной глубинных разломов и фильтрация паров ртути происходила от нее. В вертикальном сечении по изоконцентратам $3 \cdot 10 \cdot 10^{-7}$ мг/кг породы аномалия характеризуется прерывистым строением. Валовые содержания ртути в твердой фазе здесь не превышают фоновых.

Сложная аномалия интенсивностью $3-14 \cdot 10^{-7}$ при фоне $1,8 \cdot 10^{-7}$ мг/кг породы, протяженностью 20 км (скв.59-80), пространственно увязывается с северной частью Алтын-Эмельской зоны глубинных разломов и ее висячим блоком. Приуроченность аномалии к висячему блоку зоны, возможно, обусловлена наличием оперяющих разломов, по которым фильтруются пары ртути к поверхности из глубинного источника. Следует отметить, что южная часть зоны перекрыта мощным чехлом золотых песков, которые являются крайне неблагоприятной средой для сорбции паров ртути. По валовому содержанию ртути в твердой фазе в интервале скважин 59-80 обнаруживаются лишь единичные, незначительные по размерам аномалии интенсивностью $30-100 \cdot 10^{-7}\%$ при фоне $21 \cdot 10^{-7}\%$, наиболее интенсивная из них с содержанием ртути $210 \cdot 10^{-7}\%$ фиксируется в скважине 78. Эти аномалии обусловлены механическим рассеянием в песчано-галечниковых отложениях дальнепринесенных обломков пород с высоким содержанием ртути.

Распределение паров ртути в геоструктурных зонах Казахстана и Средней Азии было изучено по четырем профилям, общая протяженность которых составляет 6500 км. Прибором КазРАФ-6 измерялись свободные пары ртути в почвенном воздухе с шагом 15-50 км.

На рис.2 показаны результаты по профилю, проходящему через Мугоджарский антиклинорий, Тургайский прогиб, Сыр-Дарьинскую депрессию, Каратаусский антиклинорий, Чуйскую депрессию, Кендыктасский антиклинорий и Илийскую впадину. Концентрация паров ртути увеличивается с северо-запада на юго-восток от $2 \cdot 10^{-9}$ до $104 \cdot 10^{-9}$ мг/л. В области Сыр-Дарьинской депрессии при фоне $3-5 \cdot 10^{-9}$ мг/л зафиксированы аномалии интенсивностью $13-17 \cdot 10^{-9}$ мг/л и $12-16 \cdot 10^{-9}$ мг/л (точки 89-91), тяготеющие к зонам глубинных разломов, установленных по данным гравиразведки. Южная часть Каратаусского антиклинория и его участки, пограничные с

Абайско-Джебаглинской антиклиналью и северо-западными отрогами Макбальского антиклинория, характеризуются интенсивными аномалиями паров ртути, от $15-35$ до $104 \cdot 10^{-9}$ при фоне $5-7 \cdot 10^{-9}$ мг/л (пикеты 96-99, I01-I03). Аномальная зона совпадает с серией глубинных разломов. Аномальные концентрации ртути в Чуйской депрессии (пикеты I06-I09), возможно, обусловлены зонами глубинных разломов, перекрытых озерно-континентальными отложениями кайнозоя, имеющими здесь мощность до 2-3 км. Кендыктасский антиклинорий и пограничные зоны его с Чуйской и Илийской впадинами фиксируются повышенными концентрациями паров ртути, от 15 до $32 \cdot 10^{-9}$ при фоне $5-7 \cdot 10^{-9}$ мг/л (точки III-II4). Здесь проходит ряд зон глубинных разломов.

Пространственная связь большей части аномальных концентраций ртути с зонами глубинных разломов и границами структурно-тектонических областей при отсутствии корреляции между аномальными содержаниями, давлением и температурой позволяет утверждать, что в нашем случае источники аномалий находятся на глубине и ртуть, диффундируя и фильтруясь по зонам глубинных разломов, поступает к поверхности земли. В сейсмоактивных областях и районах зоны глубинных разломов более приоткрыты, что увеличивает концентрацию паров ртути в почвенном воздухе над зонами разломов.

В районе Алма-Аты более высокие концентрации паров ртути наблюдаются над глубинными разломами, характеризующимися большей сейсмической активностью. Полученные данные указывают на возможность существования причинной связи между изменениями во времени аномальных концентраций ртути и сейсмической активностью.

Результаты по изучению ореолов рассеяния ртути, полученные с помощью атомно-абсорбционных фотометров, со всей остротой ставят задачу разработки методики и аппаратуры атомно-абсорбционного анализа фтора, иода и брома.

Методика изучения паров легколетучих элементов может быть применена для решения теоретических и практических задач поисковой геохимии, а также для картирования и классификации зон глубинных разломов, выделения перспективных металлогенических зон и районирования сейсмоактивных областей. Эта методика может иметь особое значение при изучении закрытых и полузакрытых площадей.

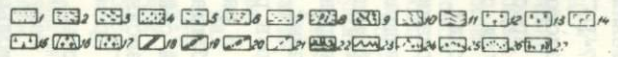
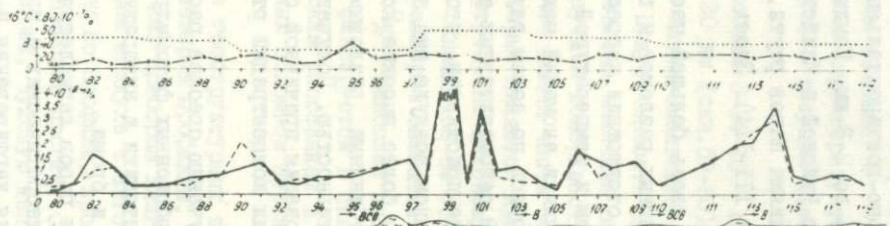
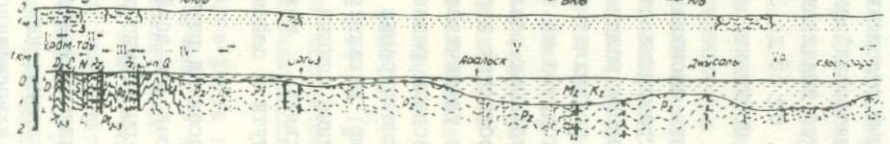
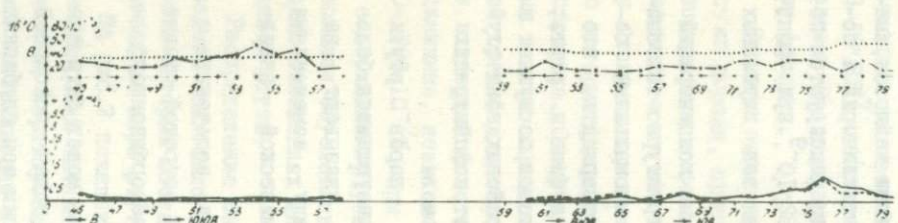


Рис. 2. Результаты изучения свободных паров ртути по автотрассе Хром-Тау - Кызыл-Орда - Алма-Ата.

I - песок; 2 - суглинки; 3 - глины; 4 - песчано-гравийные отложения; 5 - солончаковые суглинки; 6 - суглинки ожелезненные; 7 - нерасчлененные образования мезо-кайнозоя; 8 - нерасчлененные образования палеозоя; 9 - интенсивно дислоцированные образования допалеозоя и палеозоя; 10 - умеренно дислоцированные образования палеозоя; 11 - слабо дислоцированные образования палеозоя; 12 - граниты; 13 - диориты; 14 - габбро; 15 - ультрабазиты; 16 - интрузии картируемые с поверхности; 17 - погребенные интрузии, картируемые по геофизическим данным; 18 - глубинные разломы, фиксируемые одновременно геологическими и геофизическими методами; 19 - глубинные разломы по данным гравиразведки; 20 - глубинные разломы по данным гравиразведки и магниторазведки; 21 - тектонические нарушения;

22 - границы геологических структур: I - Антиклинорий Урал-Тау, кристаллические сланцы, кварциты Pt₂₋₃ и осадочные образования П₃ - С₁; II - зеленокаменная полоса, преимущественно вулканогенные фации S; III - Мугоджарский антиклинорий, гнейсы, кристаллические сланцы и кварциты Pt₂₋₃, вулканогенно-осадочные образования Pz; IV - Иргизский антиклинорий, вулканогенно-осадочные породы С₁ и терригенные образования С₂; V - Тургайский прогиб, рыхлые образования Mz - Kz; VI - Сыр-Дарьинская депрессия, рыхлые образования Mz - Kz; VII - Абайско-Джебаглинская антиклиналь, карбонатные отложения С₁; VIII - Каратауский антиклинорий, сланцы, известняки, эффузивы Pt₂₋₃, морские фации

St₂₋₃, эффузивно-осадочные образования D₂₋₃ и осадочные образования С₁⁺; IX - Северо-западные отроги Макбальского антиклинория, морские фации O₂₋₃, карбонатные породы С₁ и терригенные отложения С₂; X - Чуйская депрессия, озерно-речные и континентальные отложения Kz; XI - Кендыктасский антиклинорий, сланцы и морские фации O; XII - Илийская впадина, озерно-речные отложения Mz - Kz.

23 - график концентраций свободных паров ртути в $n \cdot 10^{-8}$ мг/л - первичное измерение; 24 - график концентраций свободных паров ртути в $n \cdot 10^{-8}$ мг/л - вторичное измерение; 25 - график концентраций ртути в твердой фазе в $n \cdot 10^{-7}\%$; 26 - график температуры почвы в С⁰; 27 - точки наблюдений.

1. Сафронов Н.И., Лапш М.А., Мещеряков С.С. Научные основы поисков глубокозалегающих месторождений. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
2. Барсуков В.Л., Волосов А.Г., Козеренко С.В., Сушевская Г.М., Баранова Н.Н. Научные основы геохимических методов поисков. Там же.
3. Шипулин Ф.К., Генкин А.Д., Дистлер В.В., Комаров П.В., Малиновский Е.П., Озерова Н.А., Перельман А.И. и др. Там же.
4. Калверт Дж., Питс Дж. фотохимия, М., "Мир", 1968.
5. Степанов И.И., Кузнецов Ю.Н., Фурсов В.З. Газоанализатор для измерения микроконцентраций ртути при геохимических поисках. Разведка и охрана недр, 1965, № 12.
6. Степанов И.И., Рудковский А.А., Фурсов В.З. Сорбент из металлического золота для анализа ртути в геохимических пробах атомно-абсорбционным методом. Изв.АН КазССР, сер. геол., 1969, № 3.
7. Фурсов В.З., Степанов И.И. О возможности определения формы нахождения ртути в горных породах и рудах путем возгонки при разных температурах. Изв.АН КазССР, сер.геол., 1967, № 2.
8. Фурсов В.З., Вольфсон Н.Б., Хваловский А.Г. Результаты изучения паров ртути в зоне Ташкентского землетрясения. ДАН СССР, 1968, т.179, № 5.

Июль-август 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РТУТОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.Н.Знамировский

Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии,
геофизики и минерального сырья

Ртуть является таким элементом, минерализация которого в обычных условиях реализуется в твердой, жидкой и газообразной фазах вещества. Тем самым она приобретает особое положение среди как халькофильных, так и других элементов. Кроме того мы полагаем, что возможно существование особого состояния ртути, не укладывающееся в указанные три фазы, аналогичное предполагаемому Ф.Коттоном и Дж.Уилкинсоном /10/ четвертому состоянию для гелия.

Из сказанного следует, что для ртути должен быть характерен интенсивный круговорот на нашей планете и, по-видимому, в космосе. Следовательно, изучение особенностей распределения данного элемента может позволить использовать его для распознавания некоторых природных явлений. Поэтому автор не только присоединяется к мнению тех, кто считает целесообразными ртутьметрические исследования для поисков руд халькофильных элементов /16,18 и др./, но предлагает проведение ртутьметрии по более широкой программе /4,5 и др./. Ниже мы коснемся трех аспектов ртутьметрических исследований, проводимых в ряде районов юга Восточной Сибири.

1. Биогеохимические исследования на ртуть. До конца 50-х годов биогеохимия ртути не вызвала к себе интереса, поскольку проведенные в этом направлении эксперименты были безуспешны. А.А. Сауков /12/ считал, что биогенный способ концентрации ртути не доказан и, возможно, вообще исключен. Наоборот, Ранкама и Сахама

/20/ не отрицают биогенного способа концентрации этого элемента, хотя отмечают, что физиологическая роль ртути неясна, так как она обладает высокой токсичностью. Данные медицины о физиологическом действии ртути, которые могли бы сделать возможными достоверные биогеохимические построения, также оказались противоречивыми.

Тем примечательней работы, на основе которых было установлено наличие высоких содержаний ртути в растениях. Одной из первых работ такого рода являются исследования группы Уоррена в Канаде, приведшие к выявлению биогеохимических аномалий данного элемента /21/. Названными исследователями был сделан вывод о том, что наличие биогеохимических ореолов ртути может способствовать обнаружению руд золота и молибдена на тех участках, где общепринятые методы опробования и анализов оказываются неэффективными.

К подобному же выводу, но в более широком плане, пришел и автор еще в 1961-1964 г.г. на основе изучения ртутоносности юга Сибирской платформы. В частности, мы фиксировали по ртути тела с прозрачным флюоритом, горизонты битуминизированных пород; было выявлено несколько проявлений ртути в коренных породах. На одном из участков киноварь в коренных породах была установлена по наличию металлической ртути в сосне и почве /4,5/. В последующем автор и другие исследователи конкретизируют работы в направлении поисков слепых рудных тел и погребенных участков месторождений по наличию повышенных содержаний ртути в растениях и почвах /6, 9 и др./.

Важным моментом в разработке методических приемов биогеохимических поисков ртути явились экспериментальные и теоретические изыскания. Они заключались в сборе и осмысливании фактического материала о физиологической роли ртути и ее соединений, а также данных, свидетельствующих о реальности существования природных ртутьорганических соединений. Пришлось знакомиться с некоторыми первоисточниками в медицинской, химической и биологической литературе. Полученные сведения позволили сделать два важных вывода: 1) ртуть и ее соединения, кроме образования ореола с токсическим действием, в определенных случаях бывает "инертна" и иногда дают тонизирующий эффект; 2) в таких организмах, как вирусы, наибольшая аккумуляция ртути происходит при их размножении, что однозначно подтверждает мнение о реальности образования природных ртутьорганических соединений также и в геологических объектах /2,

4,5 и др./.

Немалый интерес для теоретических изысканий представляют случаи образования скоплений металлической ртути в живых организмах и продуктах их разрушения. Эти факты установлены В.П.Федорчуком, автором и другими исследователями. Как показали наши наблюдения, переходу твердого вещества в жидкое предшествует газообразное, а последнему, возможно, указанное выше четвертое состояние /5,9 и др./.

Из изложенного ясно, что проблема биогеохимических исследований на ртуть, отдельные вопросы которой вызывают пристальное внимание со стороны медицины, требует для своего успешного решения усилий специалистов многих отраслей знания. Такие исследования нам представляются очень важными и в практических целях, поскольку названная проблема находится на стыке нескольких наук. Об этом свидетельствует то внимание, которое было уделено вопросу биогеохимии ртути на III Международном симпозиуме по геохимическим поискам в 1970 г.

2. Проблема платформенной ртути. До конца 50-х годов проблема платформенной ртути не привлекала к себе внимания. С одной стороны, это определялось недостаточным количеством фактического материала, с другой - образование ртутного оруденения удовлетворительно объяснялось с позиций металлогении геосинклинального этапа развития /14 и др./.. Поэтому отрицательная оценка ртутоносности платформы представлялась убедительной для большинства исследователей.

Между тем, ранее известные и новые факты о ртутоносности, а также анализ металлогенических обобщений с учетом эндогенных и экзогенных образований позволили представить ртутоносность платформ в ином свете. В частности, в 1958-1959 г.г. начались попытки научного обоснования перспективности поисков ртути на Сибирской платформе /3 и др./.. Целесообразность исследований в этом направлении была подтверждена сведениями о Ваньшаньском типе ртутного оруденения на юге Китайской платформы /15 и др./.. К тому же формационный анализ, проводимый на основе учета геотектонических этапов развития, привел к возможности выделения как геосинклинального, так и платформенного, а также переходного типов ртутной рудоносности /11/.

К настоящему времени ртутная минерализация выявлена во многих районах платформенного развития /12,16,17 и др./.. Но в целом изученность платформенной ртутоносности остается еще низкой. Бо-

лее обобщенный материал по отдельным вопросам этой проблемы имеется для юга Сибирской платформы /1,12 и др./. Кроме того, в данном регионе производилось сравнение потенциальной ртутоносности всех трех формационных типов /4 и др./.

Подобные изыскания, сопровождаемые изучением закономерностей биогенного накопления ртути, привели к вопросу о широкой миграции ртути в природных условиях (см. выше). Это позволило развить существовавшие представления о круговороте ртути в природе /20/, что явилось основанием для: 1) выделения генетических типов ртутной минерализации на основе их сингенетичности (синхронности) о вмещающими образованиями, 2) установления геолого-геохимических предпосылок к поискам ртутного оруденения платформенной формации.

В настоящее время представляется возможным выделить следующие генетические типы ртутной и сопровождающей ее минерализации: магматического, газово-эманационного, гидротермального, переотложенного, остаточного, россыпного и биогенного. Большинство из них было известно ранее /16 и др./. Что касается биогенного типа, то его реальность подтверждается уже многими исследователями (см. выше). Переотложенный тип, занимающий положение метаморфогенной группы /16 и др./, имеет признаки осадочного, регенерированного и постмагматического образования /4 и др./. Магматический тип ртутной и сопровождающей ее минерализации, имеющий в условиях платформы своим первоисточником мантию и базальтовый слой /1, 4 и др./, может быть сопоставлен с вулканогенным и плутогенным типами /17 и др./. Из названных типов промышленно-ценными являются гидротермальный и, возможно, переотложенный типы, поскольку в образованиях такого рода на юге Сибирской платформы отмечено до 0, n % ртути.

Генетические типы ртутной минерализации могут служить индикаторами ряда эндогенных и экзогенных явлений, так как наложение различных процессов сопровождается изменением термодинамических и физико-химических условий и соответствующим перераспределением ртути и иных компонентов /4,16 и др./. И наоборот, поскольку такой способ геологического анализа и синтеза при выявлении ртутной и ассоциирующей с ней минерализации позволяет производить реконструкции геологических явлений, это определяет также и геолого-геохимические предпосылки (группы критериев) ртутного оруденения.

В общем виде такие предпосылки приведены в работах В.П. Федор-

чука /16/ и В.Э.Пояркова /1,12/. Автор полагает, что в конкретной обстановке юга Сибирской платформы группы критериев должны выражать: 1) геотектоническое положение, 2) пути миграции рудных компонентов, 3) интенсивность рудогенеза, 4) зональность оруденения и глубину эрозионного среза, 5) основные факторы локализации ртутного оруденения /7 и др./.

Применение указанных предпосылок, в совокупности с индицирующим природные явления положением ртути в геологических образованиях позволили автору сделать несколько практических выводов. Например, был переоценен ранее считавшийся бесперспективным Нерчинский тип ртутного оруденения и в целом весьма высоко оценены перспективы поисков ртути в Забайкалье. Не менее интересными оказались уточнение перспективности послегеосинклиналиной позиции Келянского месторождения ртути в Бурятии и определение возраста мезокайнозойской активизации Серебристой зоны разлома Битамо-Патомского нагорья среди древних пород этого региона и пр. /7,8 и др./

3. Использование ртути как индикатора некоторых геологических явлений. На использование ртутиметрических исследований в указанных целях, например для трассирования зон глубинных разломов, обращали внимание многие исследователи /4,16,18 и др./ . Но все приводимые примеры, в том числе упоминаемые автором случаи комплексного определения активизации эндогенной деятельности и пр., характеризуются лишь в самом общем виде. Поэтому в качестве основы для подобных исследований необходимо привести некоторые результаты экспериментальных изысканий.

С этой целью автор проверил прежде всего представление о зональном распределении ртути в образованиях с локально выраженными изменениями различного происхождения. Было найдено, что контактовые зоны траппов и осадочных пород, киновареносных жил и вмещающих их образований, а также биогенные объекты на границе их с газообразной, жидкой и твердой средой имеют положительные и отрицательные аномалии ртути. Так, в период одноактного (единовременного) привноса ртути наибольшая ее аккумуляция происходит на контакте различных сред. Этот максимум резко сменяется зоной отрицательной аномалии, которая по периферии переходит в зону несколько повышенных содержаний ртути.

Подобная зональность распределения вещества (например, бериллия в гидротермальных жилах и их вмещающих породах) в свое время была подмечена А.А.Беусом. Установлена она также при изучении

миграции аргона и гелия в зонах контактов - "гелиевый ветер" в структурно-ослабленных зонах, по С.Б.Брандту. Так как имеются и другие примеры зональности в аналогичных условиях, то выявленное распределение ртути, очевидно, выражает определенную закономерность ее миграции в период одноактного привноса.

Логично предполагать закономерное распределение ртути также при ее одноактном выносе. Действительно, при изучении такого процесса, если он происходит в условиях открытой системы, в ранее указанных геологических и биологических объектах на границе соприкосновения различных сред выявляется зона резко выраженного минимума ртути. По периферии каждая такая зона сопровождается повышенными содержаниями элемента, обязанными его предшествующему привносу (см. выше). Подобная картина наблюдается при изучении различных компонентов, что используется для установления перерывов в минералообразовании и обнаружения различий между моноасцендентной и полиасцендентной зональностями /18 и др./.

Но в условиях закрытой системы распределение ртути, возникшее в результате одноактного процесса выноса, аналогично случаю одноактного привноса элемента. Это бывает характерно для минералообразования переотложенного типа, для которого по указанной причине создается видимость рудоотложения осадочного генезиса. Поэтому при изучении направленности процесса (привнос-вынос) необходимо учитывать распределение как ртути, так и сопровождающих ее элементов. Таким образом, в совокупности с наблюдением иных минеральных ассоциаций, по нашему мнению, может быть найден ключ для решения дискуссионной проблемы образования телетермальных месторождений не только ртути, но и других халькофильных элементов.

В целом многократная циркуляция рудоносных растворов и метеорных вод ведет к образованию большого количества сопряженных аномалий ртути. При этом, как показали наши наблюдения на Горхонском и других рудопроявлениях, каждая пара сопряженных минимумов и максимумов ртути соответствует определенной последовательности вторичных изменений, их стадийности. Поэтому изучение аномалий ртути и ассоциирующих с ней компонентов даже в случаях, когда исследуются рыхлые отложения и почвы, дает определенные основания для выяснения последовательности минерализации, возраста рудоносных тел и глубины их эрозионного среза, как это было показано автором и другими исследователями, например на Келянском место-

рождения /9/. Указанные выводы становятся более общими, если для целей ртутиметрических исследований дополнительно привлекается фактический материал регионального характера. Все сказанное свидетельствует о возможности и целесообразности использования ртутиметрии для индикации зон глубинных разломов, активизированной эндогенной деятельности и, очевидно, иных геологических явлений.

Автор выражает глубокую признательность С.А.Вахромееву, В.В.Поликарпочкину, В.Э.Пояркову, Л.В.Таусону, В.П.Федорчуку и другим исследователям за оказанную ими помощь при решении ряда вопросов, рассматриваемых в настоящей статье.

Л и т е р а т у р а

1. Вахромеев С.А., Знамировский В.Н., Малых В.С., Поярков В.Э. Перспективы Сибирской платформы на ртуть. - В кн.: Минерально-сырьевые ресурсы Иркутской области. Иркутск, 1969.
2. Жданов В.М., Азадова Н.В. и Кульберг А.Н. Синтез и транспорт белковых компонентов вируса Сендай. - Цитология, 1965, т.2,з.
3. Знамировский В.Н. О проявлениях киновари на юге Сибирской платформы. - В кн.: Материалы по геол.и полезн.ископаемым Иркутской области, вып.1(XXVIII). Иркутск, 1961.
4. Знамировский В.Н. Ртутная и ассоциирующая с ней минерализация на юге Сибирской платформы. - Сов.геология, 1966, № 12.
5. Знамировский В.Н. Находка металлической ртути в сосне. - Тр. Иркутского политех.ин-та, вып.30, сер.геол., Иркутск, 1966.
6. Знамировский В.Н. К вопросу о биогеохимических поисках ртути. - В кн.: Материалы конф.молодых научн.сотрудников ВостСибНИИ-ГГИМСа. Иркутск, 1967.
7. Знамировский В.Н. Перспективы южных районов Восточной Сибири на выявление промышленных месторождений ртути. (В печати).
8. Знамировский В.Н. Ртутоносность юга Восточной Сибири и возможные пути ее изучения. (В печати).
9. Знамировский В.Н., Гормашева Г.С., Труфанова В.Н. О целесообразности биогеохимических поисков ртути. (В печати).
10. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия. Ч.2. М., "Мир", 1969.
11. Поярков В.Э. Классификация геологических типов ртутных и сурьмяных месторождений. - Разведка и охрана недр, 1962, № 11.

12. Поярков В.Э. О поисках и разведке ртутных месторождений. - Алма-Ата, 1967.
13. Сауков А.А. Геохимия. М., "Наука", 1950.
14. Смирнов В.И., Рыженко Л.М. Некоторые особенности образования и размещения ртутных месторождений. - В кн.: Закономерности размещения полезн. ископ. Т. I. М., 1958.
15. Федорчук В.П. Типы ртутно-сурьмяных месторождений и некоторые вопросы их классификации. - Учен. зап., вып. 6, Ташкент, 1961.
16. Федорчук В.П. Методика поисков и разведки скрытого ртутно-сурьмяного оруденения. М., 1964.
17. Федорчук В.П. Телетермальные месторождения. - В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М., 1968.
18. Шипулин Ф.К. и др. Некоторые аспекты проблемы геохимических методов поисков скрытого оруденения. - В кн.: Научн. основы геохим. методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
19. Kutina J. The distinguishing of the monoascendent and polyascendent origin of associated minerals in the study of the zoning of the Pribram ore veins.-In: Problems of Postmagmatic Ore Deposition. V.1. Prague, 1963.
20. Rankama K. and Sahama Th. Geochemistry. The University of Chicago Press, third impress. 1955.
21. Warren H.V., Delavault R.E. and Barakso J. Some observation on the geochemistry of mercury as applied to prospecting.- Economic Geology, 1966, v.61, 6.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

Июния 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

О ПЕРСПЕКТИВАХ РУДОНОСНОСТИ И РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНАХ
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

А.Ю.Тутевич

Средне-Волжское геологическое управление

Среднее Поволжье входит в состав восточных районов Русской платформы и характеризуется широким развитием осадочных пород при значительных (обычно 1-3 км) глубинах залегания кристаллического фундамента. Систематические геохимические исследования в рассматриваемом регионе начаты с 1962 года. До этого времени степень геохимической изученности Среднего Поволжья была весьма низкой, и большая часть территории его, за исключением районов, в которых ранее проводились поисковые работы на медь, сидериты и алуниты, практически представляла в этом отношении "белое пятно".

Геохимическими исследованиями последнего десятилетия, проведенными в пределах всего региона Средне-Волжским геологическим управлением, а в некоторых пунктах организациями Казани, Свердловска, Москвы и Ленинграда, установлены повышенные концентрации 38 элементов и определена металлогеническая специализация ряда комплексов пород и районов. Известны следующие ассоциации элементов: 1) Cu, Ag, Pb, Se, Hg, Ge, Re; 2) P, F, Ge, Hg?; 3) Mo, Co, Ni, As, Sb, Tl, Hg?; 4) Cu, Pb, V, Mo, P, As, Cd, Sb, Hg, Ag, W, Nb, Hf; 5) V, Mo, Ge; 6) Sc, P, As, Cd, Tl, Hg?, Pb, Zn, Ni, Co, Ge, Ag и др. При этом содержания указанных элементов превышают кларки в

Наибольший интерес представляют рудные концентрации формации пестроцветных пород верхней перми, а также проявления так называемых полиэлементных руд. Поисквое значение, по-видимому, имеет и большинство "загадочных" проявлений самородной ртути, установленных в мезо-кайнозойских обводненных отложениях и изучавшихся Ф.А.Алелековым, А.П.Капустиним, М.Г.Казанским, А.Ю.Тутевичем и др., а также повышенные (до 10^{-4}) содержания ртути в медных рудах пестроцветной формации, установленные Н.А.Озеровой, С.П.Щербаком и К.А.Давлетшиным.

Широкое комплексное изучение рудоносной формации пестроцветных пород верхней перми начато с 1962 г. главным образом в связи с возобновлением поисковых работ на медь, которые проводятся на основе литолог-фашиальных критериев и представления, что металлы приносился с Урала. Обобщение геолого-геохимических материалов, проведенное автором в 1965 году, позволило уточнить положение меденосной зоны в плоскости современного эрозийного среза, выделить сопряженные с ней хромоносную и молибден-ванадиеносную зоны и определить характерные для рудоносной формации ассоциации элементов. В 1967 году Е.С.Сталенков установил стронциеносную зону. Эти данные указали на сложность строения названной формации и на возможное многообразие металлогенических процессов.

Особое место занимает группа проявления полиэлементных руд, которые были выявлены в последнем десятилетии и изучались Е.В.Беляковым, И.С.Мартыгиным, С.С.Элерн, Ф.С.Мударисовым, П.И.Мешковым, О.Е.Чумаковым, А.Ю.Тутевичем и др. Эти руды размещаются как в пределах рудоносной формации пестроцветных пород, так и вне ее. Они характеризуются следующими пределами известных в настоящее время максимальных содержаний элементов:

1% и более - Cu, Pb, V, Mo;

от 0,1 до 1% - Sb, As, Cd, Tl, Zn, Sc, Ni, Co;

от 0,01 до 0,1 - Ag, W, Nb, Hf.

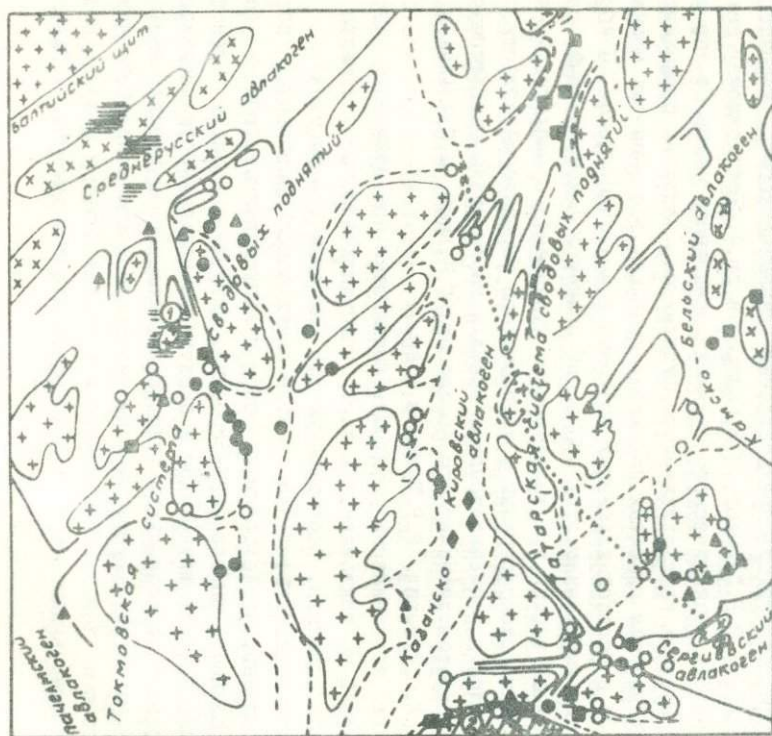
Для рудопоявлений этого типа примечательно присутствие многих типичных халькофильных, а также таких элементов, характерных для высокотемпературных процессов, как W, Nb и Hf. Следует указать, что последние установлены только в пределах тектонически напряженных зон. Такой же характер приуроченности констатируется для Sb, Cd и Tl.

Полиэлементные концентрации встречаются в жилах и прожилках

кальцита и доломита, секущих породы девона и карбона, в битумизированных известняках перми и карбона и пермских породах речных фаций. Они прослеживаются на глубинах от 1800 м до дневной поверхности. В ряде рудопроявлений установлены следующие минералы: халькопирит, галенит, сфалерит, патронит в ассоциации с сульфидами железа, флюоритом и др. Известно проявление ванадиевого минерала фольбортита. Минеральные формы других элементов пока не установлены.

Геолого-геохимические особенности полиэлементных руд невольно приводят к мысли об образовании их за счет привноса рудного вещества из разломов глубокого заложения. В этом случае должен иметь место тектонический контроль, который сравнительно недавно выявить было очень трудно вследствие "статического" представления о тектоническом строении рассматриваемого региона. Однако в последние годы на основе данных геолого-геофизических площадных исследований и разведочных работ на нефть появились тектонические карты, отражающие представления "динамического" характера (Р.Н.Валеев, Р.Б.Давыдов, С.В.Санаров и др.). Установлена преобладающая тектоническая роль осадочного чехла от характера тектоники кристаллического фундамента, доказана периодическая активизация глыбовых подпорок, выделены тектонически мобильные зоны и переход глубинных разломов в осадочный чехол. Наиболее ярким выражением этих процессов является феноменальный горстообразный выступ кристаллического фундамента с амплитудой не менее 2 км, расположенный у с.Воротилово Горьковской области. Он образовался в раннемезозойское время и носит следы гидротермального и скрытовулканического процессов (Г.И.Блом, И.С.Ильина, д.л. Фрухт, А.Ю.Тутевич, Р.Р.Туманов и др.).

Четкий тектонический контроль выявляется при нанесении рудопроявлений на тектоническую карту кристаллического фундамента Среднего Поволжья, составленную Р.Н.Валеевым (см. рисунок). На этой карте выделяются приподнятые олоки консолидированных пород и авлакогены, представляющие собой грабенообразные "рвы" и впадины сложного внутреннего строения, которые заполнены в основном кластическим материалом и продуктами деятельности верхнепротерозойского и девонского вулканизма. Авлакогены играли решающую роль в развитии структурно-тектонического плана осадочного чехла. Как раз с их дальнейшим развитием в палеозойское и мезо-кайнозойское время связано образование Воротиловского выступа, Жигулев-



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14

Схема расположения геохимических аномалий Среднего Поволжья (на тектонической основе Р.Н.Валева)

1) своды и выступы кристаллического фундамента; 2) срединные погребенные выступы аблокогенов; 3) границы рифейских грабенов; 4) границы девонских грабенов; 5) западная граница рудоносной формации пестроцветных пород P_2 ; 6) проявления полиэлементных руд; 7) проявления ртути; 8) проявления меди (вне рудоносной формации пестроцветных пород P_2); 9) воды с сурьмой или ртутью; 10) гидрохимически аномальные воды первого от поверхности горизонта (по Cl и SO_4^{--}); 11) площадная гидрохимическая аномалия по сурьме; 12) зона распространения алунитов; 13) Воротиловский выступ; 14) район Игулевских дислокаций.

ских, Вятских, Карлинско-Тетюшинских и других дислокаций, осложненных флексурами и дизъюнктивными нарушениями, рвущими осадочные породы.

Все проявления полиэлементных руд, а также "загадочные" проявления ртути приурочены к тектонически напряженным зонам авлакогенов или же к крайним частям консолидированных блоков. Весьма примечательно, что такую же приуроченность имеют источники гидрохимически аномальных вод. Воротиловский же выступ фиксируется обширной площадной гидрогеохимической аномалией по сурьме. Этот элемент зафиксирован в водах и других тектонически мобильных зонах. Следует указать, что в ряде таких зон выявлены воды с повышенной температурой: на глубинах 2000-1500 м - до 60° и более, а на глубинах порядка 500 м - до 20-30° (В.Ф.Ерофеев и др.). Примером может явиться известная Жигулевская термальная аномалия, генетически связанная с главным разломом Жигулевских дислокаций, который трассируется проявлениями полиэлементных руд, самородной ртути и гидрохимически аномальных вод. Необходимо подчеркнуть, что район Жигулей является единственным участком Среднего Поволжья, где выявлены элементы W, Nb, Hf и алуиты.

Анализ этих фактов приводит к представлению о гидротермальном механизме рудообразования. К нему, не располагая данными последних лет, уже обращались Л.М.Миропольский /5/ при объяснении генезиса сульфидной минерализации в девонских отложениях и Е.М.Люткевич /4/, изучавший происхождение медных руд и волконскоитов в верхнепермских отложениях.

В 1965 г. автором была установлена приуроченность известных в то время в пределах Среднего Поволжья проявлений ртути и полиэлементных руд к тектонически напряженным районам и начато изучение возможности рудообразования за счет привноса элементов из глубин. Механизм этого процесса в общих чертах можно представить следующим образом. В пределах рассматриваемого региона существуют три основные условия, эффективно способствующие приведению механизма рудообразования в действие: 1) тектонические, которые были охарактеризованы выше; 2) высоконапорный характер глубокозалегающих водоносных горизонтов; 3) состав этих водоносных горизонтов, представленных высокоминерализованными Са-На хлоридными водами и рассолами со значительными концентрациями таких компонентов, как Br, F, J, B, H₂S, Ba, Sr, Fe и др.

По химическому составу эти воды напоминают гидротермы, и можно полагать, что в определенных случаях они представляют собой металлонесные растворы, которые, устремляясь по ослабленным зонам вверх, доносят рудные элементы к верхним горизонтам осадочного чехла платформы. В качестве наиболее активного геохимического барьера выступают низкотемпературные сульфатные и особенно гидрокарбонатные воды, составляющие в совокупности верхнюю геохимическую зону мощностью около 300–400 м. Нижняя часть этого барьера представляет собой потенциальную зону наиболее интенсивного рудообразования, положение которой в настоящее геологическое время фиксируется горизонтами повышенных фоновых содержаний в породах некоторых химически подвижных элементов. Изучение таких горизонтов в пределах Татарской АССР показало, что им присущи различные фоновые содержания элементов. Участки максимальных значений этих содержания приурочены к крупным разломам глубокого заложения.

Самая верхняя подзона гидрокарбонатных вод мощностью 50–100 м характеризуется значительными концентрациями свободного кислорода, и в ее пределах преобладают процессы разрушения рудных компонентов и залежей нисходящими потоками агрессивных вод. Поэтому в Среднем Поволжье и аналогичных районах следует ожидать распространения в основном "слепых" рудных тел на глубинах от 50–100 до 300–400 м.

Не касаясь проблемы источника металлов и редких элементов в свете ювенильно-магматической или осадочно-метаморфической гипотез, можно высказать предположение, что вынос их из глубоких зон происходит в виде хлоридов, броматов, фторидов или комплексов с Na_2S . Не исключена возможность переноса и в форме сложных металлоорганических соединений, что должно играть исключительно важную роль в процессах рудообразования в относительно "холодных" условиях Среднего Поволжья и аналогичных нефтеносных районов с повышенными содержаниями органических веществ в водах.

Согласно имеющимся в настоящее время данным, рудные тела такого генезиса могут быть представлены как секущими низкотемпературными жилами со следами слабого метасоматоза, так и эпигенетическими образованиями различной формы и с различными взаимоотношениями с вмещающими породами. В случае особо сильных напоров и больших дебитов подземных вод металлонесные растворы, по-видимому, способны проникать по ослабленным зонам на дневную поверх-

ность, подавая дополнительные количества элементов в зону нормального осадкообразования, где возникают сингенетические рудные концентрации согласного залегания с вмещающими породами.

Таким образом, исходя из охарактеризованных выше фактических данных и теоретических предпосылок, основанных на новейшем материале, Среднее Поволжье и прилегающие районы платформы следует рассматривать как потенциально рудоносный регион. В его пределах необходимо развивать поисковые работы геохимического уклона с использованием тектонических, гидрогеохимических, литогеохимических и литолого-фациальных критериев рудоносности. Эти работы в первую очередь должны осуществляться в тектонически напряженных зонах и районах, в пределах которых установлены концентрации рудных элементов. К ним прежде всего относятся Жигулевский и Вятский валы, районы Бортиловского выступа, Сурско-мошкинских и Карлинско-Тетюшинских дислокаций, а также наиболее напряженные зоны сочленения блоковых структур Татарского свода с Сергиевским и Камско-Бельским авлакогенами и ответвляющимися от них грабенами.

При постановке поисковых работ необходимо учитывать, что геологически наиболее изучены самые верхние горизонты отложений рассматриваемого региона, представляющие собой в общем бесперспективную зону интенсивного развития гипергенных процессов. Изученность же перспективной зоны, определяемой интервалом глубин от 50-100 до 300-400 м, в связи с закрытостью и широким применением бескернового бурения сравнительно низка. Состояние геологической изученности и геолого-геохимические особенности региона обуславливают целесообразность применения следующих видов работ:

I этап

1). Гидрогеохимические исследования с определением аномальных зон по Cl и Br , а также по Sb , Hg , Ag , Cu , Ag , Zn . Попутно с этим видом исследований желательно проводить определение содержания в водах гелия по методике, разработанной уральскими геологами (Г.А.Башорин и др.), и углеводородов.

2). Детальное литогеохимическое и минералогическое изучение коренных пород по обнажениям и сохранившемуся керну скважин с целью выявления литогеохимических аномалий. При этом особое внимание должно уделяться минеральным налетам и прожилкам в породах и скоплениям органики как наиболее сильного концентратора элементов.

3). Шлиховое опробование в незакрытых районах с целью выявления в потоках рассеяния минералов халькофильных элементов.

II этап

Картировочное и поисковое бурение скважин глубиной до 300-400 м в зонах развития геохимических аномалий.

Работы должны соответствовать масштабам 1:200000-1:50000.

Развитие целенаправленных комплексных геохимических исследований, картировочного и поискового бурения в пределах тектонически напряженных районов и зон Среднего Поволжья и аналогичных областей Русской платформы позволит ей встать в ряд с другими платформами мира, несущими многочисленные месторождения полиметаллов, ртути и других дефицитных элементов.

Л и т е р а т у р а

1. Валеев Р.Н. Тектоника Еятско-Камского междуречья. - "Недра", 1968.
2. Ерофеев В.Ф. О природе тепловых аномалий Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна. - Сов.геология, 1969, № 5.
3. Игнатъев В.Н., Капустина А.П., Казанский М.Г., Тутевич А.Ю., Бобров С.П. Месторождения меди в казанских отложениях Еятско-Камской меденосной полосы и методика их поисков. - Разведка и охрана недр. 1969, № 3.
4. Люткевич В.М. Еще раз о генезисе медистых песчаников Приуралья - в кн.: Геология и геохимия. 1968.
5. Миропольский Л.М., Миропольская Г.Л. Новые данные о сфалерите в девонских отложениях на юго-востоке Татарии. ДАН СССР, 1951, т.30, № 3.
6. Тимергазин К.Р. О генезисе сульфидов в девонских и более древних породах на Востоке Русской платформы. - ДАН СССР, 1955, т.105, № 2.
7. Тутевич А.Ю., Крыштапова В.Н., Казанский М.Г. Малые элементы в торфяных месторождениях Среднего Поволжья и Мещерской низменности. - Бюлл.МОИП, 1966, № 6.
8. Флоровская В.Н., Зезин Р.Б., Овчинникова Л.И., Шиковский Ю.И., Теплицкая Т.А. Диагностика органических веществ в горных породах в минералах магматического и гидротермального происхождения. "Наука", 1968.

9. Щеглов А.Д. Металлогения областей автономной активизации. - "Недра", 1968.
10. Элерн С.С., Шеньков И.Н., Ситдииков Б.С., Валеев Р.Н., Матяева К.И. Ассоциации гидротермального карбона, битума и сульфидов в девонских отложениях северной части Казанско-Кировского прогиба. - ДАН СССР, 1962, т.145, № 5.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ · ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

II сессия, 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ЗНАЧЕНИЕ ОРЕОЛОВ ЛЕГКОПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОИСКОВ
ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

О.П.Побокова, Н.Н. Трофимов, А.И.Рычков

Университет дружбы народов им.Патриса Лумумбы

В настоящее время среди специалистов по прикладной геохимии идет дискуссия о значении ореолов легкоподвижных элементов для поисков глубокозалегающих рудных тел. Исследования, проведенные в этом направлении на свинцово-цинковых месторождениях Северной Осетии, подтверждают мнение о перспективности изучения ореолов элементов широкого рассеяния.

Наряду с обычно определяемыми элементами-индикаторами, на месторождениях Згидском, Садонском, Архонском, Холстинском, Левобережном и Кадат-Ханикомском впервые для данного района изучались гипогенные и гипергенные ореолы ртути, бора, иода, брома. Определение ртути, серебра, иода и брома в геохимических пробах (10690 проб) выполнялось химическими методами, а брома - приближенно-количественным спектральным. Основные промышленно-ценные элементы, свинец и цинк, над слепыми рудными телами, залегающими на глубинах более 100 м, в эрозионном срезе ореолов рассеяния не образуют. Было выяснено, что главными индикаторами слепых свинцово-цинковых рудных тел являются перечисленные легкоподвижные элементы, а также серебро. Использование комплекса легкоподвижных элементов-индикаторов особенно важно для сланцевой полосы Осетии, где исследование по обычному кругу индикаторов приводило к отрицанию возможности применения геохимических методов поисков.

В геологическом строении района принимает участие комплекс по-

род, представленный древними кристаллическими сланцами (Pz_1), гранитоидами (Pz_2) и вулканогенно-осадочными образованиями юрско-го возраста. Основной структурной единицей является Садоно-Уналь-ская антиклиналь, в пределах которой расположены все известные крупные полиметаллические месторождения. Антиклиналь разбита се-рией продольных и поперечных разломов, придающих ей складчато-глыбовое строение.

Оруденение локализуется главным образом в трещинах северо-вос-точного простирания, которые оперяют наиболее крупные древние глубокие разломы, выполнявшие функции рудоподводящих и контроли-рующих оруденение и располагаются вкрест оси простирания Садо-но-Унальской антиклинали. Наиболее распространенными рудными ми-нералами являются галенит, сфалерит и пирит. Рудные тела жильно-го типа, мощностью от 0,5 до 3 м, залегают в гранитах, альбитофи-рах, песчаниках, аргиллитах, алевролитах; среди них имеются как выходящие на поверхность, так и располагающиеся на глубине до 300 м и более.

По структурно-тектоническим условиям изученные участки можно разделить на две группы, с постепенными переходами между ними. К первой относятся выходящие на поверхность рудовмещающие и рудо-подводящие структуры и "открытые" структуры месторождений. Вто-рую группу составляют не выходящие на поверхность "слепые" руд-ные тела и "закрытые" тектонические структуры месторождений.

Район отличается широким распространением горно-луговых ланд-шафтов, характеризующихся различной степенью развития почвенного профиля и разной густотой растительного покрова, в зависимости от сочетания литологических и геоморфологических условий. В дер-новом, гумусовом, иллювиальном горизонтах почв и элювио-делюви-альных отложениях формируются гипергенные ореолы рассеяния.

Ниже кратко описываются ореолы четырех указанных выше элемен-тов.

Ртуть. Фоновые содержания ртути во всех породах и почвах Са-доно-Унальского и Фиагдонского рудных полей близки к ее кларкам для Кавказа. Форма и продуктивность гипогенных и гипергенных ореолов ртути различна, что зависит от условий залегания и мор-фологии рудных тел и нарушений (рис. I). Над выходящими на поверх-ность и "открытыми" тектоническими структурами ртуть образует ореол сложной формы, в котором выделяются два максимума и цент-ральная зона с содержаниями ниже фонового. При общей ширине орео-

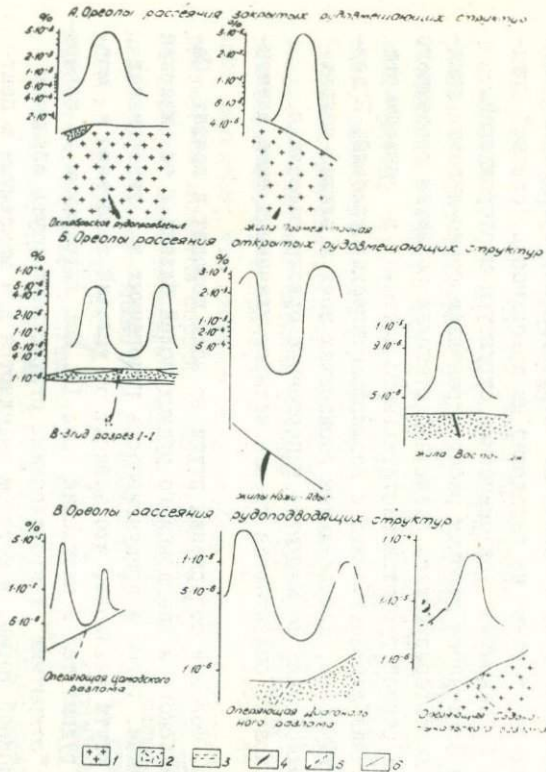


Рис. 1. Типы ореолов ртути

1—граниты; 2—покровные альбитофиды;
3—песчано-глинистые сланцы; 4—рудные тела; 5—тектонические нарушения;
6—содержание ртути в коренных породах.

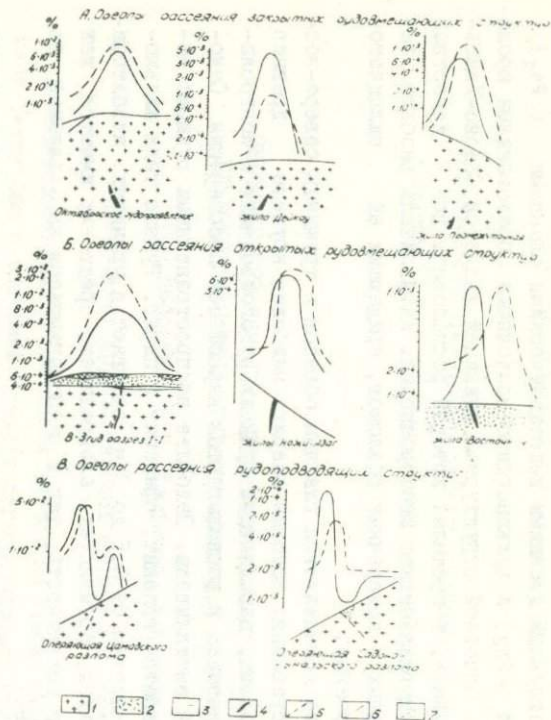


Рис. 2. Типы ореолов серебра:

1—граниты; 2—покровные альбитофиды;
3—песчано-глинистые сланцы; 4—рудные тела; 5—тектонические нарушения;
6—содержание серебра в коренных породах; 7—содержание серебра в гумусовом горизонте почв.

ла в среднем 100–180 м на зону пониженных содержаний приходится от 10 до 40 м. Над закрытыми структурами ртуть образует положительный ореол в форме "шапки", шириной от 100 до 120 м. Подобная форма ореолов ртути отмечается для рудных тел, залегающих как в гранитах и альбитофирах, так и в песчаниках, аргиллитах и алевролитах.

Гипогенные и гипергенные ореолы ртути характеризуются высокой контрастностью (коэффициент контрастности γ от 10,6 до 20,9). Гипергенные ореолы ртути имеют неоднородное строение. Они характеризуются понижением содержаний в элювио-делювиальных отложениях, по сравнению с коренными породами, наименьшими содержаниями в верхней части почвенного профиля и максимальными – в иллювиальном горизонте почв. Путем сопоставления отношений продуктивности ореолов ртути и свинца выявлена тесная связь между гипогенными и гипергенными ореолами ртути.

Серебро (рис.2). Фоновое содержание серебра в рудовмещающих гранитах района в два раза выше кларка. В других породах и почвах фоновое содержание близко к кларку. Над рудовмещающими структурами серебро образует положительный высококонтрастный (γ от 14,6 до 23,8) ореол шириной от 80 до 100 м. Над рудоконтролирующими и рудоподводящими нарушениями ореол серебра имеет сложную форму, аналогичную описанной для ртути. В практическом отношении важно, что положительные ореолы приурочены только к рудовмещающим нарушениям независимо от вмещающих пород.

Гипергенный ореол серебра неоднороден. Выше коренных пород в элювиально-делювиальных отложениях наблюдается зона низких содержаний серебра, в иллювиальном горизонте почв отмечаются повышенные, а в верхней части почвенного профиля, в гумусовом горизонте, максимальные содержания серебра. Так же, как и для ртути, установлена тесная зависимость гипергенного ореола рассеяния от гипогенного.

Иод (рис.3). Фоновые содержания иода во всех породах рудного поля в 2–5 раз ниже кларка. Фоновые содержания в почвах в два раза выше, чем в коренных породах, на которых они формируются. Ореолы рассеяния иода контрастно фиксируют рудные тела как слепые, залегающие на больших глубинах, так и выходящие на поверхность, независимо от характера вмещающих пород. Форма ореолов различная, определяется структурными условиями и морфологическими особенностями минерализованных зон. Ширина сложных ореолов

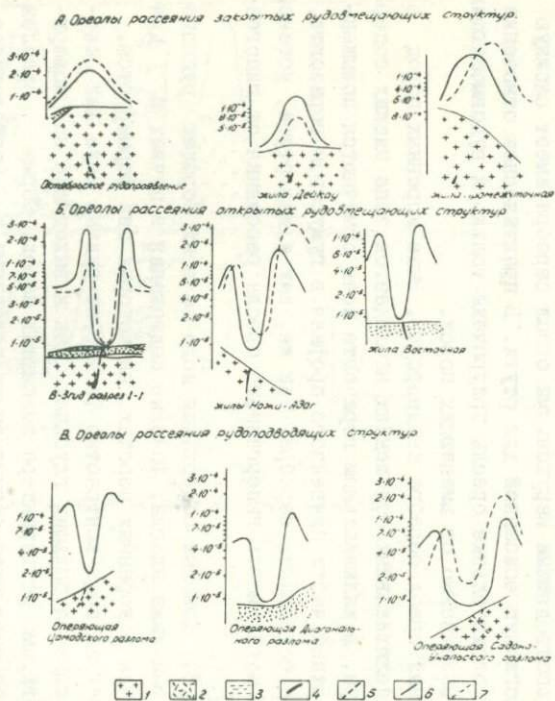


Рис.3. Типы ореолов иода
 1—граниты; 2—покровные альбитофиры;
 3—песчано-глинистые сланцы; 4—руд-
 ные тела; 5—тектонические нарушения;
 6—содержание иода в коренных породах;
 7—содержание иода в гумусовом горизон-
 те почв.

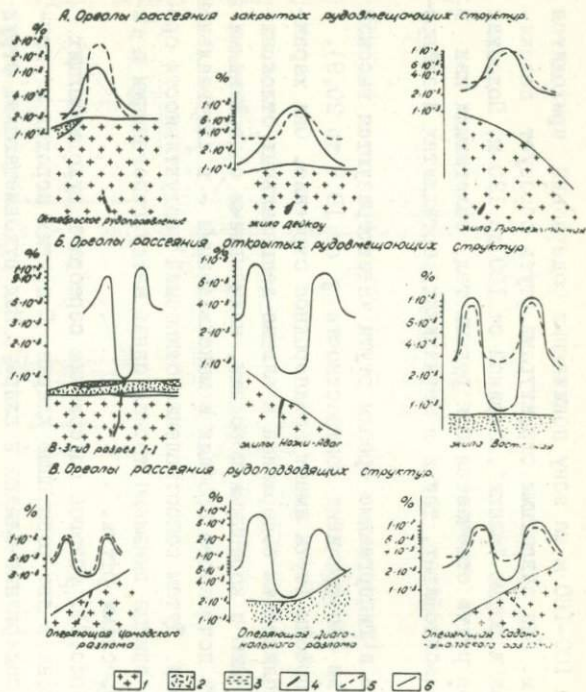


Рис.4. Типы ореолов бора
 1—граниты; 2—покровные альбитофиры;
 3—песчано-глинистые сланцы; 4—рудные
 тела; 5—тектонические нарушения;
 6—содержание бора в коренных породах.

над "открытыми" тектоническими структурами составляет 80-140 м, причем центральная зона пониженных содержаний составляет 30-40 м, Над "закрытыми" структурами ширина ореола - 80-100 м.

Внутреннее строение гипергенного ореола характеризуется следующими особенностями. В элювио-делювиальных отложениях отмечаются наименьшие содержания иода, в иллювиальном горизонте - близкие к содержаниям в коренных породах, в гумусовом горизонте - максимальные содержания. Выявлена тесная связь ореола иода в коренных породах вблизи поверхности и гипогенного ореола.

Бор (рис.4). Фоновые содержания бора в породах и почвах района близки к его кларку. Форма ореолов, так же как по ртути и иоду, различна для разных групп и рудоподводящих структур. Ореолы характеризуются высокой контрастностью, значительной эффективной шириной. Отмечается тесная зависимость ореола бора в коренных породах на поверхности от его гипогенного ореола.

Таким образом, легколетучие элементы широкого рассеяния: ртуть, иод, бор, а также серебро - образуют четкие, контрастные ореолы как над слепыми, глубокозалегающими (> 100, до 300 м), так и над выходящими на поверхность рудными телами. Наличие связи между гипергенными и гипогенными ореолами позволяет искать слепые рудные тела, залегающие на глубинах до 300 м, по гипергенным ореолам рассеяния.

Анализ зависимости параметров ореолов от глубины эрозионного среза, являющейся отражением зональности, показал, что резко различаются величины продуктивности (М) ореолов ртути, серебра, иода и бора у эродированных и "слепых" глубокозалегающих рудных тел (табл. I). Для ртути, иода и бора М ореола над глубокозалегающими рудными телами в среднем в два раза больше, чем над эродированными. Продуктивность ореола серебра над эродированными жилами в 1,6 раза больше, чем над глубокозалегающими жилами.

Отмечаются различия в величинах продуктивности ореолов рудовмещающих и рудоподводящих нарушений. Над рудоподводящими нарушениями продуктивность ореолов меньше, чем над рудовмещающими нарушениями, выходящими на поверхность, - для ртути, иода и бора в 3-5 раз, а для серебра в 10-15 раз. Сопоставление величин продуктивностей ореолов легкоподвижных элементов и выяснение формы ореолов серебра позволяет давать предварительную оценку тектонических нарушений.

Рассматривая отношения продуктивностей ореолов пар и групп

Продуктивности ореолов М (м %)

	Над эродированными рудными телами	Над глубокозалегаящими рудными телами
Ртуть	$3-6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$
Серебро	$8 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-3}$
Иод	$8 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-1}$	$5-8 \cdot 10^{-1}$
Бор	$1-3 \cdot 10^{-1}$	$8-9 \cdot 10^{-1}$

элементов-индикаторов, подсчитываемые по поверхности на месторождениях с различным эрозионным срезом, разной глубиной залегания рудного тела и на разных отметках гипогенных ореолов, можно видеть, что они изменяются с определенной закономерностью. Закономерность выражается в уменьшении величин отношения продуктивности легкоподвижных элементов к продуктивности ореола свинца для эродированных рудных тел и увеличении этого отношения при более глубоком залегании их. Таким образом, для каждого уровня эрозионного среза и каждой глубины залегания рудного тела характерна определенная величина отношений продуктивности пар элементов. Эта зависимость позволяет по величине отношений продуктивностей ореолов и их форме ориентировочно оценивать глубину залегания слепого рудного тела и уровень эрозионного среза рудного тела, выходящего на поверхность.

Характер источников аномалий отражается в формах нахождения иода и ртути. На фоновых участках и в аномалиях, не связанных с рудными телами, иод и ртуть находятся в трудноподвижных формах, определяемых только при полном разложении навески. В ореолах рудных тел 50-80% общего количества иода содержится в водорастворимой составляющей, в форме иодид-иона. Основная часть ртути в ореоле также находится в водорастворимой составляющей пробы. Таким образом, большие содержания подвижных соединений иода и ртути свидетельствуют об аномальном характере исследуемого участка.

В заключение подчеркнем следующие из изложенных материалов выводы:

I. Рудовмещающие структуры, не выходящие на поверхность, и рудные тела, залегающие на больших глубинах (от 100 до 300 м),

фиксируются только ореолами ртути, иода, бора и серебра. Эта закономерность установлена для рудных тел, локализующихся в различных породах: гранитах, альбитофирах, песчаниках, алевролитах, аргиллитах.

2. Установлена зависимость между гипергенными и гипогенными ореолами легкоподвижных элементов, которая позволяет искать слепые рудные тела по гипергенным ореолам этих элементов.

3. Выявлена зависимость между величиной отношения продуктивностей пар элементов и глубиной залегания рудного тела. Используя эту зависимость, можно ориентировочно оценить глубину залегания слепого и уровень эрозийного среза выходящего на поверхность рудного тела.

4. Большое количество подвижных соединений иода и ртути в геохимических пробах свидетельствует об аномальном характере исследуемого участка.

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Е.М.Квятковский, О.Ф.Путиков

Ленинградский горный институт им.Г.В.Плеханова

Идеализированная модель процесса формирования гидротермальных месторождений может быть представлена следующим образом. В ослабленную зону, обычно крутопадающую, из глубинного источника поступают гидротермальные растворы. На некоторой глубине от дневной поверхности в силу изменения термодинамической или физико-химической обстановки растворы становятся неустойчивыми и из них выпадают в твердую фазу те или иные элементы, главным образом в форме характерных для данной обстановки минеральных образований. Поверхность или зона, разделяющая области устойчивого и неустойчивого состояния гидротермальных растворов, может быть названа геохимическим барьером. Распределение концентраций элемента в ослабленной зоне выше геохимического барьера при отсутствии влияния диффузии в жидкой и твердой фазах можно получить путем решения уравнения материального баланса, справедливого для одномерной задачи:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial q}{\partial t} = 0 \quad (I)$$

где C - концентрация элемента в растворе,

q - концентрация его в твердой фазе,

u - скорость фильтрации раствора,

z - координата по направлению движения раствора,

t - время.

Для решения уравнения материального баланса, т.е. определения функций распределения концентраций C и q в любой момент времени необходимо знать уравнение кинетики процесса взаимодействия растворенного вещества со средой:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \varphi(C, q, \kappa, u), \quad (2)$$

где κ — константа скорости химической реакции, и уравнение гидродинамики

$$u = f(z, t). \quad (3)$$

Решение системы уравнения (1, 2, 3) в общем виде получить невозможно, поэтому обычно ограничиваются нахождением аналитических решений лишь для частных случаев. Следует отметить, что уравнения (1, 2, 3) не учитывают термодинамических параметров среды (давление, температуру), раствор принимается однокомпонентным, или, если он многокомпонентен, подразумевается, что каждый компонент взаимодействует со средой независимо от других компонентов, что справедливо для разбавленных растворов.

В работах Р.И.Дубова, В.С.Голубева и А.А.Гарибянца /1, 2, 3, и др./ при решении уравнений принимается, что $u = \text{const}$, а $\frac{\partial q}{\partial t}$ не зависит от u . Константа скорости химической реакции также принимается постоянной и концентрация вещества в твердой фазе — не превышающей предельного значения q_0 . Полученные решения для различных выражений функции

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \kappa \cdot \varphi(C, q, q_0) \quad (4)$$

представлены на рис. I в виде графиков концентрации элемента в твердой фазе. Характерными особенностями этих графиков являются:

1. Скачкообразное изменение концентраций элемента в твердой фазе на геохимическом барьере от 0 до q_0 , т.е. отсутствие подрудного геохимического ореола.

2. Наличие интервала с постоянными концентрациями элемента в твердой фазе q_0 , размеры которого увеличиваются со временем.

3. Постепенное уменьшение концентраций элемента в твердой фазе от q_0 до 0 в надрудном первичном ореоле, протяженность которого, как правило, увеличивается со временем одновременно с перемещением его по направлению фильтрации раствора. Таким образом, рассмотренные Р.И.Дубовым, В.С.Голубевым и А.А.Гарибянцем случаи позволяют анализировать характер распределения элементов в руд-

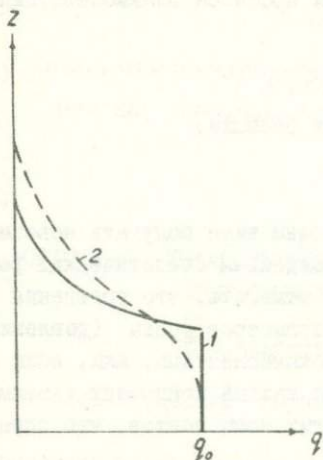


Рис.1. Распределение элемента в рудной зоне при выпадении его из раствора в результате необратимой реакции первого (1) и второго (2) порядка /1/.

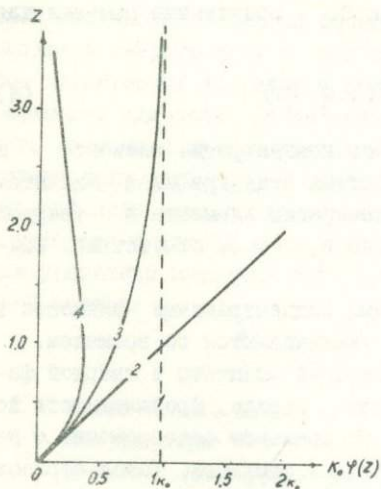


Рис.2. Графики функции:

- 1 - $\varphi(z) = I$;
- 2 - $\varphi(z) = z$
- 3 - $\varphi(z) = I - e^{-\lambda z}$;
- 4 - $\varphi(z) = z \cdot e^{-\lambda z}$.

ном теле и надрудном первичном ореоле, сформировавшихся при неизменной во времени и в пространстве физико-химической обстановке над резко выраженным геохимическим барьером.

Если принять, что изменение физико-химической обстановки в первую очередь должно сказываться на изменении константы скорости химической реакции раствора со средой, то при условии необратимой реакции первого порядка можно записать:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \kappa \cdot C = \kappa_0 \cdot \varphi(z) \cdot C, \quad (5)$$

где $\kappa = \kappa_0 \varphi(z)$ - константа скорости химической реакции со средой.

Решая систему уравнений (1), (5) с помощью интегрального преобразования Лапласа при начальных условиях

$$C|_{t=0} = 0 \quad q|_{t=0} = 0 \quad (6)$$

и граничных условиях

$$C|_{x=0} = C_0 \quad C|_{x \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad (7)$$

можно получить выражение для концентрации элемента в жидкой фазе:

$$C = C_0 \cdot e^{-\frac{\kappa_0}{U} \int_0^z \varphi(z) dz} \cdot \eta\left(t - \frac{z}{U}\right), \quad (8)$$

где

$$\eta\left(t - \frac{z}{U}\right) = \begin{cases} 1 & \text{при } t \geq \frac{z}{U} \\ 0 & \text{при } t < \frac{z}{U} \end{cases} \quad (9)$$

Соответственно, переходя к концентрации в твердой фазе с использованием формулы (5), получим формулу

$$q = \kappa_0 \varphi(z) \int_0^t C \cdot dt = \kappa_0 C \left(t - \frac{z}{U}\right) \varphi(z) e^{-\frac{\kappa_0}{U} \int_0^z \varphi(z) dz} \quad (10)$$

пригодную для расчета при $t \geq \frac{z}{U}$

Можно рассмотреть несколько частных случаев задания функции $\varphi(z)$, графики которых изображены на рис.2.

Случай (I), при $\varphi(z)$, приводит к решению, полученному Р.И.Дубовым /2/:

$$q = \kappa_0 C \left(t - \frac{z}{U}\right) e^{-\frac{\kappa_0}{U} z} \quad (II)$$

Этот случай соответствует резко выраженному барьеру, выше которого константа скорости реакции остается постоянной.

Случай (2), при $\varphi(z) = z$, приводит к решению:

$$q = \kappa_0 C_0 \left(t - \frac{z}{u}\right) \cdot z \cdot e^{-\frac{\kappa_0}{2u} z^2} \quad (12)$$

Этот случай соответствует линейно возрастающей скорости химической реакции с удалением от геохимического барьера или, что то же самое, постоянному во времени градиенту скорости реакции вдоль оси Z . Аналогичная зависимость была получена Р.И.Дубовым /4/ и рассматривается в статье /5/.

Случай (3), при $\varphi(z) = 1 - e^{-\lambda z}$, приводит к решению:

$$q = \kappa_0 C_0 \left(t - \frac{z}{u}\right) \left(1 - e^{-\lambda z}\right) e^{-\frac{\kappa_0}{u} \left(z - \frac{1 - e^{-\lambda z}}{\lambda}\right)} \quad (13)$$

Он соответствует плавно возрастающей скорости реакции от нуля до κ_0 с удалением от геохимического барьера. Градиент скорости реакции по z определяется параметром λ . При $\lambda = 0$ формула (13) тождественна (II).

Случай (4), при $\varphi(z) = z \cdot e^{-\lambda z}$, приводит к решению:

$$q = \kappa_0 C_0 \left(t - \frac{z}{u}\right) \cdot z \cdot e^{-\lambda z} \cdot e^{-\frac{\kappa_0}{u \lambda^2}} \cdot e^{-\frac{\kappa_0}{u \lambda} e^{-\lambda z} \left(z + \frac{1}{\lambda}\right)} \quad (14)$$

которое при $\lambda \rightarrow 0$ совпадает с решением (12).

При достаточно большом времени формирования рудной зоны ($t \gg \frac{z}{u}$) выражения (II-14) можно преобразовать к виду:

$$q' = \frac{q}{\kappa_0 C_0 t} = f\left(z, \lambda, \frac{\kappa_0}{u}\right), \quad (15)$$

т.е. характер графиков q' в этом случае не будет зависеть от времени и определяется лишь соотношением параметров λ и $\frac{\kappa_0}{u}$.

На рис.3 изображены соответствующие графики, рассчитанные по формулам (II-14) при условии $t \gg \frac{z}{u}$, $\lambda = 1$ усл.ед. и $\frac{\kappa_0}{u} = 1$ усл.ед.

Решая уравнение

$$\frac{\partial q}{\partial z} = 0 \quad (16)$$

можно определить координаты точки максимума для различных случаев:

при $\varphi(z) = 1$ $Z_{\max} = 0$

при $\varphi(z) = z$ $Z_{\max} = \sqrt{\frac{u}{2\kappa_0}}$

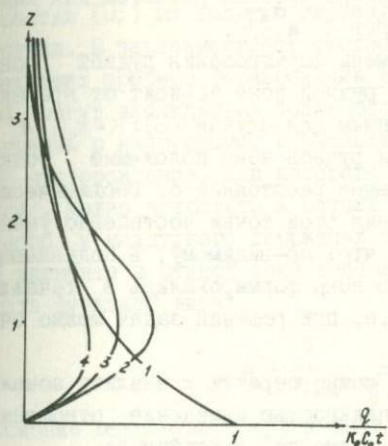


Рис.3. Распределение элемента в рудной зоне при выпадении его из раствора в результате необратимой реакции первого порядка с различной константой скорости реакции:

$$1 - k = k_0;$$

$$2 - k = k_0 \cdot z;$$

$$3 - k = k_0 (1 - e^{-\lambda z});$$

$$4 - k = k_0 \cdot z \cdot e^{-\lambda z};$$

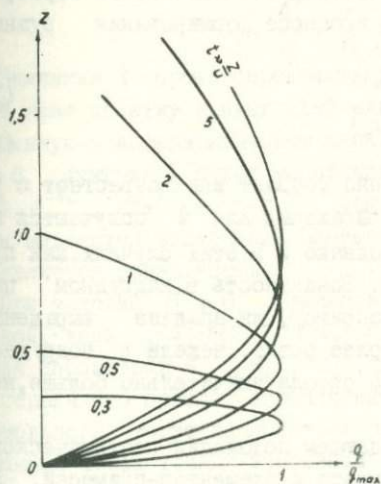


Рис.4. Распределение элемента в рудной зоне при выпадении его из раствора в результате необратимой реакции первого порядка с константой скорости реакции $K = K_0 (1 - e^{-\lambda z})$ в зависимости от времени формирования рудной зоны в единицах $\frac{z}{U} = 0,3; 0,5; 1; 2; 5; 1000$.

При $\varphi(z) = 1 - e^{-\lambda z}$ и $\varphi(z) = z \cdot e^{-\lambda z}$ уравнения $\frac{\partial q}{\partial z} = 0$ получаются достаточно сложными, однако и в том и в другом случае положение максимума может быть найдено простым расчетом для каждого конкретного значения параметров λ и $\frac{K_0}{U}$.

При сравнительно небольшом времени формирования рудной зоны характер распределения элемента в рудной зоне зависит от времени, что иллюстрируется рис. 4, построенным для случая (3): $K = K_0(1 - e^{-\lambda z})$. С увеличением времени формирования рудной зоны положение точки максимума q смещается на все большее расстояние от геохимического барьера, причем скорость смещения этой точки постепенно уменьшается до нуля. Следует отметить, что, по-видимому, в подавляющем большинстве случаев реально рудные зоны формировались в течение достаточно длительного времени, т.е. при решении задач можно считать $t \gg \frac{z}{U}$.

Используя выражение вида (15), можно перейти к анализу зональности рудных тел, понимая под зональностью изменение отношения содержаний (продуктивностей) двух элементов с глубиной:

$$\lambda = \frac{q_i}{q_i'} = \frac{f_i(z, \lambda_i, \frac{K_{0i}}{U})}{f_i'(z, \lambda_i, \frac{K_{0i}}{U})} \quad (17)$$

При условии совпадения местоположения геохимического барьера для всех элементов, участвующих в процессе формирования рудной зоны, выражения для λ имеют вид:

$$\text{при } \varphi(z) = 1 \quad \lambda = e^{-\frac{z}{U}(K_{0i} - K_{01})}; \quad (18)$$

$$\text{при } \varphi(z) = z \quad \lambda = e^{-\frac{z^2}{2U}(K_{0i} - K_{01})} \quad (19)$$

В обоих случаях функция λ монотонно убывает или возрастает с удалением от барьера. Более сложные выражения для λ получаются при $\varphi(z) = 1 - e^{-\lambda z}$ и $\varphi(z) = z \cdot e^{-\lambda z}$, однако и в этих случаях, как правило, функция будет монотонной. Зональность в надрудном первичном ореоле, как это следует, например, из анализа выражения (19), будет проявляться гораздо более резко, нежели в подрудном, и видимая протяженность надрудного ореола значительно больше, нежели подрудного.

Иная картина будет при несовпадающем положении геохимического барьера для основного рудного элемента и элементов-примесей. Несовпадение барьеров может иметь место как для элементов, характерных для одной стадии минерализации, так и для элементов, свя-

занных с различными стадиями.

В процессе формирования рудной зоны положение барьера, по-видимому, изменяется во времени - чаще всего смещается с некоторой скоростью (u) на большую глубину по мере остывания рудоносной интрузии. В зависимости от соотношения различных параметров, определяющих процесс формирования рудной зоны (κ , λ , u , u_1 и др.), могут наблюдаться более растянутые подрудные ореолы по сравнению с надрудными. В качестве примера можно привести Балейское месторождение, для которого наблюдается именно такая картина /4/. Можно встретить и случаи симметричного расположения подрудного и надрудного первичных ореолов, при которых распределение элемента в рудной зоне в первом приближении можно аппроксимировать функцией вида:

$$q'' = \frac{q}{q_{\max}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (19)$$

Положение максимума (z_0) и протяженность первичных ореолов, зависящая от величины σ , в обобщенном виде включают в себя указанные выше параметры (κ , λ и т.д.). Функция (19) очень удобна для качественного анализа характера зональности первичных ореолов. Функция ψ имеет вид:

$$\psi = \frac{q''_{i_1}}{q''_{i_2}} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot e^{-\frac{(z-z_{01})^2}{2\sigma_1^2} + \frac{(z-z_{02})^2}{2\sigma_2^2}} \quad (20)$$

Значения ψ проще определять графическим путем, используя для этой цели палетку кривых (19) для разных значений σ (рис.5), построенную в логарифмическом масштабе по оси q'' . При условии $\sigma_1 = \sigma_2$ функция ψ будет монотонно убывающей (или возрастающей) вида $e^{-\lambda^2}$, где $\lambda = z_{01} - z_{02}$. Чем больше λ , т.е. чем больше смещены максимумы содержаний элементов в рудной зоне, тем отчетливее проявляется зональность.

При условии $\sigma_1 \neq \sigma_2$ функция ψ будет в общем случае немонотонной, вида $e^{-z^2 \cdot f(\sigma_1, \sigma_2, z, z_{01}, z_{02})}$. В зависимости от соотношения параметров σ_1 , σ_2 , z_{01} , z_{02} в пределах видимого интервала первичного ореола, ограниченного значением q минимального аномального могут наблюдаться различные случаи - от резко выраженных немонотонных изменений ψ с глубиной до совершенно монотонных (рис.6). Из рисунка следует, что при $\sigma_1 > \sigma_2$ и $z_{01} \neq z_{02}$ значения ψ_{i_1} в надрудном первичном ореоле с глубиной падают, а

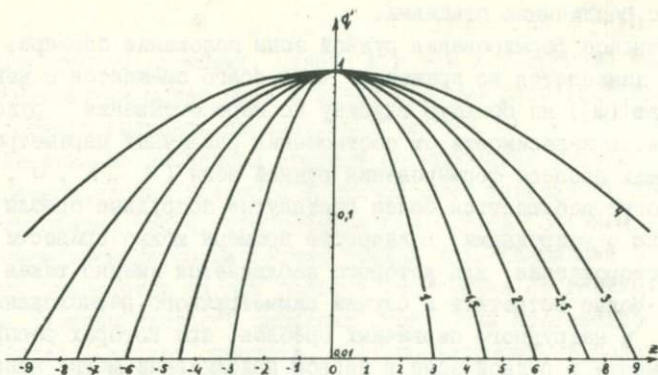


Рис.5. Палетка нормированных кривых функции (I9).

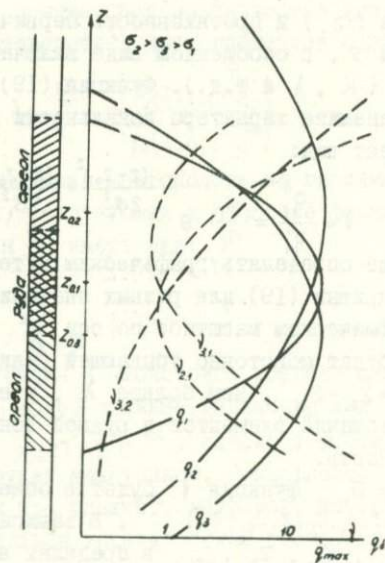


Рис.6. Идеализированные теоретические графики распределения содержаний (q) и отношений содержаний ($\sqrt{\quad}$) по восстановлению рудной зоны.

в подрудном ореоле - возрастают. Иначе говоря, монотонное изменение $\psi_{1,1}$ характерно лишь раздельно для надрудного и подрудного первичного ореола, в целом же для рудной зоны, как правило, изменение ψ с глубиной будет немонотонным, хотя и можно среди элементов-спутников встретить такие, для которых значения ψ в пределах зоны минерализации по основному компоненту (q_1) будут изменяться с глубиной монотонно. На рис.6 именно так ведут себя значения $\psi_{3,2}$

В ы в о д ы

1. Решения уравнения материального баланса при условии резкого геохимического барьера, выше которого константа скорости химической реакции $k = \text{const}$, не могут быть использованы при анализе характера подрудных первичных ореолов.

2. Полученное в общем виде решение уравнения при условии $k = k$, $\varphi(z)$ и рассмотренные частные решения для некоторых функций $\varphi(z)$ позволяют подобрать математические модели процесса формирования рудных тел и их первичных ореолов, более полно отражающие реально наблюдаемые в природе случаи.

3. Выведенные формулы позволяют теоретически проанализировать характерные особенности зональности рудных тел и их первичных ореолов. Полученные при этом данные свидетельствуют о необходимости осторожного подхода к оценке уровня эрозионного среза по отношению содержаний (продуктивностей) двух элементов - часто одинаковые значения отношений могут наблюдаться в надрудном и подрудном первичном ореоле.

Л и т е р а т у р а

1. Голубев В.С., Гарибянц А.А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. М., "Недра", 1968.
2. Дубов Р.И. Теоретический анализ распределения концентраций в фильтрационных ореолах. - В кн.: Избр. лекции по геохим. методам поисков рудных м-ний. Каз. геофиз. трест. Алма-Ата, 1963.
3. Дубов Р.И. К теории распределения концентраций в диффузионных геохимических ореолах. - В кн.: Геохимия рудных м-ний. М., "Наука", 1964.
4. Дубов Р.И. Количественные исследования геохимических полей для поисков рудных месторождений. - Автореф. докт. дисс. Иркутск, 1969.

5. Поликарпочкин В.В., Таусон Л.В., Дубов Р.И. Зональность гидротермальных месторождений как основа поисков глубокозалегающих рудных тел. - В кн.: Научные основы геохим. методов поисков глубокозалегающих рудных м-ний. Иркутск, 1970.

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ РУДНЫХ ТЕЛ
И ИХ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ

Е.М.Квятковский, И.Н.Крипук, Н.В.Никитин, Т.И.Нюппенен

Ленинградский горный институт им.Г.В.Плеханова

При поисках глубокозалегающих рудных тел по их первичным ореолам основное внимание уделяют изучению вертикальной зональности, под которой следует понимать изменение отношений средних содержаний или линейных продуктивностей элемента-примеси и основного рудного элемента ($\frac{\bar{c}_i}{\bar{c}_1}$ или $\frac{M_i}{M_1}$) с удалением от центра рудного тела в обе стороны по вертикальной оси z . Иначе говоря, на хорошо разведанных рудных телах устанавливается зависимость вида:

$$\gamma_c = \frac{\bar{c}_i}{\bar{c}_1} = f_c(z) \text{ или } \gamma_m = \frac{M_i}{M_1} = f_m(z) \quad (I)$$

которая в дальнейшем и используется для оценки перспективности глубоких горизонтов вновь выявленной в пределах рудного поля аналогичной по генезису рудной зоны.

Однако устойчивость выявленной на "эталонных" объектах зональности зависит от целого ряда факторов и в первую очередь от стабильности процесса рудообразования и однотипности геологических, термодинамических и физико-химических условий формирования рудных тел и их первичных ореолов. Относительно однотипности условий формирования рудных месторождений можно сказать, что, хотя абсолютно одинаковых месторождений найти невозможно, внутри отдельных типов месторождений, рассматриваемых в широко известных

генетических классификациях рудных месторождений, условия образования можно считать достаточно близкими. Более того, можно предполагать, что вид функции (I) будет достаточно сходным не только для отдельных типов месторождений, но и для более широких классов, о чем свидетельствует, например, известный со времен Эммонса ряд зональности. Универсальность этого ряда для широкого класса сульфидных месторождений недавно вновь была подтверждена при обработке большого фактического материала Л.Н. Овчинниковым и С.В. Григорьяном /5/. Вместе с тем, известны многочисленные примеры проявления так называемой "обратной зональности", не укладывающейся в ряд Эммонса. Основной причиной нарушения "нормального" ряда, как отмечал еще академик С.С. Смирнов /8/, является пульсационный характер процесса рудообразования. Таким образом, можно говорить о формировании одностадийной и многостадийной зональности. Естественно, что при условии закономерной последовательности пульсаций может наблюдаться устойчивая для данного рудного поля пульсационная зональность, и в этом случае вполне возможно использовать ее для оценки глубоких горизонтов рудных зон. Как правило, пульсационная зональность менее устойчива и поэтому зависимости вида (I) должны оцениваться как более надежные для одностадийной и менее надежные для многостадийной зональности.

Разделение элементов на ассоциации, характерные для разных стадий минерализации, должно основываться как на геологических наблюдениях в горных выработках и минераграфических исследованиях, так и на использовании аппарата корреляционного анализа. Элементы одной стадии будут характеризоваться более высокими коэффициентами корреляции по сравнению с элементами, относящимися к разным стадиям. Если исключить из рассмотрения дорудный и послерудный этапы минерализации, то, как правило, рудный этап состоит из одной, редко двух - трех стадий минерализации. С целью разделения элементов на ассоциации, характерные для различных стадий минерализации, можно воспользоваться предложенным Ю.К. Бурковым /I/ аппаратом для вычисления многократных парных линейных коэффициентов корреляции, сущность которого заключается в следующем. Как известно, парные линейные коэффициенты корреляции, которые будем в дальнейшем именовать коэффициентами нулевого порядка, вычисляются по формуле:

$$r_{0(x,y)} = \frac{\overline{C_x \cdot C_y} - \overline{C_x} \cdot \overline{C_y}}{S_{C_x} \cdot S_{C_y}}, \quad (2)$$

где C_x и C_y - содержания (или при логнормальном распределении логарифмы содержаний) элементов x и y в пробах; S_{C_x} и S_{C_y} - среднеквадратичное отклонение содержаний (логарифмов содержаний), равное $\sqrt{\overline{C_i^2} - (\overline{C_i})^2}$

Парные линейные коэффициенты корреляции более высоких порядков вычисляются по формуле:

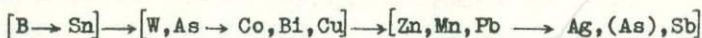
$$r_{(n+i)(x,y)} = \frac{\overline{z_{n(x,i)} \cdot z_{n(y,i)}} - \overline{z_{n(x,i)}} \cdot \overline{z_{n(y,i)}}}{S_{z_{n(x,i)}} \cdot S_{z_{n(y,i)}}} \quad (3)$$

где n - порядок коэффициента корреляции; x, y - два фиксированных элемента из числа участвующих в анализе; i - любой другой элемент из той же совокупности элементов.

При расчете по формуле (3) значимость исходных коэффициентов корреляции нулевого порядка не учитывается - они рассматриваются как случайные величины. Однако всегда наблюдается тенденция как к увеличению абсолютного значения коэффициента многократной корреляции с увеличением его порядка ($r_{n \rightarrow \infty} \rightarrow \pm 1$), так и к повышению уровня его значимости. Это в какой-то мере может свидетельствовать о том, что коэффициенты более высокого порядка отражают более глубокие связи между элементами, затухающие менее существенными связями.

На рис. I приведены графики изменения коэффициентов корреляции меди с другими элементами в зависимости от порядка коэффициента для одного из касситеритово-сульфидных месторождений Дальнего Востока, в котором, судя по геологическим данным, можно выделить три стадии рудного этапа минерализации: 1) кварц-касситеритовую с арсенопиритом, вольфрамитом, халькопиритом I, турмалином, хлоритом; 2) кварц-сульфидную с шпротинном, халькопиритом и другими сульфидами; 3) сульфидно-карбонатную с галенитом, сфалеритом, карбонатами и сульфосолями. Сопоставляя геологические данные с результатами корреляционного анализа, можно отметить достаточно хорошее совпадение, если не считать положения вольфрама и мышьяка, которые должны относиться к кварц-касситеритовой стадии. Рассматривая совместно те и другие данные, можно говорить о такой последовательности выделения элементов из гидротермальных

растворов*:

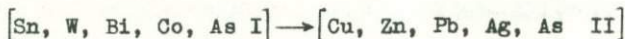


Следует, однако, отметить, что пользоваться аппаратом корреляционного анализа надо осторожно, так как в любом случае, даже при одностадийном процессе рудообразования, совокупность рудных элементов всегда можно разделить на две и более ассоциации, внутри которых в силу тех или иных причин элементы более тесно связаны между собой. Немаловажную роль при этом может играть методика отбора и анализа проб.

При штудном опробовании богатых руд можно получить отрицательные коэффициенты корреляции между главными рудными элементами, в силу того что увеличение содержания в пробе одного элемента должно сопровождаться уменьшением другого. При переходе к бороздовому опробованию этот эффект, как правило, исключается, однако при этом ухудшается корреляционная связь между элементами-примесями, связанными с минералами главных рудных элементов. Качественно зависимость коэффициента корреляции от объема пробы для рудных элементов одной стадии минерализации, изображена на рис.2. При неудачно выбранном объеме проб можно не обнаружить в действительности существующую корреляционную связь между рудными элементами. Объем бороздовых проб, по-видимому, для большинства типов руд близок к оптимальному или больше оптимального, штудные же пробы могут оказаться ниже оптимального объема. К сожалению, вопросы методики опробования с этой точки зрения пока не рассматривались, и трудно сказать что-либо более определенное по поводу оценки оптимального объема пробы.

При использовании спектрального анализа между элементами неизбежно возникают дополнительные корреляционные связи. Как следует из рис.3, при колебаниях средней температуры источника воз-

* По другим данным /3/, бор относится, в основном, к дорудной кварц-турмалиновой стадии, а рудный этап делится на две стадии: кварц-касситеритовую и кварц-сульфидную, для которых характерна такая последовательность выделения элементов:



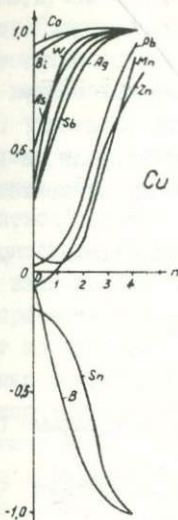


Рис. 1. Графики изменения многократных коэффициентов корреляции меди с другими элементами в рудах сульфидно-касситеритового месторождения.

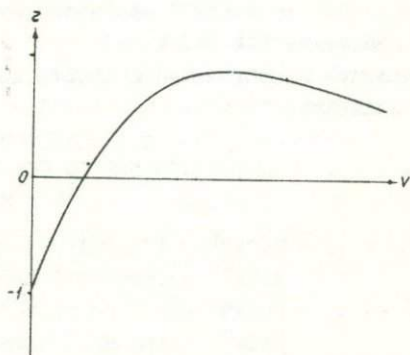


Рис. 2. Зависимость коэффициента корреляции между рудными элементами одной стадии минерализации от объема пробы (V).

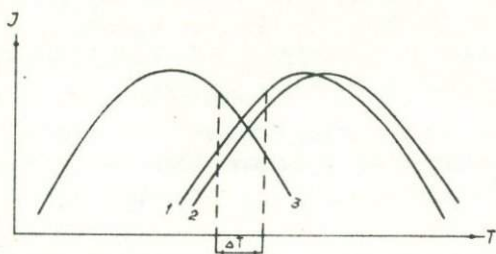


Рис. 3. Зависимость интенсивности спектральных линий (J) от температуры источника возбуждения (T). Линии (элементы) сходными (1,2) и различными (1,3; 2,3) потенциалами возбуждения. ΔT - колебания температуры источника возбуждения.

буждения (ΔT) коэффициент корреляции между интенсивностью линий элементов (1,2) будет близок к +1, а для элементов (1,3) и (2,3) к -1. Естественно, что при различных соотношениях \bar{T} и потенциалов возбуждения линий анализируемых элементов могут быть получены различные значения коэффициентов корреляции между содержаниями элементов в пробах, от 0 до ± 1 . Таким образом, при расчетах по формуле (2) мы получаем коэффициент корреляции нулевого порядка, отражающий как природные связи между элементами, так и аналитические связи.

Используя известные зависимости из теории статистики /10/, можно записать:

$$r_{x_0 y_0} = \frac{r_{x,y} \cdot S_x \cdot S_y - \Delta x \Delta y \cdot S_{\Delta x} S_{\Delta y}}{S_{x_0} \cdot S_{y_0}} \quad (4)$$

где x_0 и y_0 - истинные (природные) содержания (логарифмы содержаний) элементов в пробах;

x и y - полученные в результате анализа содержания (логарифмы содержаний) элементов;

Δx и Δy - ошибки анализа.

Для вычисления $r_{x_0 y_0}$ по формуле (4) необходимо иметь достаточно представительную выборку двукратно проанализированных проб. Значения Δx и Δy определяются как разность содержаний (логарифмов содержаний) между первым и вторым анализом; x и y - содержания (логарифмы содержания) по данным первого (или второго) анализа; $S_x^2 = S_{x_0}^2 + S_{\Delta x}^2$

Как следует из формулы (4), при $S_{\Delta x} \cdot S_{\Delta y} \ll S_x \cdot S_y$, т.е. малых ошибках анализа по сравнению с природной дисперсией содержаний элементов в рудах и первичных ореолах,

$$r_{x_0 y_0} = r_{xy}$$

При $r_{\Delta x \Delta y} \rightarrow 0$ формула (4) принимает вид:

$$r_{x_0 y_0} = r_{xy} \cdot \frac{S_x \cdot S_y}{S_{x_0} \cdot S_{y_0}} \quad (5)$$

или, так как $S_x \cdot S_y > S_{x_0} \cdot S_{y_0}$, "природный" коэффициент корреляции при этом условии всегда больше наблюдаемого ($r_{x_0 y_0} > r_{xy}$) и это различие тем больше, чем больше ошибки анализа.

После того как решен вопрос о стадийности процесса рудообразования, можно более уверенно оценивать зональность рудных тел. Вообще говоря, зависимости вида (I) могут быть достаточно сложными

даже в случае формирования рудных тел в простой структурно-геологической и термодинамической обстановке при наличии одного геохимического барьера /2/. Фактически же, кроме геохимического барьера первого порядка, на пути движения гидротермальных растворов всегда встречаются барьеры второго, третьего и более высоких порядков, что и приводит к появлению раздувов и пережимов, участков с богатыми и бедными рудами и т.д. При этом для локальных участков рудных зон, ограниченных барьерами различного порядка, будут наблюдаться закономерности распределения элементов, сходные с закономерностями распределения в рудной зоне в целом, т.е. обусловленные влиянием барьера первого порядка. В качестве иллюстрации можно привести рис.4, заимствованный из работы Г.Н.Шербы /9/. Как следует из рисунка, наличие барьеров второго порядка приводит к появлению в пределах локальных участков зональности, осложняющей общую картину зональности рудного тела в целом. Особенно большое искажающее влияние на характер графиков отношения содержаний (γ) оказывают барьеры второго порядка, расположенные ниже барьера первого порядка.

Для оценки уровня эрозионного среза можно воспользоваться двумя приемами. Первый прием заключается в вычислении коэффициента корреляции между отношением содержаний (линейных продуктивностей) и расстоянием до центра рудного интервала ($Z_{\gamma,z}$). Строго говоря, правильнее было бы брать расстояние до барьера первого порядка и измерять его в относительных единицах ($\frac{z}{\lambda}$), где λ - параметр, определяющий линейные размеры рудного тела, зависящий от геологических и иных условий процесса рудоотложения. В частности, можно предложить в качестве условной единицы (λ) принимать расстояние между точками с содержаниями (линейными продуктивностями), равными половине максимальных. Переход к относительным единицам особенно желателен, если размеры рудных тел изучаемого типа месторождений весьма невыдержанны. Вопрос этот нуждается, однако, в изучении как теоретическом, так и путем обобщения фактического материала.

Зная коэффициент корреляции $Z_{\gamma,z}$, легко перейти к уравнению регрессии вида $\gamma = f(z)$. Число таких уравнений будет равно числу элементов-примесей, зональность распределения которых в рудной зоне относительно основного рудного элемента достаточно четко проявлена и устойчива. По результатам опробования вновь обнаруженной рудной зоны, вскрытой в одном сечении, используя n урав-

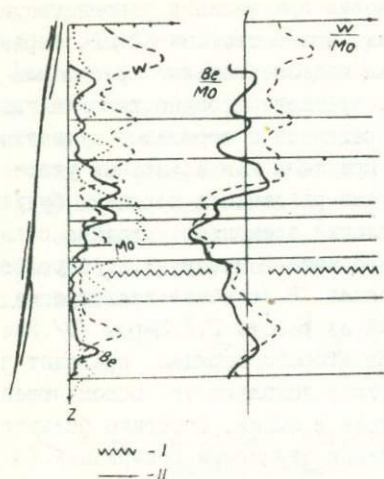


Рис. 4. Схема изменения содержания W , Be и Mo и отношения содержания W/Mo и Be/Mo в кварцевых жилах с глубиной $l/9$.

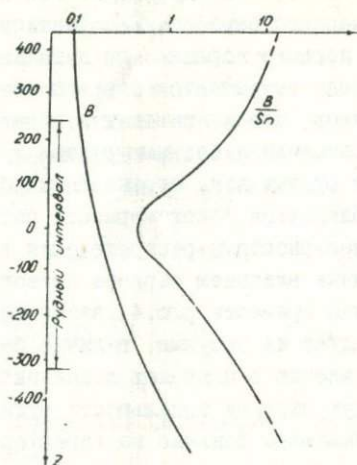


Рис. 6. Графики изменения средних содержания бора и отношения средних содержания бора к олову в вертикальном разрезе оловорудной зоны $l/4$.

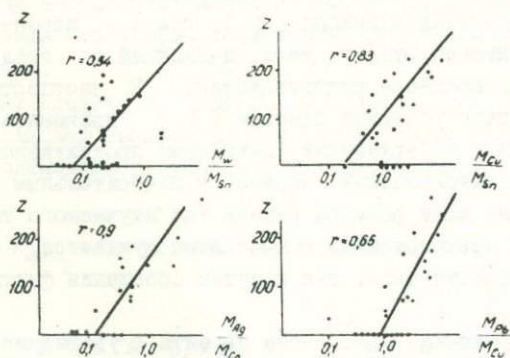


Рис. 5. Корреляционные зависимости между уровнем среза рудных тел и отношением линейных продуктивностей.

нений (графиков), мы получим соответственно n значений z , среднее из которых и может быть принято за оценку уровня эрозионного среза. В качестве иллюстрации в табл. I приведены значения коэффициентов корреляции, а на рис. 5 - поля корреляции и линии регрессии между уровнем эрозионного среза и логарифмом отношения линейных продуктивностей, полученные нами при изучении хорошо разведанных на глубину сульфидно-касситеритовых рудных зон одного из районов Дальнего Востока.

Таблица I

Коэффициенты корреляции между уровнем среза рудных зон и $\lg \frac{M_i}{M_k}$

	W/Sn	Cu/Sn	Ag/Co	Pb/Cu
$r_{z,z}$	0,54	0,83	0,9	0,65
n	30	21	17	30
t	3,6	12	20	5,8

Примечание: n - число сечений семи рудных зон; t - критерий значимости r ; при $t \geq 3$ r значимо с надежностью 99,5%.

При построении полей корреляции и расчетах коэффициентов $r_{z,z}$ за начало координат по оси Z в каждом вертикальном сечении рудной зоны принимался горизонт с максимальной линейной продуктивностью по олову. Оказалось, что ниже этого горизонта корреляции между уровнем среза и отношением продуктивностей элементов не наблюдается. Это, по-видимому, объясняется, во-первых, искажающим влиянием барьеров второго порядка, расположенных ниже рудного интервала, и, во-вторых, отсутствием среди элементов-индикаторов такого, который бы занимал по отношению к олову более низкое положение в ряду зональности. С этой точки зрения, судя по данным /4/, определенный интерес может представить бор, обогащающий наиболее глубокие горизонты рудных зон (подрудные интервалы). Однако основной привнос бора связан с дорудной (кварц-турмалиновой) стадией минерализации, поэтому использовать этот элемент, впрочем как и свинец, цинк, серебро, идущие в кварц-сульфидную и сульфидно-карбонатную стадии минерализации, следует осторожно. Судя по рис. 6, отличить надрудный интервал от подрудного по величине отношения бора к олову невозможно, поэтому Н.Н.Никулин и Ю.И.Баку-

лин /4/ предлагают для решения этого вопроса использовать график средних содержаний бора - надрудные сечения характеризуются содержаниями бора $< 0,2\%$, подрудные $> 0,5\%$. Указанный критерий вряд ли является устойчивым, так как в силу многостадийности процесса могут быть встречены зоны с иным взаимным расположением оловорудной минерализации относительно кварц-турмалиновой.

Второй прием оценки уровня эрозионного среза отличается от первого тем, что осреднение данных по ряду элементов производится до построения линий регрессии между глубиной и отношением продуктивностей. Такое осреднение предполагает использование не парных отношений линейных продуктивностей $\frac{M_i}{M_k}$, а показателей зональности вида $\frac{\sum M_i}{\sum M_k}$ или $\frac{\Pi M_i}{\Pi M_k}$, где M_i - продуктивности (или средние содержания) элементов, располагающихся выше, а M_k - ниже основного рудного элемента в известном для данного типа месторождений ряду зональности /5/. При изучении слабых по интенсивности первичных ореолов этот прием имеет несомненные преимущества.

Необходимо однако иметь в виду, что основной рудный элемент часто занимает в характерном для данного месторождения ряду зональности самое нижнее или одно из самых нижних мест, независимо от его положения в универсальном ряду зональности. По мнению В.В.Полакарпочкина и др. /6/, такой характер поведения основного рудного элемента обусловлен специализацией гидротермальных растворов. Согласно закону действия масс, следует ожидать, что из сравнительно более концентрированных растворов данного элемента осаждение его произойдет на больших глубинах, чем из растворов с малыми концентрациями. Отсюда следует, что пользоваться универсальным рядом зональности надо осторожно, проверяя каждый раз справедливость его для данного месторождения.

Более устойчивая, хотя и менее контрастная, зональность, как правило, характерна для элементов, занимающих в обобщенном ряду зональности сравнительно близкие места. Для таких элементов обычны "совмещенные" первичные ореолы. Элементы, далеко отстоящие друг от друга в ряду зональности, часто образуют "оторванные" первичные ореолы, зональность которых хотя и более контрастна, но менее устойчива (имея в виду функцию $\lambda = f(z)$). Очевидно, зональность рудных тел следует выявлять по более близким элементам, а зональность рудного поля, тем более рудного района, - по более далеким элементам в универсальном ряду зональности. При пе-

переходе от рудного тела к месторождению, рудному полю, рудному району все меньшую роль будет играть пульсационная (многостадийная) зональность. Это следует из общего геогенетического закона развития /7/ - в более кратковременные естественные звенья процесс развития как бы в сокращенном виде со своим "акцентом" проходит общую историю развития, или, иначе говоря, все зависит от масштаба времени и пространства: пульсационность процесса формирования отдельного рудного тела и рудного поля - понятия разные.

Для установления горизонтальной зональности рудного поля удобно пользоваться параметром $\lambda_k = \frac{\sum k_k}{\sum k_k} \cdot 100\%$, т.е. относительным коэффициентом концентрации элемента в рудах ($k_k = \frac{C_i}{C_{\text{ф}}}$, где C_i - среднее содержание элемента в рудном теле, $C_{\text{ф}}$ - фоновое содержание элемента во вмещающих породах). По значениям λ_k можно строить карты изолиний либо, группируя однотипные рудопроявления, выявлять характер зональности в пределах рудного поля (или рудного района) относительно основных рудоконтролирующих структур.

В качестве иллюстрации можно привести один из оловорудных районов, для которого установлена связь рудопроявлений с малыми интрузиями гибридного состава. Известные в районе рудопроявления и месторождения были подразделены на три группы по признаку удаленности от ближайшей малой интрузии, и для каждой группы были подсчитаны средние значения λ_k (табл.2).

Как следует из таблицы, зональность рудопроявлений относительно малых интрузий в пределах рассматриваемого района проявляется достаточно четко. Для каждой из выделенных трех групп рудопроявлений следует ожидать существенные различия в надежности оценки оловоносности глубоких горизонтов при использовании вертикальной зональности. Богатые свинцово-цинковые рудопроявления третьей группы могут и не сопровождаться на глубине богатыми оловянными рудами, тогда как для рудопроявлений первой и второй группы такая связь более однозначна.

Еще более осторожно следует подходить к использованию при поисках глубокозалегающих месторождений таких элементов, как галогиды (фтор, иод), легколетучие элементы (ртуть, барий, мышьяк), которые занимают верхнее положение в универсальном ряду зональности. Использовать их следует лишь в комплексе с другими элементами, более близкими в ряду зональности к основному рудному элементу. В общем, по-видимому, справедливо правило: чем выше

Таблица 2

Средний относительный состав рудопроявлений в зависимости от удаления их от малых интрузий

Группа рудопроявлений	Расстояние от интрузии, км	Относительные коэффициенты концентрации элементов, %											
		Sn	Bi	Co	Cu	As	Zn	Pb	Ag	Hg	In	Tl	Сумма
I	0-1	10,7	17,3	2	20,7	9,2	4,5	19,2	2,6	4	6,1	3,7	100
II	1-3	11	5,7	4,1	13,9	4,9	7,3	23,6	18,8	4,2	3	3,5	100
III	3	5	-	3,0	5,3	4,5	10,1	55,4	10,8	2,2	2,6	1,1	100

среднее содержание и относительный коэффициент концентрации элемента-индикатора (V_k) и чем дальше он находится в универсальном ряду зональности относительно главного рудного элемента, тем менее уверенно его можно использовать при оценке перспективности глубоких горизонтов зон минерализации на основной рудный элемент.

Л и т е р а т у р а

1. Бурков Ю.К., Боровиков Л.И. Корреляционный анализ закономерностей распределения малых элементов для решения вопросов седиментогенеза. - МГК, XXIII сессия, 1968.
2. Квятковский Е.М., Путиков О.Ф. Некоторые вопросы теории формирования первичных ореолов гидротермальных месторождений. - Статья в наст. сб.
3. Никитин Н.В. Геохимическая зональность сульфидно-касситеритовых месторождений Комсомольского района. - Автореф. канд. дисс. Л., 1969.
4. Никулин Н.Н., Бакулин Ю.И. Бор - возможный геохимический индикатор при перспективной оценке оловорудных месторождений. - В кн.: Методика и техника разведки, ВИТР, 1969, № 64.
5. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. - В кн.: Научные основы геохим. методов поисков глубокозалегающих рудных м-ний. Иркутск, 1970.
6. Поликарпочкин В.В., Таусон Л.В., Дубов Р.И. (и др.). Зональность гидротермальных месторождений как основа поисков глубокозалегающих рудных тел. - В кн.: Научные основы геохим. методов поисков глубокозалегающих рудных м-ний. Иркутск, 1970.
7. Рундквист Д.В. Эволюция рудообразования во времени. - В кн.: Геологическое строение СССР, т. 5, М., "Недра", 1969.
8. Смирнов С.С. К вопросу о зональности рудных месторождений. - Изв. АН СССР, сер. геол., 1937, № 6.
9. Щерба Г.Н. Грейзеновые месторождения. - В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М., "Недра", 1968.
10. Юл Д., Кэндел М. Теория статистики. М., Госстатиздат, 1960.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

Посеция 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К ВОПРОСУ О ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ

Р.И.Дубов, К.Г.Прошутинская

Институт геохимии СО АН СССР

Развитие геохимических методов поисков потребовало создания теории, вскрывающей физическую сущность изучаемых объектов и дающей выводы, количественно сопоставимые с результатами наблюдений в природе, то есть выраженные математически. По мере развития теории увеличивается количество и точность учета различных действующих в природе факторов. На каждом же этапе рассматриваются неизбежно лишь модели, отражающие с некоторым приближением действие ограниченного числа учитываемых факторов. Поэтому сейчас все более растет необходимость в таком моделировании, которое, соответственно его целям и средствам, естественно назвать физико-математическим.

На первом этапе развития физико-математического моделирования для поисковой геохимии основной трудностью был поиск принципиального соответствия между понятиями геологическими, с одной стороны, и физико-математическими - с другой. Для собственно математических преобразований при этом использовался относительно несложный математический аппарат /6,2 и др./. Дальнейшее же развитие такого моделирования натолкнулось на серьезные новые трудности: взятый на вооружение классический аппарат оказался непригодным для решения многих актуальных геохимических задач. Поэтому даже исследователи, пришедшие в геохимию с хорошим знанием этого аппарата, оказались вынужденными ограничиваться выбором

задач только с определенными, доступными для него условиями.

В частности, показательно положение, возникшее в теории наложенных ореолов. С точки зрения поисковой геохимии, прежде всего здесь представляет интерес изучение закономерностей поля концентраций рудообразующего элемента в аллохтоне, при диффузионном поступлении туда этого элемента из растворяющегося рудного тела, выходящего под аллохтон.

В таких условиях около выхода рудного тела с течением времени постепенно уменьшается градиент концентраций, а это, в свою очередь, уменьшает диффузионное поступление рассматриваемого элемента из рудного тела в аллохтон.

Эта задача оказалась слишком сложной для обычного математического аппарата. Поэтому для изучения наложенных ореолов были предложены модели, в которых предполагается, что вещество, образующее ореол, поступает в рыхлые образования из рудного тела без замедления, несмотря на уменьшение градиента концентрации /1,5 и др./.

Несмотря на допускаемое противоречие (диффузионное перемещение вещества с нарушением основного закона диффузии), такие модели с некоторым приближением отразили отдельные важные черты реальных явлений. Но в то же время вполне очевидна настоятельная необходимость расширения возможностей самой методики моделирования. Наиболее радикальным шагом в этом направлении является переход к таким методам, которые наряду с общеизвестными элементарными и табулированными операторами, получившими признанные обозначения, используют также новые операторы, еще не обозначенные специальными символами, не табулированные и потому требующие специального описания. Поскольку это описание означает задние алгоритма вычислений, такие методы, по принятой терминологии, относят к численным (в отличие от "аналитических", использующих только традиционные выражения классической математики).

Известные численные методы, широко применяемые в других отраслях науки, расширяя возможности моделирования, все же оказались трудноприменимыми для решения многих геохимических задач. Это связано с тем, что разработанные способы вычислений предполагают предварительное выражение модели в виде уравнения или системы уравнений, которым одновременно должно удовлетворять получаемое решение. Вывод таких уравнений производится на основании известных исходных физических законов, но может быть весьма сложным. Более того, такие уравнения выражаются через уже известные операторы

ры с традиционными математическими обозначениями, а следовательно, здесь не полностью отсутствуют те ограничения, которые считаются характерными для аналитических методов.

Одним из авторов данной статьи был предложен численный метод, свободный от такого недостатка и потому применимый для решения широкого круга геохимических задач /2,3,4/. Этот метод использует выражения сложных процессов композицией относительно простых ("элементарных") его составляющих, описываемых известными физическими законами. Здесь требуется лишь последовательное применение этих законов без обязательного объединения их в одно уравнение или систему упоминавшегося типа, причем и законы могут быть заданы не в традиционных выражениях, а в любом алгоритмическом виде. Значения изучаемого поля при этом получаются в точках некоторой сети, подобно известному методу сеток. При решении тех задач, для которых применим и обычный метод сеток, предлагаемый метод дает те же результаты с меньшими затратами времени и средств /4/.

Соответственно особенностям использования, этот метод в ранних вышеупомянутых работах назывался по-разному. Вероятно, целесообразнее всего назвать его композиционным методом сеточного моделирования. Если для краткости несколько пренебречь математической строгостью, то основы метода можно описать следующим образом.

Изучаемый объект разбивается на элементарные ячейки — части, имеющие достаточно малые размеры, чтобы можно было с нужной точностью считать линейным изменение любой определяемой для них величины между центрами соседних ячеек. При вычислении взаимодействия между ячейками или влияния на них внешних факторов должно с нужной точностью обеспечиваться также приближенное равенство значений любой определяемой величины в точках одной ячейки значению этой величины в центре ячейки.

Изображение изучаемого объекта совокупностью значений определяемых для него величин (параметров модели) в центрах элементарных ячеек есть сеточная модель предложенного метода. Изменение же совокупности характеризующих ее величин (изменение состояния модели), производимое на основании физических законов взаимодействия между ячейками и влияния на них внеш-

них факторов, естественно и удобно назвать работой модели*.

Изменение любого параметра модели какой-либо операцией за достаточно малый промежуток времени Δt можно производить, считая, что в течение этого промежутка остальные параметры имеют те значения, которые они приобрели к его началу или в результате действия предыдущей операции. Совокупность таких изменений для всех параметров вычисляется единообразно для каждого из промежутков Δt , на которые разбивается время T действия моделируемых процессов. Поэтому все изменения, производимые для i -го промежутка Δt , удобно назвать i -ым циклом работы модели ($\Delta_i t$)

Покажем пример применения этого метода для отображения процесса образования наложенного ореола того типа, который, как упоминалось выше, оказался весьма трудным для классического аналитического метода.

Обозначим: m - элемент, распределение которого в ореоле подлежит изучению; $C_{ж}$ - концентрация m в жидкой фазе аллохтона, где происходит диффузия; $C_{т}$ - концентрация m в твердой фазе аллохтона; t - текущее время; T - продолжительность изучаемого процесса (время работы модели); x - координата по горизонтальной оси, расположенной на поверхности земли вкрест простирания рудного тела; y - координата по вертикальной оси, направленной вниз; начало координат расположим на поверхности земли над центром выхода рудного тела; K - коэффициент поглощения элемента m твердой фазой из жидкой, представляющий собой константу скорости необратимой реакции первого порядка; β - доля объема, занимаемого в рыхлых образованиях порами, полностью заполненных жидкой фазой; $C_{ож}$ - концентрация насыщения жидкой фазы элементом m , поддерживаемая за счет растворения рудного тела на его выходе под

* В известном же методе сеток модель - совокупность значений изучаемой величины в узлах сети, которые можно представить как точки пересечения границ выделяемых нами ячеек. Изменение этих значений производится не непосредственно на основании взаимодействия между ячейками по исходным физическим законам, а путем формальной аппроксимации предварительно получаемого из них дифференциального уравнения конечными разностями (например, второго уравнения Фика).

наносы в течение всего времени T ; h - мощность наносов; D - коэффициент диффузии элемента m в жидкой фазе аллохтона (диффузию в твердой фазе предполагаем не влияющей на макроперемещение m). Выход рудного тела под наносы представим в виде полосы неограниченного простираения и постоянной ширины 2ρ (т.е. ρ - видимая полумощность тела).

Постановка задачи в классическом виде может быть сделана следующим образом.

Величина $C_{ж}$ должна удовлетворять второму уравнению Фика

$$\frac{\partial C_{ж}}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C_{ж}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_{ж}}{\partial y^2} \right) - \alpha C_{ж}$$

при начальном условии

$$C_{ж} \Big|_{\substack{t=0 \\ -\infty < x < \infty \\ 0 < y < h}} = 0$$

(т.е. начальная концентрация в жидкой фазе аллохтона принята за нуль) и граничных условиях

$$\frac{\partial C_{ж}}{\partial y} \Big|_{\substack{-\infty < x < \infty \\ y=0}} = 0$$

(т.е. верхняя граница аллохтона является отражающей: диффузия через нее не происходит),

$$\frac{\partial C_{ж}}{\partial y} \Big|_{\substack{(x < -\rho) \vee (x > \rho) \\ y=h}} = 0$$

(т.е. через нижнюю границу аллохтона, или поверхность коренных пород, по обе стороны от выхода рудного тела, диффузия не происходит),

$$C_{ж} \Big|_{\substack{-\rho < x < \rho \\ y=h}} = C_{ож} = \text{const}(t)$$

(т.е. на выходе рудного тела в жидкой фазе поддерживается концентрация $C_{ож}$, постоянная в течение рассматриваемого времени формирования ореола).

Концентрации в твердой фазе аллохтона в момент T при этом определяются через $C_{ж}$ на основании следующих зависимостей.

Переход элемента m из жидкой фазы в твердую при оговоренных условиях вызывает уменьшение $C_{ж}$ по закону:

$$d_t C_{ж} = -\alpha \cdot C_{ж} \cdot dt \quad (I)$$

Умножая $d_t C_{ж}$ на β и меняя знак, получим количество m , переходящее в твердую фазу в единице объема породы за время dt . Деля этот результат на $1-\beta$ (объем твердой фазы в единице объема породы), получим изменение концентрации в твердой фазе за то же время:

$$d_t C_T = \frac{\beta}{1-\beta} \cdot \varepsilon \cdot d_t C_{ж} \quad (2)$$

Отсюда получаем искомое выражение C_T через $C_{ж}$:

$$C_T(x, y, T) = \frac{\beta}{1-\beta} \cdot \varepsilon \cdot \int_0^T C_{ж}(x, y, t) \cdot dt. \quad (3)$$

Для наглядности иллюстрации работы модели такого процесса вначале представим ее упрощенно, с небольшим числом относительно больших квадратных элементарных ячеек, как показано на рис. I. Длины сторон этих ячеек примем равными 1 усл. ед. (далее обозначения условных единиц как длины, так и других физических величин опускаются). Зададимся для примера $h = 2$; $p = 1$; $D = 0, 1$; $\varepsilon = 0, 1$; $\beta = 0, 5$. Время T будем считать разбитым на циклы продолжительностью $\Delta t = 1$.

Рисунки I, I и I, II показывают исходное состояние модели, соответственно, для жидкой и твердой фаз. Числа в ячейках показывают концентрации элемента m в долях от $C_{ож}$. Для твердой фазы рудного тела концентрация не указана: образование ореола при заданных условиях зависит не непосредственно от нее, а от величины $C_{ож}$, т.е. при заданном значении $C_{ож}$ ореол не зависит от конкретной концентрации в твердой фазе рудного тела.

В качестве первой операции отобразим диффузионный перенос вещества, определяемый первым уравнением Фика:

$$\Delta m = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial n} \cdot dS \cdot dt, \quad (4)$$

где dm — количество элемента m , проходящее за время dt через площадку dS ; n — нормаль к этой площадке.

Заменяя в равенстве (4) дифференциалы на конечные приращения, получим аппроксимирующее его выражение, непосредственно применимое к нашей модели:

$$\Delta m = -D \cdot \frac{\Delta_n C}{\Delta n} \cdot \Delta S \cdot \Delta t \quad (5)$$

Здесь Δm — количество элемента m , переходящее за время Δt через границу двух смежных ячеек модели*; ΔS в трехмерной модели — площадь, а в двумерной — длина этой границы; Δn — расстояние между

* В случаях, где это не приводит к недоразумениям, модельное отображение какой-либо величины называется самой этой величиной: запись значения концентрации в изображении рудного тела называется концентрацией в рудном теле, и т.п.

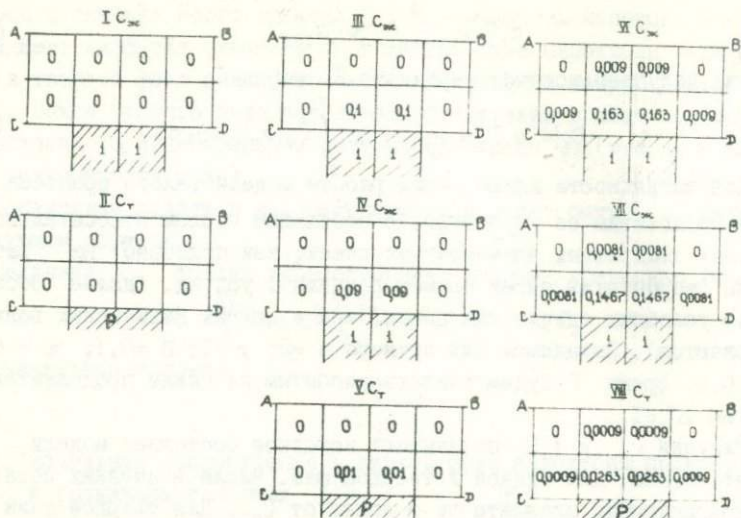


Рис. 1. Иллюстрационная модель наложенного ореола.

AB — верхняя граница рыхлых образований, CD — граница между рыхлыми и коренными породами. Заштрихована верхняя часть рудного тела (P). $h=2$; $p=1$; $D=0,1$; $\alpha=0,1$.
 I — исходное распределение концентраций элемента m в жидкой фазе; II — исходное распределение концентраций элемента m в твердой фазе; III — результат первой операции диффузии; IV и V — результаты первой операции перехода элемента m из жидкой фазы в твердую; VI — результат второй операции диффузии; VII и VIII — результат второй операции перехода элемента m из жидкой фазы в твердую.

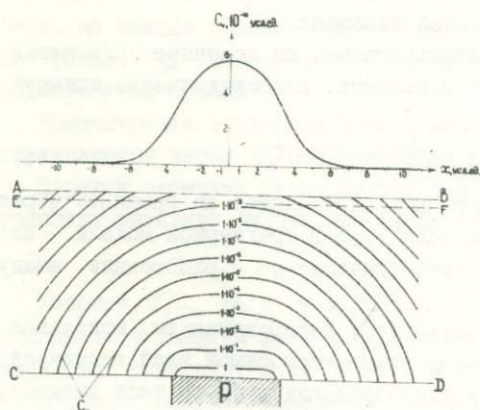


Рис. 2. Результаты моделирования наложенного ореола при $h=10$; $p=3$; $D=0,015$; $\alpha=0,1$; $T=100$.

центрами названных ячеек; $\Delta_n C$ - разность записанных в них концентраций. В рассматриваемом случае ячейки имеют единичные размеры; поэтому величина Δn численно равна соответствующему изменению в них концентраций, определяемых здесь через массу в единице объема.

Применим формулу (5) к каждой границе между ячейками, изображенными на рис. I, I. Поскольку при исходном состоянии модели, отличающемся от нуля концентрации элемента m , имеются только в рудном теле, то изменение концентрации, производимое по формуле (5) в первом цикле, произойдет лишь в ячейках, находящихся непосредственно над выходом этого тела. Подставляя в формулу (5) указанные выше значения входящих в нее величин, получим, что в каждую из названных ячеек перейдет количество элемента m , равное $0, I$. Как указывалось, таким же будет и соответствующее этой операции изменение концентрации в ячейках аллохтона. В рудном же теле, по условию, концентрация элемента остается прежней. Таким образом мы приходим к картине, показанной на рис. I, III.

В качестве следующей операции рассмотрим поглощение - переход элемента m из жидкой фазы в твердую. Для этого воспользуемся аппроксимацией равенства (I) выражением

$$\Delta_t C_{ж} = -\alpha \cdot C_{ж} \cdot \Delta t \quad (6)$$

Применим эту формулу для каждой ячейки аллохтона модели. Тогда при $C_{ж} = 0, I$ и $\alpha = 0, I$ получаем, что в результате операции, описываемой выражением (6), величина $C_{ж}$ должна уменьшиться на $0, 0I$ (т.е. $\Delta_t C_{ж} = -0, 0I$) и стать равной $0, 09$. В результате получаем картину, показанную на рис. I, IV.

Изменение концентрации в твердой фазе получим, аппроксимируя равенство (2) выражением

$$\Delta_t C_T = \frac{\beta}{1 - \beta} \cdot \alpha \cdot \Delta_t C_{ж}$$

Подставляя в него заданные значения β , α и найденное выше значение $\Delta_t C_{ж}$, получим, что в ячейках, находящихся непосредственно над рудным телом, величина $\Delta_t C_T$ возрастает на $0, 0I$. В остальных ячейках C_T не меняется. В результате получим картину, показанную на рис. I, V.

Этим заканчивается первый цикл работы модели. Аналогично вычисляются изменения модели, происходящие за второй цикл ее работы. Для второго цикла исходное состояние отображается рис. I, IV и I, V,

а результаты операций изображены, аналогично результатам операций первого цикла, на рис. I, VI, I, VII и I, VIII.

Действительные модели, согласно сказанному выше, разбиваются на такое достаточно большое число достаточно малых ячеек, чтобы можно было считать линейными изменения любого параметра модели между точками с полученными его значениями. Тогда удобно изображать конечное состояние модели с помощью изолиний — линий равных значений этого параметра. (Для большей точности применяемой при этом интерполяции можно использовать также дополнительные функциональные преобразования). Такие изображения показаны на рис. 2-4.

Представляют интерес также графики концентраций: их форма наглядно отражает некоторые характеристики изучаемых явлений, менее заметно выражающиеся на изолиниях. Кроме того, такие графики относительно легко сопоставимы с графиками концентраций, получаемыми при профильных геохимических съемках. На рис. 2-4 показаны изоконцентраты, описывающие изучаемый ореол в разрезе и графики концентраций на горизонте EF разреза, имитирующем близповерхностный горизонт отбора геохимических проб.

Из рис. 2-4 можно сделать практически важные выводы. В частности, как видно при сопоставлении рисунков 2 и 3, при достаточно большой видимой мощности рудного тела (по сравнению с мощностью перекрывающих его рыхлых образований) на таком графике появляется плато. Оно тем шире, чем больше мощность рудного тела.

Однако, как видно на рис. 4, плато на графике появляется и при достаточно большом времени формирования ореола. Отличие этого случая от предыдущего проявляется лишь в деталях формы графика.

Аналогично изучается влияние других факторов, что позволяет глубже понять наблюдаемые в природе явления и дать соответствующие рекомендации по методике геохимических поисков месторождений.

Л и т е р а т у р а

1. Голубев В.С., Гарибянц А.А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. М., "Недра", 1968.
2. Дубов Р.И. Способ математического моделирования сложных геологических процессов. В сб.: Второе Сибирское совещание по применению математических методов и ЭВМ в геологии и геофизике. Новосибирск, 1967.

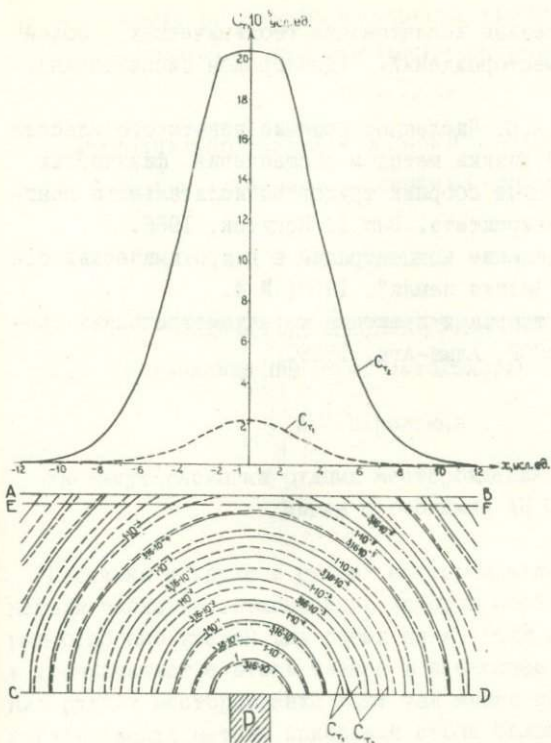


Рис.3. Результаты моделирования наложенного ореола при $h = 10$; $\rho = 10$; $D = 0,015$; $\alpha = 0,1$; $T = 100$.

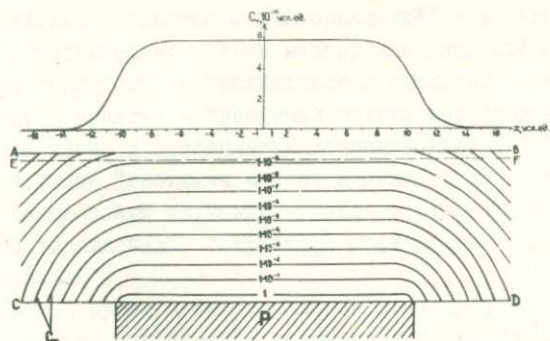


Рис.4 Результаты моделирования наложенного ореола при $h = 10$; $\rho = 1$; $D = 0,05$; $\alpha = 0,05$.
 C_{T_1} - концентрации при $T = 100$; C_{T_2} - концентрации при $T = 300$.

3. Дубов Р.И. Количественные исследования геохимических полей для поисков рудных месторождений. (Докторская диссертация). Иркутск, 1969.
4. Дубов Р.И., Вертлиб А.Б. Численное решение некоторого класса задач математической физики методом расщепления физических причин. - Информационный сборник трудов вычислительного центра Иркутского госуниверситета. Вып. I. Иркутск, 1966.
5. Путиков О.Ф. Распределение концентраций в гидрохимических ореолах. Изв.АН СССР. "Физика земли", 1969, № 4.
6. Соловов А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок. - Изд-во АН КазССР, Алма-Ата, 1959.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГИМ)

Сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ГЕОХИМИЯ ЭКЗОГЕННЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(содержание понятия, методология исследования)

А.И.Перельман

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР

Геохимия и наука о рудных месторождениях принадлежат к тем ветвям геологии, взаимосвязь которых особенно продуктивна, а отрыв особенно вреден для обеих наук. Вряд ли имеется необходимость в доказательстве этого тезиса в настоящее время, когда исследования рудных месторождений дают так много для прогресса геохимии, а геохимические методы приобрели столь большое значение при изучении месторождений.

"Геохимические особенности месторождений" описаны во многих публикациях, посвященных рудным месторождениям. Представляется рациональным совокупность геохимических сведений о месторождениях объединить в понятие - "геохимия рудных месторождений", определить его содержание и методологию исследования.

С наших позиций "геохимия месторождения" должна занять такое же место в комплексном изучении рудного месторождения, как и "минералогия месторождения", "структура месторождения", "гидрогеология месторождения".

Под геохимией рудного месторождения предлагается понимать историю концентрации и рассеяния химических элементов на его территории.

Теоретической основой подобных исследований является учение о миграции химических элементов в земной коре, разработанное в тру-

дах основоположников геохимии В.И.Вернадского, А.Е.Ферсмана, В.М.Гольдшмидта, а также их последователей – наших современников – А.П.Виноградова, Н.М.Страхова, А.А.Саукова, В.В.Шербина, Д.С.Коржинского, Л.Н.Овчинникова, Л.В.Таусона, А.И.Гинзбурга, В.И.Лебедева, А.Б.Ронова, Ф.К.Шипулина и других.

"Геохимия месторождения" включает в себя ряд частных вопросов. Мы постараемся их осветить на примере экзогенных рудных месторождений, хотя не сомневаемся, что некоторые из них имеют более общее значение и могут быть распространены также на эндогенные месторождения (особенно гидротермальные).

В настоящее время наиболее детально охарактеризована геохимия экзогенных эпигенетических месторождений урана, к опыту изучения которых мы и будем обращаться.

Кларки и кларки концентрации. Понятие о кларке, этой, по выражению А.Е.Ферсмана, "новой константе мира" /19/, долгое время не использовалось при изучении рудных месторождений. Вместе с тем кларки и кларки концентрации во многом определяют содержание элементов в рудоносных растворах, способ их осаждения, способность к самостоятельному минералообразованию, число минералов данного элемента и многие другие особенности поведения элементов, важные для образования месторождения /9,13 и др./.

Поэтому при изучении месторождений необходимо учитывать величины кларков рудных элементов и кларки их концентрации. Именно в этих величинах исследователь должен искать причину многих особенностей рудообразования и химического состава руд.

Формы нахождения элементов. Наряду с изучением минеральной формы нахождения элементов важно знать и неминеральные формы. К ним относятся не только изоморфные примеси в минералах, давно уже привлекающие много внимания, но и элементы, адсорбированные глинами и другими коллоидами, входящие в состав органических соединений (углей, битумов) и т.д. Для некоторых типов месторождений неминеральная форма нахождения элементов в рудах является основной. Исключительно характерна эта форма для первичных и вторичных ореолов рассеяния.

Для отдельных элементов желательно рассчитывать "геохимический баланс": относительное значение разных форм нахождения элемента в рудах и ореолах (самостоятельные минеральные виды, изоморфные примеси, адсорбированные ионы, органо-минеральные соединения и

т.д.).

Парагенные ассоциации элементов. Выявление парагенной ассоциации элементов, характерной для данного минерала, руды, месторождения, рудного пояса (провинции), составляет одну из важнейших задач геохимии. Недостаточный анализ этого вопроса приводит к недоразведке месторождений, неполному извлечению элементов из руд. Известно, что нередко ценные компоненты руд – парагенные элементы – идут в отвал. Массовый характер современных анализов, а также существующий математический аппарат позволяют ставить вопрос о строго количественных критериях парагенности. Для сингенетических месторождений легко устанавливается фоновое содержание элементов, отвечающее их содержанию в рудовмещающих породах. Так как содержание элементов в породах непостоянно, то в зависимости от типа распределения, чаще всего нормального или логнормального, можно определить в соответствии с законами статистики границы фона: например, $M \pm 3\epsilon$ – для нормального распределения, где M – среднее арифметическое или мода, а ϵ – среднее квадратичное отклонение. Если содержание элемента в данном природном теле (минерале, горной породе и т.д.) превышает $M + 3\epsilon$, то элемент концентрируется, а если меньше этой величины – то рассеивается. Рассеивающиеся элементы можно именовать также запрещенными для данного месторождения, а концентрирующиеся – парагенными.

Таким образом, понятие парагенной ассоциации элементов приобретает количественное содержание. Не все парагенные ассоциации элементов в рудах данного месторождения представляют практический интерес, но они все должны быть установлены (во избежание пропуска полезных элементов).

Вопрос о критериях парагенности еще подлежит уточнению ($M + 2\epsilon?$ и т.д.), но возможность использования статистических параметров с этой целью несомненна. Сложнее установить количественные критерии парагенности для эпигенетических месторождений, т.к. здесь фоном элемента не может служить его содержание во вмещающих породах. Вероятно, в этом случае следует использовать величины кларка литосферы и параметры распределения элемента для большой группы горных пород.

Представляется рациональным различать 4 рода парагенных ассоциаций элементов.

Парагенные ассоциации I рода – в минералах. Их примером могут служить ассоциации Fe, S, As, Se, Ag, Cd и других халько-

фильных элементов в пиритах.

Парагенные ассоциации II рода – в рудах и горных породах. В этом случае парагенные элементы образуют самостоятельные минералы или находятся в неминеральной форме. Сюда относятся и геохимические аномалии в ореолах рассеяния. Поэтому огромный материал по геохимическим аномалиям (сотни миллионов определений элементов), накопленный при металлометрических съемках, содержит ценнейшие сведения для развития учения о парагенезисе. До сих пор эти данные были слабо освоены геохимией – их обобщение составляет одну из наиболее актуальных задач этой науки.

Парагенные ассоциации элементов III рода – в рудах, месторождениях, корах выветривания, водоносных горизонтах, осадочных формациях, почвах и т.д. Химические элементы иногда не концентрируются совместно в рудах, породах, геохимических аномалиях, но ассоциируются в данном геологическом теле, образуя самостоятельные рудные тела, породы (в пределах формации), горизонты (в почве или коре выветривания) и т.д.

Так, например, в некоторых экзогенных эпигенетических урановых месторождениях встречаются самостоятельные урановые, селеновые и молибденовые рудные тела. Руды в данном случае не содержат парагенных ассоциаций этих элементов, но месторождение в целом содержит.

Парагенные ассоциации элементов IV рода – в рудных поясах, провинциях, артезианских бассейнах и других единицах геохимического районирования. Это еще более высокий уровень парагенности элементов, которая проявляется в масштабе целых геохимических провинций, поясов, зон и т.д. Так, например, артезианский бассейн представляет собой не только единицу гидрогеологического районирования, но и геохимическое территориальное обособление. Для некоторых типов бассейнов характерно закономерное размещение урановых и серных месторождений. Первые, как показал А.К.Лисицин, приурочены к приподнятым крыльям бассейнов, а вторые к опущенным – областям разгрузки вод /1/.

Типы геохимических процессов (обстановок) месторождения. Условия миграции элементов в пределах месторождения, как правило, не одинаковы, что позволяет выделять в пределах месторождения отдельные части – геохимические системы. В экзогенных месторождениях с их сравнительно небольшими колебаниями давления и температуры основными параметрами таких систем служат окислительно-восста-

новительные и щелочно-кислотные условия, ионный состав вод и некоторые другие данные. Эти параметры определяют классы геохимической обстановки — сернокислой, кислой окислительной, содовой окислительной, кислой глеевой, карбонатной глеевой, содовой, сероводородной и других.

Число основных геохимических обстановок близко к 20 /10/. Следует различать современные и древние геохимические обстановки.

Современные геохимические обстановки определяют миграцию элементов в тех месторождениях, которые образуются или разрушаются в настоящее время. При их изучении огромное значение приобретает гидрогеохимические исследования, которые обязательно должны проводиться сопряженно с минералого-лито-геохимическими. Только такой единый комплекс позволит понять, как образуются и разрушаются рудные минералы. До сих пор, как правило, гидрогеологи и гидрогеохимики работают в отрыве от литолога, минералого, геохимика. Это ненормальное положение не позволяет использовать все возможности обоих методов. Современные геохимические процессы на месторождениях обязательно должны изучаться минералого-геохимическими и гидрогеохимическими методами в тесной увязке. Такая увязка позволила разобраться в генезисе некоторых экзогенных урановых месторождений. Результаты исследований изображают на картах и профилях, на которых показаны классы геохимических обстановок в породах и состав вод /1/.

Большинство рудных месторождений представляет собой трехфазную систему: кроме твердой и жидкой, они содержат и газообразную фазу. Газы играют огромную роль в образовании и разрушении месторождений, особенно это относится к таким типоморфным газам как кислород, углекислый газ, сероводород, углеводороды.

Изучение современной геохимической обстановки месторождений обязательно должно включать газовый анализ. Эти исследования, с одной стороны, приблизят к решению генетических вопросов, а с другой — позволят внедрить в практику весьма перспективные геохимические (газовые) методы поисков рудных месторождений (А.А. Сауков, В.З. Фурсов, Н.И. Сафронов, М.М. Элинсон и др.).

Во многих рудных месторождениях содержатся органические вещества (хотя бы рассеянные), сульфиды и другие соединения, которые служат источником энергии для микроорганизмов. Поэтому воды экзогенных рудных месторождений часто являются ареной деятельности микроорганизмов, выполняющих важные геохимические функции. Многие

реакции, ранее считавшиеся чисто химическими, в действительности являются биогеохимическими, их механизм связан с деятельностью бактерий. Это в значительной степени относится к процессам окисления сульфидов, образованию серных руд, осаждению сульфидов металлов на восстановительном барьере и т.д.

Поэтому изучение современной геохимической обстановки месторождений должно включать в себя анализ органического вещества и микробиологические исследования.

Изучение геохимической обстановки на месторождениях распространяется не только на рудное тело, но и на первичные и вторичные ореолы, а для сравнения и на вмещающие породы. Поэтому необходимо изучать геохимический ландшафт на участке рудного месторождения: его почвы, коры выветривания, континентальные отложения, растения, воды, атмосферу. Это позволит расшифровать условия формирования вторичных ореолов и наметить рациональный комплекс геохимических методов поисков месторождений (биогеохимический, литохимический и т.д.).

Отработка месторождения коренным образом изменяет его естественную геохимическую обстановку. На участке рудного поля создается искусственная геохимическая обстановка со своеобразными условиями миграции химических элементов. Так, при отработке сульфидных руд к ним в большом количестве поступает кислород воздуха, в шахтных водах появляется серная кислота, которая разъедает металлические предметы, а при водоотливе уничтожает растительность в районе рудника. Сернокислые воды растворяют многие металлы, с чем связана потеря части запасов на месторождениях.

Одним из наиболее рациональных способов добычи руд является подземное выщелачивание. Эта прогрессивная технология также приводит к резкому изменению геохимической обстановки на месторождении.

Искусственная геохимическая обстановка на месторождении должна стать объектом специального исследования, составлять предмет "рудничной геохимии". Рудничный геохимик должен следить за оптимальным геохимическим режимом отработки, предотвращать нежелательные последствия (кислый водоотлив шахт и др.), обеспечивать охрану природы в районе рудника и здоровье людей (исключать из водоснабжения воды с повышенным содержанием металлов, предотвращать распыление рудных отвалов и т.д.).

Древние геохимические обстановки. На большинстве месторождений

образования руд в настоящее время не происходит. Изучая минеральные ассоциации в породах и рудах, газово-жидкие включения в минералах, химический состав пород и руд, можно восстановить классы былых геохимических обстановок. Эта задача значительно более трудная, чем изучение современных процессов, т.к. в прошлом, как правило, имело место неоднократное наложение одних процессов на другие. Все же, используя различные критерии, как геохимические, так и геологические, можно восстановить те геохимические обстановки, которые были характерны для разных этапов формирования месторождения.

Геохимические барьеры. Участки, на которых происходит резкое уменьшение интенсивности миграции элементов и, как следствие, их концентрация, получили наименование геохимических барьеров. Рудные тела многих месторождений приурочены к таким барьерам. Понятие "барьер" включает в себя представление не об определенной устойчивой геохимической обстановке (процессе), а об ее изменении. Барьер это то место, где один процесс (обстановка) резко сменяется другим. Геохимические барьеры представляют собой самостоятельный и очень важный объект исследования. В основу систематики барьеров могут быть положены те процессы, которые приводят к концентрации элементов. Различают кислородные, восстановительные, сероводородные, глеевые, щелочные и прочие барьеры /9/.

Теория геохимических барьеров делает только первые шаги. Она должна разрабатываться как самостоятельный раздел общей геохимии и геохимии рудных месторождений. Концентрации элементов на месторождениях - руды, рудные минералы и т.д. следует рассматривать как проявление определенных барьеров и анализировать их с этих позиций.

Лучше всего изучен восстановительный сероводородный барьер, на котором концентрируются сульфиды многих металлов, уран, селен и другие элементы.

Геохимические барьеры характерны как для сингенетических, так и для эпигенетических месторождений. В разных частях одного и того же месторождения могут быть проявлены разные барьеры, возможно их совмещение и в одном месте.

Геохимические барьеры возникают не только при образовании месторождений, но и в ходе их разрушения, формирования ореолов. К таким барьерам часто приурочены вторичные геохимические аномалии, являющиеся важным прямым поисковым признаком месторождений. Как

и для геохимических обстановок, можно различать древние и современные барьеры.

Геохимическая зональность месторождений. Геохимические обстановки и барьеры в пределах месторождения образуют закономерный ряд, который для сингенетических месторождений может быть назван геохимической фациальной зональностью (ряд геохимических фаций, включающих "рудную фацию"), а для эпигенетических месторождений - "эпигенетической геохимической зональностью", включающей "рудную зону".

Установление геохимической зональности месторождения (фациальной или эпигенетической) является одной из важных задач геохимии месторождений. Анализ зональности необходим для выяснения генезиса месторождений, для более эффективной организации поисковых работ. Нередко на одном и том же месторождении развито несколько зональностей, накладывающихся друг на друга.

Первичные и вторичные ореолы рассеяния. Эти ореолы служат самостоятельными объектами исследования при изучении геохимии месторождений. Обычно говорят об ореолах конкретных элементов - меди, свинца, молибдена и т.д. Геохимическая характеристика ореола данного элемента включает в себя те показатели, которые были приведены выше: кларк концентрации, форма нахождения, парагенные ассоциации, геохимические барьеры, зональность и т.д. Изучению ореолов уделяется большое внимание в прикладной геохимии, для их характеристики используется ряд количественных параметров (труды Н.И.Сафронова, А.П.Соловова, Р.И.Дубова, Ю.В.Шаркова, В.В.Поликарпочкина, С.В.Григоряна, Г.И.Россмана и др.).

Исследование ореолов должно проводиться на общегеохимическом фоне, т.е. с учетом современной и древней геохимических обстановок. Сопоставление ореола данного элемента с геохимической зональностью месторождения позволяет установить причины формирования ореолов.

Важную информацию несут не только "ореолы собственно", но и такие участки, в которых рудный процесс привел к выносу элементов - резкому уменьшению их содержания. Подобные "отрицательные ореолы" мы предлагаем именовать зонами выщелачивания. Они также должны стать предметами систематического геохимического исследования, использоваться на практике в качестве самостоятельного поискового признака.

Историческая геохимия месторождений и рудных провинций (арте-

зианских бассейнов, поясов и т.д.). Формирование рудных месторождений – длительный процесс, продолжающийся нередко миллионы лет. Вместе с тем основные факторы экзогенных процессов – климат и тектоника – нередко изменяются быстрее. Хорошо известно, например, какие крупные климатические и тектонические изменения произошли во многих районах земного шара за четвертичный период, продолжавшийся немногим более 1 миллиона лет. Поэтому геохимическая обстановка в ходе формирования месторождения не остается, как правило, постоянной. Под исторической геохимией месторождения* мы понимаем историю миграции и концентрации химических элементов на месторождении за время его геологического развития. Каждый этап геологического развития месторождения должен получить геохимическую характеристику, а геохимические черты месторождения – обоснование в его геологической истории. При историко-геохимическом анализе необходимо изучить эволюцию основных геологических факторов и дать им геохимическую интерпретацию. К числу таких факторов относятся климат и тектоника, производными от которых являются рельеф, палеогеогеологические и литолого-фациальные условия. Огромное значение имеет возраст изучаемых процессов в связи с необратимой эволюцией Земли и жизни. Так, иные окислительно-восстановительные условия в докембрии определили и иные условия экзогенного рудообразования в то время.

Геохимическое изучение месторождения позволяет установить различные этапы его развития, например смену восстановительных процессов окислительными, кислых – щелочными и т.д. Однако эти процессы "повисают в воздухе", если они не увязаны с конкретными этапами геологической истории. Для восстановления исторической геохимии месторождения необходимо осмысливание с геохимических позиций данных структурного анализа, геоморфологии, палеогеографии, исторической геологии.

Сложная история геохимического развития приводит к наложению парагенных ассоциаций разных этапов друг на друга. Так, например, при формировании некоторых урановых месторождений с начальным восстановительным этапом связано накопление ванадия, кобальта,

* Понятие об "исторической геохимии" (аналогично "исторической геологии") было предложено А.А.Сауковым для раздела общей геохимии, изучающей эволюцию факторов миграции химических элементов в ходе геологической истории.

никаля, битумов. В последующем, окислительном, этапе накапливается уран. В результате формируются урано-ванадиевые или урано-битумные руды (парагенная ассоциация II рода), а в зоне окисления и уранованадаты (парагенная ассоциация I рода).

В "историческую геохимию месторождения" мы включаем также историю разрушения месторождения, историю образования вторичных ореолов рассеяния. Приблизительно 50% территории рудных районов СССР характеризуются длительной и сложной геохимической историей ландшафтов. Формирование ореолов рассеяния во многих из них началось сотни миллионов лет назад.

В этих районах геохимические поиски обязательно должны учитывать геохимическую историю разрушения месторождений. Эта история — теоретическая основа методики поисков по вторичным ореолам.

Проблема генезиса месторождений и геохимические основы прогнозирования. В теоретическом отношении итогом исследования месторождения является выяснение его генезиса. Это — комплексная проблема, в решении которой участвуют все геологические науки, в том числе и геохимия.

Важнейшая практическая задача геохимических исследований заключается в установлении поисковых признаков, т.е. геохимик должен сказать, где следует искать месторождение. Особенно важно установить поисковые признаки для месторождений, не имеющих выхода на земную поверхность. Поиски таких месторождений, как известно, составляют одну из основных задач геологической службы СССР. Весьма удачный пример прогнозирования на геохимической основе представляет собой опыт изучения и поисков экзогенных эпигенетических месторождений урана. В СССР была разработана эпигенетическая теория генезиса руд, на основе которой были обнаружены урановые месторождения, не имеющие выхода на поверхность. Именно этот практический результат явился окончательным подтверждением правильности данной теории. Обобщив большой материал производственных и научных организаций, Е.А. Головин и Е.М. Шмаринович в 1961 году сформулировали последовательность анализа геологического и геохимического материала при прогнозировании данных месторождений /1/.

Геохимические основы методики поисков. Геохимические исследования не только должны ответить на вопрос, где искать месторождения, но и дать рекомендацию, как их надо искать. Здесь главное значение приобретают геохимические методы поисков по первичным и

вторичным ореолам. Данные о геохимических обстановках, парагенных ассоциациях, геохимических барьерах, исторической геохимии позволяют выяснить условия образования ореолов, объяснить их размеры, форму, интенсивность, контрастность и т.д. На этой основе выбирается рациональная методика геохимических поисков: использование в одном районе поверхностной металлометрии, в другом – глубинной металлометрии, в третьем – биогеохимических поисков, в четвертом – сочетание этих методов, в пятом – гидрогеохимических поисков и т.д. Для решения данного вопроса проводится районирование территории по условиям поисков на основе геохимии ландшафта. Соответствующие ландшафтно-геохимические карты составляются в масштабе от 1:50 000 и мельче (1:200000, 1:500000, 1:1500000). Ныне они составляются во многих геологических управлениях и экспедициях в Казахстане, Бурятии, Армении, Узбекистане и т.д. Большое внимание данному вопросу было уделено на I тематической сессии Межведомственного совета по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых", состоявшейся в феврале 1969 г. в Алма-Ате.

При оценке поверхностных геохимических аномалий также используется геохимия ландшафта, но здесь масштаб ландшафтно-геохимических карт значительно крупнее – 1:10000 – 1:5000.

При глубинных поисках для выявления и оценки аномалий применяется геохимия эпигенетических процессов.

Геохимические исследования не только позволяют наметить рациональный комплекс поисковых методов, но и дифференцировать каждый метод в зависимости от ландшафтно-геохимических условий района, установить представительный горизонт опробования, представительную фракцию опробования и т.д.

Заключение. Итак, содержание "геохимии месторождения" составляет следующий комплекс вопросов: I) кларки концентрации элементов на месторождении; 2) формы нахождения элементов; 3) парагенные ассоциации элементов I (в минералах), II (в породах, рудах), III (в месторождениях) и IV (в рудных поясах) родов. Генезис этих ассоциаций; 4) современные и древние геохимические обстановки; 5) геохимические барьеры; 6) геохимическая зональность; 7) первичные и вторичные ореолы рассеяния; 8) историческая геохимия месторождений и рудных провинций; 9) геохимические аспекты генезиса и основы прогнозирования; 10) геохимические методы поисков.

Может создаться впечатление, что в этом перечне не нашли отражения такие традиционные для геохимии вопросы как форма переноса рудных элементов, условия их отложения, источник металлов. Однако не трудно убедиться, что первый вопрос относится к 4 разделу - "геохимические обстановки", а второй - к 5 - "геохимические барьеры". Что касается проблемы "источника металла", то в случае местного источника вопрос излагается в разделе 7 на основе данных, сообщенных во многих разделах, а в случае экзогенного источника (чаще всего!) - геохимическое изучение месторождения, как правило, не может дать однозначного ответа. Здесь необходимы региональные исследования, в том числе и геохимические - изучение геохимии рудных провинций (раздел 6).

В заключение следует еще раз отметить, что геохимическое изучение месторождений должно проводиться в тесном контакте с другими геологическими дисциплинами, т.е. на широком общем геологическом фоне. Только такой подход способен привести к результатам высокой научной и практической ценности.

Л и т е р а т у р а

1. Батулин С.Г. и др. Экзогенные эпигенетические месторождения урана. - Атомиздат, 1965.
2. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. I-V. М., Изд. АН СССР, 1954-1960.
3. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры. - Геохимия, 1962, № 7.
4. Геохимия осадочных пород и руд. - М., "Наука", 1968.
5. Гуревич М.Г., Кац Г.В., Овчинников И.М., Сауков А.А. Материалы к геохимической характеристике природных газов рудных месторождений Кавказа. - Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 46, М., 1963.
6. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. М., "Наука", 1968.
7. Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликова Н.Н. Введение в геологическую микробиологию. М., Изд. АН СССР, 1960.
8. Литохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния. - Алма-Ата, 1968.
9. Перельман А.И. и др. Гипергенные эпигенетические изменения в осадочных породах и их роль в рудообразовании. - В кн.: Гео-

- химия осадочных пород и руд. М., "Наука", 1968.
10. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М., "Высшая школа", 1961; 2-е изд. "Недра", 1965; 3-е изд. "Недра", 1968.
 11. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М., Географгиз, 1961.
 12. Разумовский Н.К. Логарифмически нормальный закон распределения вещества и его свойства. - Зап.Ленингр.Горного ин-та, т.ХХ. Л., 1948.
 13. Сауков А.А. О причинах ограниченности числа минералов. - В кн.: Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. М., Изд. АН СССР, 1946.
 14. Сауков А.А. Геохимия. М., "Наука", 1966.
 15. Сафронов Н.И. Основные термодинамические закономерности при изучении энергии рудообразования. - Зап.Ленингр.Горного ин-та, т.51, вып.2, 1966.
 16. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М., "Недра", 1969.
 17. Соловов А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, 1959.
 18. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т.1-3. Изд.АН СССР, 1960-1963.
 19. Ферсман А.Е. Химия земли на новых путях. М., Изд.МОИП, 1944.
 20. Ферсман А.Е. Геохимия. Т.1 - 1933, т.2 - 1934, т.3 - 1937, т.4 - 1939.
 21. Шарков Ю.В. О необходимости учета при металлометрических поисках истории развития вторичных ореолов рассеяния. - В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.

Июль 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ
КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Э.Н.Баранов

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких
элементов

"... В понимании процесса образования рудного тела... измененные породы имеют такое же значение, как и само рудное тело и, пожалуй, даже большее..." писал С.С.Смирнов еще в 1947 г. Этот вывод полностью приложим к первичным геохимическим ореолам, представляющим собой, как подчеркнули в докладе Л.Н.Овчинников и С.В.Григорян, генетически единые с рудными телами образования. В докладах, заслушанных на данном симпозиуме, нашла свое отражение наметившаяся в последние годы эволюция представлений о первичных геохимических ореолах рудных месторождений. Сейчас стало уже очевидным, что ореол, представляющий собой зону вмещающих пород, обогащенную рудными элементами и окружающую рудное тело - эпицентр ореола, является лишь частным случаем и не отражает всего многообразия первичных ореолов и их соотношений с рудными телами. Ярким примером последнего являются первичные геохимические ореолы колчеданных месторождений. Их обобщающая характеристика на материалах изучения ореолов более 30 колчеданных месторождений Урала, Рудного Алтая и Кавказа приведена в статье Л.Н.Овчинникова и Э.Н.Баранова /2/. Это позволяет ниже остановиться в связи с обсуждаемыми на симпозиуме вопросами лишь на некоторых особенностях строения и состава этих ореолов.

Важным параметром ореолов является их морфология, которая оп-

ределяется структурой месторождения, в особенности положением зон повышенной проницаемости, экранов и может существенно отличаться от морфологии рудных тел. В зависимости от геологоструктурных условий локализации ореолов выделяются следующие структурно-морфологические типы первичных ореолов колчеданных месторождений: 1) ореолы в пологозалегающих (обычно согласных), 2) ореолы в крутопадающих и 3) ореолы в комбинированных структурах; в зависимости от проницаемости надрудных толщ пород - а) сквозные (открытые) и б) экранированные (закрытые) ореолы (рис. 1). Представляется, что подобная структурно-морфологическая группировка первичных ореолов необходима, в целом, для рудных месторождений, так как структурно-морфологический тип ореола определяет особенности проявления зонального строения ореолов, его протяженность над рудными телами, что имеет первостепенное значение при поисках скрытого оруденения. Без знания возможного структурно-морфологического типа ореола практически невозможно дать надежную оценку его в отношении скрытого оруденения.

Размеры ореолов колчеданных месторождений в плане определяются в основном размерами рудовмещающих структур (вулканокупольных построек, структурных блоков, ограниченных крутопадающими нарушениями, зон расщепления и т.д.), достигая сотен метров в ширину и сотен метров - километров по простиранию. Полного выклинивания ореолов колчеданных месторождений по вертикали - по падению и восстанию не наблюдалось. Ореолы прослеживаются как в наиболее глубоко вскрытых подрудных сечениях, в 300-500 м ниже рудных тел (Красногвардейское, Гайское, Маднеульское месторождения), так и на расстоянии до 300 и более метров над скрытыми рудными телами. "Истинно скрытых" месторождений, первичные ореолы которых не достигали бы уровня современной или древней эрозионной поверхности, среди изученных нами месторождений пока не встречено. Максимальная протяженность ореолов над рудными телами - более 1 км - зафиксирована на северном фланге Гайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал). Особенности проявления ореолов над рудными телами определяются проницаемостью надрудных толщ пород: широко и интенсивно, охватывая значительные по объему блоки пород, развиваются сквозные ореолы, тогда как в условиях экранированных структур ореолы выше рудных тел развиваются в виде узких зон вдоль крутопадающих разрывных нарушений. Для подрудных зон, как правило, характерно более широкое

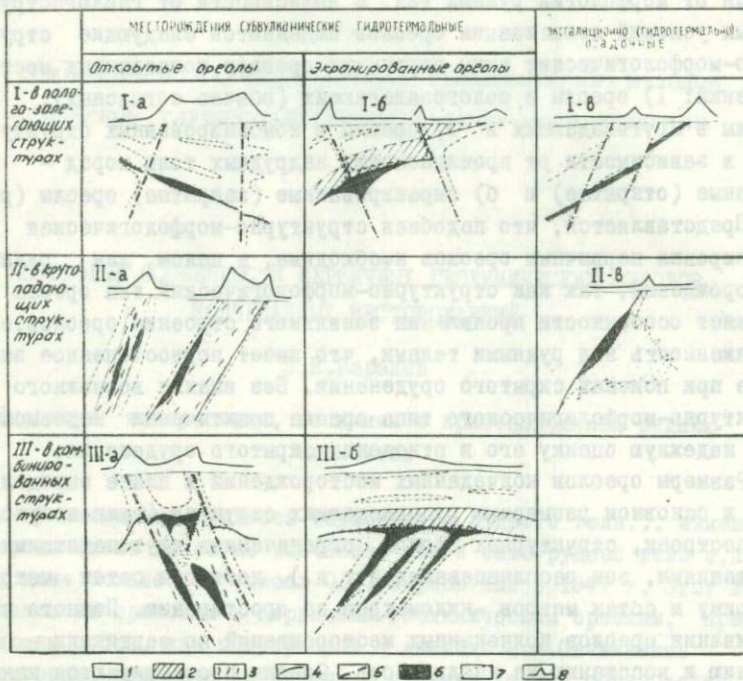


Рис. I. Структурно-морфологические типы первичных геохимических ореолов колчеданных месторождений:

I - рудомещающие породы, 2 - структурно-литологические экраны, 3 - расланцованные породы, 4 - контакты пород, благоприятные для локализации рудных тел, 5 - разрывные нарушения, 6 - рудные тела, 7 - ореолы, 8 - графики распределения элементов на уровне эрозионной поверхности.

и интенсивное развитие ореолов, чем для надрудных. Состав ореолов по вертикали при этом закономерно изменяется в соответствии с их зональным строением.

Общая вертикальная протяженность ореолов колчеданных месторождений, включая интервал локализации рудных тел, превышает 1 км, достигая 2,5 км (Гайское месторождение). Отсюда очевидно, что только изучение первичных геохимических ореолов рудных месторождений позволяет приблизиться к реконструкции рудообразующих термогидроколонн, в которых локальные участки рудоотложения обычно фиксируют положение геохимических барьеров, не отражая общей картины миграции элементов.

Ореолам колчеданных месторождений, как и ореолам других сульфидных месторождений, свойственна контрастная вертикальная зональность, которая в принципе однотипна для всех изученных месторождений и может быть представлена следующим обобщенным зональным рядом элементов (по абсолютному или относительному накоплению элементов в тех или иных зонах в вертикальном разрезе снизу вверх): $\text{Sn} - \text{Mo}$, $(\text{Ba}) - \text{Co}$, Ni , $\text{As}_1 - \text{Bi} - \text{Cu}_1$, $\text{Au}_1 - (\text{Mo}) - \text{Zn} - \text{Cd} - \text{Pb} - \text{Ag}$, $\text{Ge} - \text{As}_2$, (Cu_2) , $\text{Au}_2 - \text{Ba} - \text{Hg} - \text{I}$. В ряду подчеркнуты основные элементы-индикаторы колчеданных месторождений, в скобках выделено второстепенное (нехарактерное для ореолов колчеданных месторождений) положение отдельных элементов индикаторов в зональном ряду. Этот ряд элементов получен путем статистического обобщения данных по рядам вертикальной зональности элементов в ореолах 31 колчеданного месторождения Кавказа, Урала и Рудного Алтая. Такие ряды элементов отражают прежде всего относительное накопление одних элементов по сравнению с другими в тех или иных зонах ореолов и выводятся по различию величин градиентов их концентраций в тех или иных направлениях (в данном случае по вертикали) путем изучения двух-трех и более сечений ореолов. Реже зональное распределение элементов определяется по пространственному разобщению максимумов концентраций различных элементов в вертикальных разрезах.

Выведенный для ореолов колчеданных месторождений обобщенный ряд вертикальной зональности в принципе совпадает с таким, установленным Л.Н.Овчинниковым и С.В.Григорьяном. Это может рассматриваться как еще одно объективное доказательство универсального характера зональности ореолов гидротермальных рудных месторождений. Именно в этой универсальной закономерности строения

первичных геохимических ореолов следует видеть одну из научных основ геохимических методов поисков скрытых рудных месторождений.

Двойственное положение некоторых элементов в зональном ряду обусловлено наличием нескольких минеральных форм их нахождения в ореолах Cu_1 (халькопирит) и As_1 (примеси в пирите, арсенопирит) характерны для ореолов медноколчеданных месторождений, а Cu_2 (борнит, халькозин, блеклые руды) и As_2 (блеклые руды) — для ореолов полиметаллических и барит-полиметаллических месторождений. По-видимому, аналогичное положение имеем с молибденом и барием. Накопление молибдена в верхних зонах ореола зафиксировано на Маднеульском медноколчеданном месторождении (Грузия). В результате фазового анализа проб из ореолов на молибден было установлено, что "надрудный" молибден представлен в основном окисленными формами (ковеллит, молибденовые охры), причем возможность их экзогенного происхождения исключается, в пробах присутствует свежий, не затронутый процессами окисления пирит, тогда как основной формой нахождения молибдена в ореолах является сульфидная (примеси в пирите, молибденит). Типичными формами нахождения бария в ореолах являются барит, примеси в карбонатах, тогда как есть основания "нижний" максимум бария, обычно тяготеющий к подрудным зонам кварц-серицитовых пород, связывать с накоплением бария в серицитах.

Закономерности проявления горизонтальной зональности в ореолах колчеданных месторождений менее универсальны. Они зависят от структурно-морфологического типа ореолов и, по-видимому, от глубины их формирования. Поперечная горизонтальная зональность ореолов в крутопадающих зонах расланцевания — от внутренних зон к внешним — в принципе аналогична вертикальной. Горизонтальная зональность ореолов в пологопадающих структурах обычно обусловлена различной удаленностью ореолов отдельных элементов, относительным смещением их максимумов в стороны от секущих крутопадающих нарушений, являвшихся рудоподводящими или рудоограничивающими структурами. В одних случаях, обычно в ореолах месторождений средних глубин, ряд горизонтальной зональности (в сторону от крутопадающих нарушений) соответствует таковому для вертикальной зональности, в других, на близповерхностных месторождениях — имеет обратный порядок распределения элементов.

Зональность ореолов получает свое количественное выражение в изменении величин отношений продуктивностей ореолов или средних

содержаний контрастных пар элементов-индикаторов (Pb/Cu, Ba/Cu и др.). Устойчивым количественным показателем зонального строения ореолов колчеданных месторождений зарекомендовал себя коэффициент зональности (K_3), представляющий собой отношение нормированной по геохимическому фону суммы содержаний надрудных элементов-индикаторов (обычно свинца и цинка) к сумме содержаний подрудных элементов-индикаторов (обычно меди и кобальта).

$$K_3 = \frac{K_a^{Pb} + K_a^{Zn}}{K_a^{Cu} + K_a^{Co}}, \quad \text{где} \quad K_a = \frac{C_a}{C_f}$$

Величина K_3 , как показали определения его в ореолах многих колчеданных месторождений, закономерно изменяется от 0,01 в нижних зонах ореолов до $n \cdot 10 - n \cdot 100$ в верхних и является надежным показателем уровня пересечения ореола. $K_3 > 2$ характерен для надрудных зон ореолов, $K_3 < 0,5$ - для подрудных (таблица).

Рассматривая зональность ореолов, необходимо всегда иметь в виду, что особенности проявления зональности ореолов (степень пространственной дифференциации элементов в ореоле, полнота проявления зональности, протяженность зональных колонн ореолов и др.) в условиях конкретных месторождений зависят от многих факторов (типа месторождений, структурно-морфологического типа ореолов и т.д.) и поэтому весьма разнообразны. Необходимо различать дифференцированные зональные колонны ореолов, в которых уровни максимальных концентраций различных элементов пространственно разобщены, не совпадают, и совмещенные зональные колонны ореолов, в которых максимумы концентраций совмещены (обычно в рудном теле) и зональность которых устанавливается по количественным показателям. Зональность ореолов в полном виде - от молибденово-кобальтовых до свинцово-бариевых зон - обычно наблюдается на медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождениях, тогда как на серноколчеданных месторождениях широко проявлены ореолы кобальта и молибдена при слабом проявлении или отсутствии свинцово-бариевых зон, а в ореолах полиметаллических и барит-полиметаллических месторождений устанавливается обратная картина: широкое и интенсивное развитие ореолов цинка, свинца, серебра и бария при редуцированном проявлении в подрудных зонах ореолов кобальта и молибдена. Это находит свое отражение в соответствующих величинах K_3 в надрудных и подрудных зонах ореолов различных типов колчеданных месторождений (таблица).

Основные особенности состава первичных геохимических ореолов колчеданных месторождений

	М е с т о р о ж д е н и я			
	Серноколчедан- ные	Медноколчеданные	Колчеданно-полиме- таллические и по- лиметаллические	Барит-полиме- таллические
Типоморфные ассоциации элементов-индикаторов	Co, Mo	Cu, Zn, Mo, Co	Zn, Pb, Cu	Ba, Pb, Zn, Ag
Элементы- индикаторы	<u>Cu, Zn, Pb</u> Mo	<u>Zn, Pb, Ba</u> Mo, Co, Bi	<u>Zn, Pb, Ag, Ba</u> Mo, Co, Cu, Bi	<u>Pb, Ag, Cd, Ba</u> Mo, Co, Cu, Bi, As
K_3 надрудных подрудных зон	$\frac{0,2 - 2}{0,01-0,2}$	$\frac{0,5 - 10}{0,05-0,2}$	$\frac{2 - 10}{0,1-0,5}$	$\frac{2 - 100}{0,3-2}$
Примеры	Андреевское, Зюзельское, Са- бановское (Урал)	Маднеульское, Шам- дугское (Кавказ); Красногвардейское Заводское, им. Ш Интернационала, Озерное, Молодеж- ное, Гайское (Урал)	Александринское, Джусинское (Урал); Золотухинское, Ле- ниногорское, Ор- ловское (Рудный Алтай)	Ахталское (Кав- каз); Заречное, Петровское (Руд- ный Алтай)

Вертикальная протяженность зональных ореолов - от нижних молибденово-кобальтовых до верхних свинцово-бариевых зон - варьирует в значительных пределах. Это определяется в первую очередь структурными условиями: в пологопадающих структурах зональность ореолов в полном виде обычно проявлена в интервале первых сотен метров, а в крутопадающих - на расстоянии свыше 500 м. Реже зональные колонны ореолов различной протяженности проявляются в сходной структурно-литологической обстановке. Все это обуславливает необходимость выделения сжатых колонн ореолов - с общей протяженностью первые сотни метров, в пределах которых различные типы руд обычно пространственно совмещены в одних рудных телах, и растянутых колонн ореолов - протяженностью до I км и более, в которых руды различного состава могут быть пространственно разобщены и образовывать отдельные рудные тела и даже месторождения. Количественным показателем сжатости или растянутости зональных колонн ореолов является градиент изменения K_3 по вертикали.

Сжатые и растянутые зональные колонны ореолов, возникшие в сходных геолого-структурных условиях, можно проиллюстрировать на примере ореола Маднеульского медноколчеданного месторождения и зональной колонны ореолов, вмещающих медноколчеданные месторождения Цителсопели, Квемо-Болниси и барит-полиметаллические рудопроявления Мувешани и Давид-Гареджи (рис.2). Эти месторождения и рудопроявления, залегающие в вулканогенно-осадочных отложениях верхнего мела, находятся в пределах Маднеульско-Поладаурской рудной зоны (в юго-восточной Грузии). Если на Маднеульском месторождении вся колонна ореола от нижних медно-молибдено-кобальтовых зон до верхних свинцово-бариевых проявлена в интервале 200-350 м, то протяженность колонны ореолов Цителсопели-Квемо-Болниси-Мувешани достигает 1200 м. Особенно контрастно это различие проявляется в величинах градиента K_3 : изменение K_3 от 0,1 до 10,0 в первом случае происходит на расстоянии 200 м, во втором - на 1200 м.

Положение рудных тел в пределах ореолов колчеданных месторождений подчиняется следующей закономерности: они всегда находятся в полях комплексного состава, в которых совмещаются ореолы основных элементов-индикаторов, в зоне максимальных концентраций основных рудообразующих элементов: серноколчеданные - в зоне ореолов кобальта и молибдена, медноколчеданные - меди, поли-

металлические – цинка, свинца, барит-полиметаллические – свинца и бария. Примером этого является рассмотренная выше зональная колонна ореолов Цителсопели-Квемо-Болниси-Мушевани, в которой каждое отдельно взятое месторождение представляет собой лишь звено единой зональной колонны оруденения, проследить которую в полном виде представляется возможным лишь по первичным ореолам.

Следствием указанной закономерности является резкая асимметричность зонального строения ореолов относительно рудных тел, которая выражается в различии состава ореолов в висячем и лежащем боках рудного тела, независимо от их залегания (пололого или крутого) (см. в таблице элементы-индикаторы надрудных и подрудных зон ореолов). Все это указывает на то, что в условиях ореолов колчеданных месторождений более правильным будет говорить не об ореолах отдельных рудных тел, а о закономерностях распределения рудных тел (точнее-рудных концентраций элементов) в пределах общей зональной колонны ореолов.

С целью иллюстрации основных общих закономерностей строения ореолов субвулканических метасоматических колчеданных месторождений на базе обобщения накопленного фактического материала были построены следующие их схемы (геологические модели) (рис. 3, Е и В).

В связи с определяющим влиянием структурного фактора на морфологию ореолов и на положение рудных тел в поле ореола обобщенные схемы даны для ореолов в пологопадающих структурах – в "структурных" блоках и в крутопадающих структурах – в зонах рассланцевания. Для иллюстрации принципиальных отличий на рис. 3, А приведена "классическая" схема первичного ореола гидротермального рудного тела. Гипотетическим допущением в схемах ореолов колчеданных месторождений являются линейные скорости фильтрации растворов, с изменением которых в сечениях восходящего потока связываются различия в морфологии ореолов и в положении рудных тел в пологопадающих структурах и в крутопадающих зонах рассланцевания. Локализация колчеданных рудных тел на кислотно-щелочных геохимических барьерах (по А.И.Перельману), фиксируемых границами зон кварц-серпентитовых пород с хлоритовыми или пропилитовыми зонами, устанавливается на подавляющем большинстве колчеданных месторождений.

В заключение в связи с рассмотрением геологических моделей первичных ореолов колчеданных месторождений необходимо особо под-

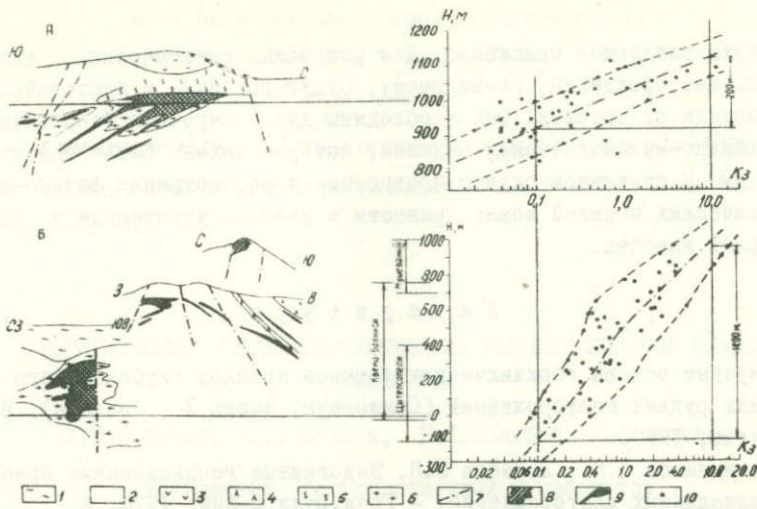


Рис.2. Схематические вертикальные геологические разрезы Маднеульского месторождения (А) и Шителоопельского, Квемо-Болнисского месторождения, Мувеванского рудопроявления (Б) и совмещенные графики изменения K_3 их ореолов по вертикали (Н - абсолютные отметки в м): 1 - рыхлые отложения, 2 - вулканогенно-осадочные породы Cr_3 , 3 - альбитофиты, 4 - дациты, 5, 6 - вторичные кварциты: 5 - низкотемпературные, сольфатарные, 6 - высокотемпературные, глубинные, 7 - разрывные нарушения, 8, 9 - рудные тела: 8 - барит-полиметаллические, 9 - медноколчеданные, 10 - K_3 (среднее по 5-10 пробам).

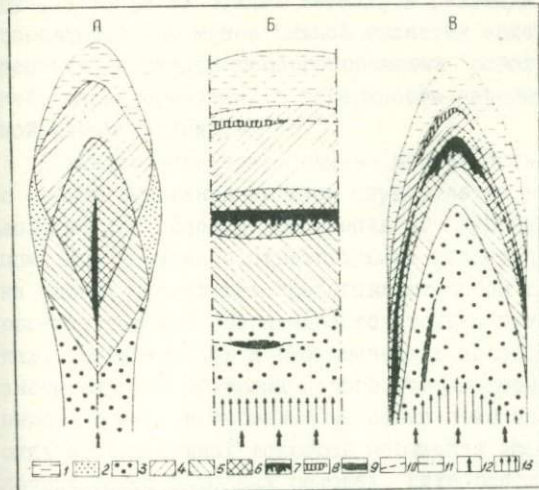


Рис.3. Обобщенные схемы первичных геохимических ореолов гидротермального рудного тела (А) и субвулканических метасоматических колчеданных месторождений в пологозалегающих структурах (Б) и в крутопадающих зонах расчленения (В): 1-6 - ореолы:

1 - элементов-индикаторов верхних, фронтальных зон (Pb, Ag, Ba, Hg), 2 - элементов-индикаторов средних зон (Cu, Zn), 3 - элементов-индикаторов нижних, тыловых зон (Co, Mo), 4 - элементов-индикаторов верхних и средних зон (Pb, Ba, Cu, Zn, Co, Mo), 5 - элементов-индикаторов средних и нижних зон (Cu, Zn + Co, Mo) и 6 - полного комплекса элементов (Pb, Ba, Cu, Zn + Co, Mo), 7-9 - рудные тела: 7 - медноколчеданные, 8 - полиметаллические и 9 - серноколчеданные, 10 - геохимические барьеры, 11 - разрывные нарушения, 12 - направление движения рудоносных растворов, 13 - векторы скоростей фильтрации растворов.

черкнуть следующее положение. Для различных генетических типов рудных месторождений, по-видимому, будут различны и геологические модели их ореолов. Они необходимы для построения теоретических физико-математических моделей, которые должны быть адекватными им. В противном случае построение и рассмотрение физико-математических моделей может привести к излишне упрощенным и даже неверным выводам.

Л и т е р а т у р а

1. Научные основы геохимических методов поисков глубоководных рудных месторождений (Симпозиум. Часть I - Доклады). Иркутск, 1970.
2. Овчинников Л.Н., Баранов Э.Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. - Геол.рудн.м-ний, 1970, № 2.
3. Смирнов С.С. Избранные труды. - Изд-во АН СССР, 1965.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГПМ)

II сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ СЛЕПЫХ
РУДНЫХ ТЕЛ

А.П.Соловов, А.В.Гаранин, В.С.Голубев, А.А.Матвеев

Московский государственный университет
им.М.В.Ломоносова

Слепые рудные тела – важный резерв для прироста запасов металлов в большинстве рудных районов СССР. Первостепенное значение поиски слепых рудных тел приобретают в районах действующих горно-обогатительных комбинатов с дефицитом разведанных запасов руд, а также на стадии детальной разведки новых промышленных месторождений. Не менее важной является задача прогноза слепого оруденения на стадии геологопоисковых работ при оценке рудопроявлений, характеризующихся с поверхности непромышленным масштабом рудной минерализации.

В каждом конкретном случае возможность нахождения рудных тел в слепом залегании целиком определяется геолого-структурными условиями локализации оруденения на глубине и его генетическим типом. При наличии соответствующих геологических предпосылок поиски слепых рудных тел представляют собой сложную задачу, успешное решение которой обеспечивается только путем детальных геологических, геофизических и геохимических исследований в сочетании со значительными объемами дорогостоящих горно-буровых работ. Дальнейшее совершенствование методики поисков слепых рудных тел – один из актуальных вопросов повышения эффективности геологоразведочных работ в рудных районах. Ниже рассматриваются только геохимические аспекты этой проблемы.

При этом предполагается, что все геологические и геофизические данные, необходимые для обоснования целесообразности, а затем успешного проведения поисков слепых рудных тел, заведомо имеются в наличии и привлекаются к интерпретации результатов геохимических исследований.

Геолого-геохимическая постановка задачи

Рудное тело следует именовать "слепым" только в тех случаях, когда в контуре минимально-промышленного (бортового) содержания металла оно полностью заключено в толще рудовмещающих пород и не имеет выхода на современную или более древнюю денудационную поверхность. Таким образом, это понятие имеет, в первую очередь, горно-технический (геолого-экономический) смысл. С геохимической точки зрения слепое рудное тело в контуре своего первичного (надрудного) ореола может выходить на поверхность, в частном случае приобретая на этом уровне характеристику непромышленной минерализации. Иногда даже в контуре своего первичного ореола рудное тело может находиться в слепом залегании. Оба признака — слепое залегание руд и первичного ореола — в общем имеют условный, временный смысл. Так, например, при прожилково-вкрапленном типе оруденения уместно говорить о слепом залегании руд с точки зрения существующих промышленных требований, которые систематически пересматриваются в сторону снижения кондиций. При понижении бортового содержания контуры промышленного оруденения будут расширены за счет прилегающей зоны забалансовых руд, и поэтому граница между рудным телом и его первичным ореолом принадлежит к разряду экономических категорий, не имеющих строго геохимического смысла. Хотя в отдельных случаях граница между рудным телом и его первичным ореолом может иметь отчетливый геологический характер (например, агрегативные руды, кварцево-рудная жила и т.п.), противопоставление геохимических характеристик рудного тела и его первичного околорудного ореола способно привести только к неустойчивым научно-методическим выводам.

В свою очередь, внешний контур первичного ореола и, в частности, отсутствие его геохимических признаков на дневной поверхности определяются современными техническими средствами обнаружения слабых геохимических аномалий, которые непрерывно совершенствуются. Любая геохимическая аномалия по своей периферии, в общем случае, асимптотически приближается к уровню местного гео-

химического фона, и ее "размеры" имеют условный, технический характер. Поэтому попытки создания теории геохимических методов поисков, основанные на рассмотрении выявленных размеров аномалий или на классификации химических элементов по признаку их принадлежности к "внешним", "промежуточным" и "внутренним" зонам ореола, заведомо обречены на неудачу.

В целом рудное тело и его первичный ореол, с геохимической точки зрения, должны рассматриваться в качестве единой сложно построенной геохимической аномалии – зоны рудной минерализации с условным внешним контуром и определенными внутренними особенностями пространственно-упорядоченного (детерминированного) распределения химических элементов, осложненного случайными помехами. Познание геохимических закономерностей внутреннего строения этих зон, различных по генезису, структурно-геологической и литолого-стратиграфической приуроченности, обеспечивает правильность прогноза промышленного оруденения в их контуре.

Достаточно очевидно, что задача геологопоисковых работ и, в частности, литохимических съемок масштаба 1:50000, проводимых в рудных районах, – прямое обнаружение промышленного оруденения. Неизбежным попутным результатом этих работ является выявление многочисленных мелких рудопоявлений и гипергенных литохимических аномалий, большинство которых не представляет практического интереса. Однако определенная часть незначительных проявлений рудной минерализации может рассматриваться в качестве первичных ореолов слепых рудных тел, и эта категория объектов подлежит тщательному геохимическому исследованию. В рудных районах СССР уже существует огромный резерв зарегистрированных проявлений рудной минерализации неясного масштаба, и поэтому задача выявления слепых рудных тел на стадии поисковых работ сводится, в первую очередь, к геохимической оценке выявленных непромышленных рудопоявлений и вторичных ореолов рассеяния.

На стадии предварительной, а затем детальной разведки рудных месторождений и в процессе их промышленной отработки следует считать обязательным сплошное геохимическое опробование всех поверхностных и подземных горных выработок и скважин. Это – одно из современных требований к их геологической документации. В результате такого геохимического опробования, сочетаемого с детальными литохимическими съемками рудного поля в масштабе 1:10000 или крупнее, как правило, обнаруживается большое число

различных проявлений рудной минерализации, из которых далеко не каждое может считаться первичным ореолом промышленного оруденения. Таким образом, на этой стадии геохимические поиски на флангах и глубоких горизонтах рудных полей промышленных месторождений сводятся в основном к оценке геохимических аномалий, методика и техника выявления которых достаточно хорошо освоена. Обобщая, следует сказать, что задача обнаружения слепых рудных тел независимо от стадии геологоразведочного процесса ставит перед геохимическими исследованиями не столько поисковые, сколько прогнозно-оценочные проблемы, связанные с обоснованием целесообразности дальнейшей разведки уже выявленных проявлений рудной минерализации или их отбраковки. Иллюстрацией альтернативных решений, которые при этом приходится рассматривать геохимику, служит рис. 1. Возможные варианты оценки гипергенных ореолов рассеяния (рис. 1 А) или зон минерализации рудовмещающих пород (рис. 1 Б) определяются общими закономерностями процессов рудообразования и опытом изучения первичных ореолов оруденения. Правильность принимаемых решений, в конечном счете, зависит от степени надежности геохимических критериев, определяющих отношение выявленных аномалий к надрудным, непромышленным центральным или подрудным интервалам зоны минерализации (рис. 1).

К настоящему времени имеется обширная отечественная литература, посвященная описанию первичных ореолов эндогенных месторождений и принципам их использования при геохимических поисках /4, II, I2/. Накопленный за последнее десятилетие опыт практического применения этих принципов в целом подтверждает их правильность, и основные положения методики геохимических поисков слепых рудных тел успешно прошли производственную проверку.

Вместе с тем, в большинстве рудных районов изучение первичных ореолов месторождений продолжает носить преимущественно методический характер и до сих пор дало поразительно мало геологических результатов. Это целиком относится, например, к территориям Рудного Алтая или Урала, где, наряду с обилием опытно-методических работ, геохимические исследования не привели к существенным открытиям слепых рудных тел и новых промышленных месторождений. Относительно высокая геологическая эффективность геохимических поисков слепых рудных тел, достигнутая на территории Таджикистана /5/, скорее является исключением из общего правила и не гарантирует устойчивых результатов.

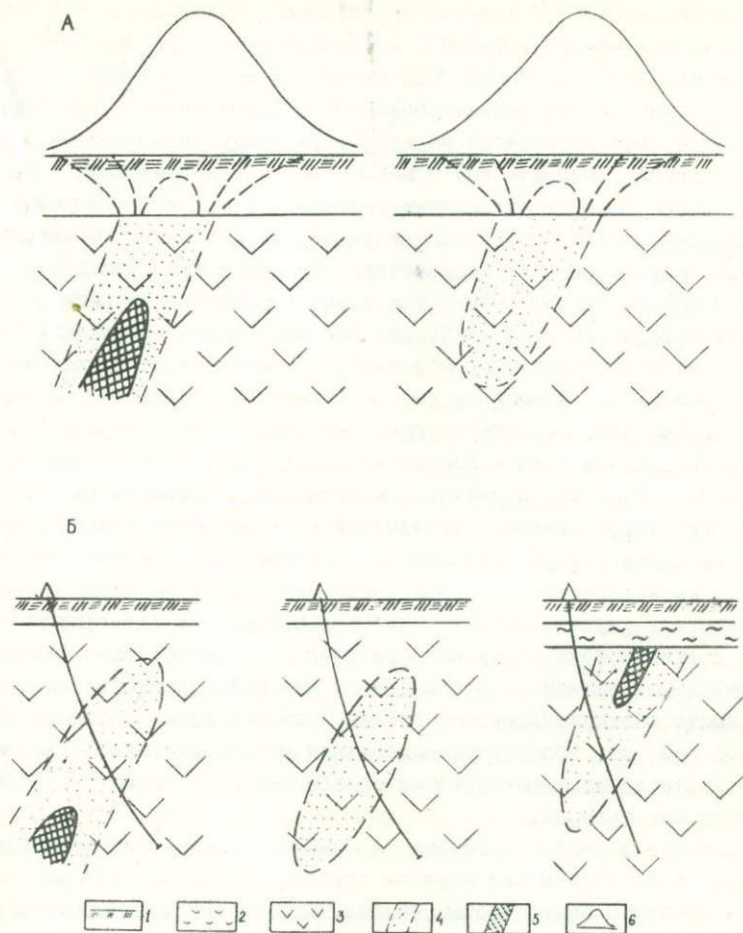


Рис. 1. Типы геологических задач, решаемых при геохимических поисках слепых рудных тел:

- а - при оценке гипергенных литохимических аномалий;
 б - при оценке геохимических аномалий в рудовмещающих породах.

1 - аллювио-делювий; 2 - осадочный чехол; 3 - рудовмещающие породы; 4 - непромышленная минерализация; 5 - рудное тело; 6 - график содержаний рудного элемента в гипергенном ореоле рассеяния.

Такое положение объясняется ограниченной надежностью тех геохимических критериев, которые в настоящее время привлекаются к прогнозу слепого оруденения. Это привело к многократному изучению различными исполнителями морфологии, элементного состава, зональности, корреляционных зависимостей между содержаниями элементов и других эмпирических показателей, характеризующих первичные ореолы разведанных рудных тел одних и тех же месторождений. Опытный характер этих исследований, несомненная сложность решаемых задач и нередко субъективные методические выводы обусловили малый объем собственно поисковых геохимических работ, результаты которых могли бы привести к промышленным открытиям.

Выход из этого положения обеспечивает более строгое теоретическое обоснование принципов выбора определенной группы геохимических параметров, характеризующих оруденение, рассмотрение которых позволяло бы решать поисковые задачи. При этом параметрами рудного тела и его первичного ореола следует именовать объективные показатели, имеющие устойчивый геохимический смысл, численные значения которых уточняются одновременно с увеличением точности исследований /13/. Критериями для прогноза слепого оруденения могут служить только такие параметры, которые характеризуются статистически значимыми различиями их оценок для различных интервалов рудной зоны. Непараметрический, неустойчивый смысл имеют геохимические показатели, основанные на рассмотрении размеров ореолов, абсолютных содержаний рудных элементов или на противопоставлении характеристик оруденения в различных геолого-экономических границах.

Дальнейшее развитие методики геохимических поисков требует обращения к теоретическим моделям оруденения, анализ которых позволяет обобщить эмпирические данные. Широкие возможности для этого обеспечивает применение ЭВМ. Построение этих моделей связано с рассмотрением общих вопросов теории рудообразования применительно к основным генетическим типам месторождений.

Рассматриваемые ниже обоснования методики геохимических поисков слепых рудных тел и результаты соответствующих исследований в принципе могут быть распространены на различные по типу эндогенные, метаморфогенные и экзогенные рудные месторождения. Однако многообразие признаков, которые потребовали бы учета при более общей трактовке вопроса, заставляет нас ограничиться обсуждением методики геохимических исследований при поисках эндоген-

ного и, в частности, гидротермального оруденения. Важность дальнейшего развития методики геохимических поисков именно этого обширного класса рудных месторождений не подлежит сомнению и подсказана геологоразведочной практикой.

Некоторые вопросы теории рудообразования

В основе современной методики геохимических поисков слепых рудных тел лежат главнейшие положения учения об эндогенном рудообразовании, созданного трудами В. Линдгрена, В. Эммонса, С. С. Смирнова, Ю. А. Билибина, Д. С. Коржинского, В. И. Смирнова и многих других исследователей. Важнейшее значение среди них имеет надежно установленная зональность процесса рудоотложения.

Типичная эндогенная рудообразующая система представляет собой фильтрующуюся термогидроколону /Ю/, нижнюю корневую зону с режимом стягивания рудообразующих растворов, среднюю стволовую зону с режимом напорного течения и верхнюю зону рассеяния растворов. Формирование оруденения может происходить в любой из этих зон, однако главной областью рудоотложения является стволовая зона.

В пределах термогидроколонны протекают определенные физические и физико-химические процессы, формирующие руды. Основными процессами рудообразования являются химические реакции между раствором и вмещающими породами, кристаллизация в результате изменения термодинамических условий миграции рудообразующего раствора или его концентрирования вследствие взаимодействия с породами, а также химические реакции между компонентами растворов при смешении гидротермальных растворов друг с другом и с вадозными водами.

Аналитическое описание физико-химических моделей рудообразующих систем возможно путем рассмотрения простых случаев. Некоторые решения таких задач были получены Р. И. Дубовым. В качестве предельно упрощенной модели рудообразующей системы ниже рассматривается процесс формирования оруденения при фильтрации в изотропной среде путем взаимодействия с породами и кристаллизации. Формирование околорудных (боковых) первичных ореолов рудного тела в рамках данной модели рассматривается как диффузионный процесс.

Возможность простого приближенного рассмотрения сложной динамической рудообразующей системы может быть обоснована совпа-

дением следствий из теории с наблюдаемыми природными закономерностями. В пользу принятого допущения об изотропности среды свидетельствует приуроченность оруденения к зонам повышенной проницаемости, а принимаемое ниже допущение об одномерной фильтрации может быть обосновано общепринятыми представлениями о существовании растворов, фильтрующихся в гидротермальной колонне преимущественно снизу вверх. Обычно отмечаемое наличие сходных черт локальной околорудной зональности, зональности метасоматических колонок и зональности в пределах всего месторождения также свидетельствует в пользу рассмотрения сложной рудообразующей системы на основе простых моделей.

Предположим, что неравновесный с породой n -компонентный раствор фильтруется в поровом пространстве однородной среды в направлении, принятом за ось Z , с постоянной скоростью U . Предположим, что в области $Z < Z_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) - компонент раствора слабо взаимодействует с породами или не кристаллизуется. Выше сечения $Z = Z_i$ i -компонент раствора вступает в химические реакции с породами или кристаллизуется, образуя при этом i -й рудный минерал. Данная ситуация реализуется, если физико-химические или термодинамические условия в области $Z > Z_i$ отличны от условий в области $Z < Z_i$. Нижняя граница распределения i -минерала в оруденении в принятой модели условно предполагается резкой. Основная задача динамики рудообразования заключается в том, чтобы определить распределение концентраций растворенных $C_{i,ж}$ веществ и концентраций $C_{i,т}$ образующихся рудных минералов в твердой фазе для рассматриваемой системы в зависимости от заданных условий.

Как следует из общей теории гетерогенных процессов геохимической миграции, решить сформулированную задачу можно используя уравнения материального баланса растворенных веществ и кинетики процессов рудообразования /2/.

Ниже рассматривается задача динамики рудообразования в изотермических условиях, что является предельным случаем реального неизотермического процесса /3/. Полученные решения можно применить также для характеристики неизотермического процесса в частном случае, когда длина температурного фронта (расстояние, на котором температура меняется от исходной температуры раствора до исходной температуры пород) значительно больше длины концентрационного фронта i -вещества. При этом приближенно

можно считать, что каждый минерал образуется при постоянной температуре, но температура рудообразования меняется при переходе от одного минерала к другому. Изотермичность процесса образования ряда минералов проиллюстрирована в работе /9/ путем анализа литературного материала по исследованию газовой-жидких включений в минералах.

Найдем решение задачи динамики рудообразования при фильтрации гидротермального раствора в изотропной среде в простейшем случае, с необратимыми параллельными и последовательными реакциями I порядка раствора с породами. Формирование оруденения путем кристаллизации в изотропной пористой среде будет характеризоваться теми же закономерностями, что и в случае необратимых параллельных реакций I порядка, так как кристаллизацию формально можно рассматривать как реакцию I порядка.

Решение этой задачи получим из уравнения материального баланса i -вещества, которое без учета продольной диффузии (в направлении Z) имеет вид /2/:

$$\frac{\partial C_{i,ж}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{i,ж}}{\partial z} + \frac{\partial C_{i,г}}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

и уравнения скорости необратимой реакции I порядка с участием i -го растворенного вещества:

$$\frac{\partial C_{i,г}}{\partial t} = \kappa_i C_{i,ж}, \quad (2)$$

где κ_i - константа скорости реакции.

Для решения системы дифференциальных уравнений (1,2) необходимо задать начальные и граничные условия процесса. Сделать это в геологических задачах наиболее сложно, так как на практике геолог имеет дело с результатами процесса и в общем случае не может однозначно и количественно судить об условиях начала процесса. В принципе найти начальные и граничные условия рудообразования можно по совпадению наблюдаемых и теоретических концентрационных профилей оруденения, рассчитанных при различных начальных и граничных условиях. Современное развитие теории динамики рудообразования еще не достаточно для количественного решения задач генезиса оруденения. Поэтому на вопросе количественного определения начальных и граничных условий рудообразования останавливаться не будем, а выберем их соответствующими естественному началу процесса.

Поместим источник гидротермальных растворов в начало координат $z = 0$. Предположим, что непрерывное выделение раствора постоянного состава $C_{0i,ж}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) начинается из источника с момента времени, условно принимаемого за нулевой ($t = 0$). При $t = 0$ в области $z > 0$ раствор отсутствует. Тогда начальные и граничные условия приближенно можно записать в виде:

$$\begin{cases} t = t_{0i}, & z > z_i, & C_{i,ж} = 0, & C_{i,г} = 0; \\ t > t_{0i}, & z = z_i, & C_{i,ж} = C_{0i,ж}, \end{cases} \quad (3)$$

где $t_{0i} \approx \frac{z_i}{U}$ - время появления минерализованного раствора на нижней границе $z = z_i$ области рудообразования.

Система дифференциальных уравнений (1,2) при условиях (3) характеризует принятую нами модель формирования оруденения. Решение системы (1,2) для несколько иных начальных и граничных условий получено ранее [3]. Его можно обобщить на условия (3), получив таким образом следующее решение задачи динамики рудообразования:

$$C_{i,ж}(z,t) = \begin{cases} 0, & (t < \frac{z}{U} + t_{0i}), \\ C_{0i,ж} e^{-\frac{K_i}{U}(z-z_i)}, & (\frac{z}{U} + t_{0i} \leq t < \tau_i + \frac{z}{U} + t_{0i}), \\ \frac{C_{0i,ж}}{C_{0i,г}} C_{i,г}(z,t), & (t \geq \tau_i + \frac{z}{U} + t_{0i}). \end{cases} \quad (4)$$

$$C_{i,г}(z,t) = \begin{cases} 0, & (t \leq \frac{z}{U} + t_{0i}), \\ K_i C_{0i,ж} (t - \frac{z}{U} - t_{0i}) e^{-\frac{K_i}{U}(z-z_i)}, & (t_{0i} + \frac{z}{U} \leq t \leq \tau_i + t_{0i} + \frac{z}{U}), \\ C_{0i,г} \exp\left\{-\frac{K_i}{U} \left[\left(1 + \frac{C_{0i,ж}}{C_{0i,г}}\right) (z-z_i) - U \frac{C_{0i,ж}}{C_{0i,г}} (t - \tau_i - t_{0i}) \right]\right\}, & (\tau_i + t_{0i} + \frac{z}{U} \leq t \leq \tau_i + t_{0i} + \frac{z}{U} \left[1 + \frac{C_{0i,г}}{C_{0i,ж}}\right]), \\ C_{0i,г}, & (t > \tau_i + t_{0i} + \frac{z}{U} \left[1 + \frac{C_{0i,г}}{C_{0i,ж}}\right]). \end{cases} \quad (5)$$

где величина $(t_{0i} + \tau_i)$ имеет физический смысл времени достижения предельной концентрации $C_{0i, \tau}$ в точке $z = z_i$ и равна

$$t_{0i} + \tau_i = t_{0i} + \frac{C_{0i, \tau}}{K_i C_{0i, \text{ж}}} \quad (6)$$

Из анализа решений (4,5) следует, что начиная с момента времени $(t_{0i} + \tau_i)$ образуется стационарный фронт i -вещества, движущийся в сторону положительной оси z со скоростью:

$$V_i = \frac{u}{1 + \frac{C_{0i, \tau}}{C_{0i, \text{ж}}}} \quad (7)$$

В результате образуются зоны оруденения разного минерального состава.

Из полученных выше решений следует, что концентрационные профили рудных минералов несут определенную генетическую информацию об условиях протекания процесса. В частности, если концентрационные профили по восстанию рудной залежи спрямляются в координатах $(\lg C_{\tau}, z)$, то это означает, что при формировании оруденения протекали необратимые реакции I порядка или кристаллизация. Согласно имеющимся данным, такие концентрационные профили химических элементов в рудных телах и их первичных ореолах достаточно типичны [1/].

Тогда по котангенсу наклона спрямленного концентрационного профиля $\lg C_{\tau}$ к оси z можно определить параметр $1/\lambda$, характеризующий совокупность факторов, определявших процесс рудоотложения.

Если в процессе рудообразования концентрация данного элемента в твердой фазе $C_{i, \tau}$ достигала насыщения, на концентрационном профиле образуется отрезок протяженностью l , усредненный график которого располагается параллельно оси z (рис.2).

Наряду с рассмотренным выше случаем, когда рудные минералы образуются путем химических реакций между раствором и породой или путем кристаллизации веществ из исходного раствора, при рудообразовании происходит отложение компонентов, выделенных при взаимодействии исходного раствора с породами. Закономерности отложения выделенных компонентов определяются главным образом взаимным влиянием веществ - участников гидротермального процесса, следующим из закона действующих масс [3,8/]. В частности, зависимость растворимости кислот и оснований от концентрации ионов

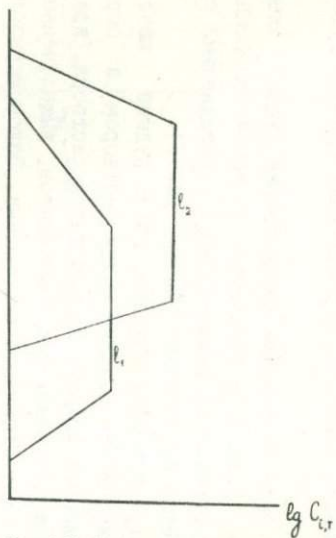


Рис.2 Графики содержаний двух рудных элементов, отдававшихся в интервалах ℓ_1, ℓ_2 в режиме насыщения.

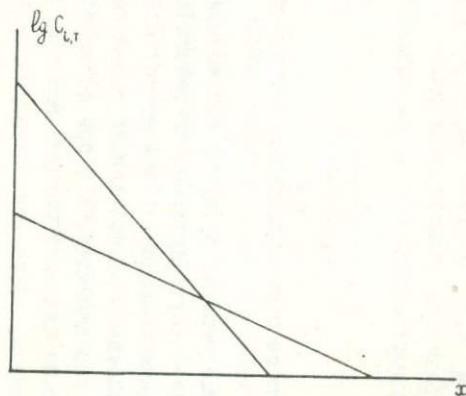


Рис.3. Графики содержаний рудных элементов в диффузионных ореолах.

водорода исследовалась д.с.Коржинским /8/. Если процесс рудоотложения не изотермичен, то несомненна также роль температурного фактора, контролирующего отложение выщелоченных компонентов.

Рассмотрим некоторые закономерности выщелачивания и сопряженного рудоотложения для модели фильтрации раствора вдоль оси в изотропной среде. Положим, что в области $z < z'_i$ происходят процессы выщелачивания i -компонента породы, в результате чего раствор дополнительно минерализуется. Пусть $z = z_i > z'_i$ нижняя граница кристаллизации i -го выщелоченного компонента с образованием i -го рудного минерала. Требуется определить распределение концентраций выщелоченных и сопряженно отложенных веществ в любой момент времени.

Не останавливаясь на закономерностях выщелачивания, рассмотрим лишь закон возрастания во времени концентраций выщелоченных веществ в области $z < z'_i$. В простейшем случае скорость реакции растворения компонентов породы можно считать пропорциональной разности между равновесной и текущей концентрацией, то есть:

$$\frac{\partial C_{i,ж}}{\partial t} = \kappa'_i (C_{0i,ж} - C_{i,ж}), \quad (8)$$

где κ'_i - константа скорости реакции выщелачивания i -компонента, $C_{0i,ж}$ - концентрация i -вещества в растворе при равновесии.

Интегрируя уравнение (8) при начальном условии $t = t_{0i}$, $C_{i,ж} = C_{0i,ж}$, получим:

$$C_{i,ж} = C_{0i,ж} - (C_{0i,ж} - C'_{0i,ж}) e^{-\kappa'_i(t - t_{0i})}, \quad (9)$$

где $C'_{0i,ж}$ - исходная концентрация i -вещества в растворе до момента начала выщелачивания $t = t_{0i}$.

Таким образом, концентрация выщелоченного вещества в любом сечении возрастает со временем по закону (9).

Для нахождения распределения концентраций выщелоченных веществ в области $z > z_i$ их отложения нужно решить систему дифференциальных уравнений (1,2), считая, что на границе $z = z_i$ концентрация i -вещества возрастает со временем по закону (9). Однако если учесть, что длительность процесса рудоотложения несоизмеримо больше времени установления равновесия в области $z < z'_i$, то можно использовать более простые граничные ус-

ловия:

$$z = z_i, t > t_{oi}, C_{i,ж} = C_{oi,ж}. \quad (10)$$

В таком случае сформулированная задача аналогична рассмотренной выше для случая динамики рудообразования при наличии необратимых параллельных реакций I порядка. Распределение рудных концентраций в области $z > z_i$ аналогично определяемому формулой (6).

В рамках сформулированной изотермической модели рудообразования при фильтрации гидротермального раствора в изотропной среде нижняя граница оруденения имеет резкий характер, что не соответствует действительности. Такое несоответствие можно устранить, если предположить, что раствор, поступающий в область рудообразования $z > z_i$, не сохраняет постоянной свою температуру или состав. В силу этого химическое равновесие между раствором и твердой фазой нарушается при изменении температуры или состава раствора. В результате нижняя граница оруденения приобретает подвижный характер и происходит ее размывание в силу тех же причин, что и размывание верхней границы оруденения. В частном случае причиной нерезкого характера нижней границы оруденения может явиться растворение ранее осажденных минералов при возрастании температуры раствора, поступающего в зону рудообразования.

Легко показать, что концентрация рудных минералов $C_{i,r}$ на нижней границе оруденения изменяется также по экспоненциальному закону, как и на верхней границе. Распределение концентраций двух рудных минералов вдоль оси z показано на рис. 2 в полулогарифмических координатах.

Полученные выше решения характеризуют концентрационные профили рудных минералов вдоль пути фильтрации гидротермального раствора и могут быть применены для функционального описания первичных фильтрационных ореолов по восстанию и падению рудного тела (по направлению оси z).

Поставим задачу определить распределение рудных концентраций по направлению оси x , перпендикулярной z , вне области фильтрации рудоносных растворов, где формируются боковые диффузионные ореолы рудных тел.

Пренебрегая фильтрацией по направлению x , получим в одномерном приближении следующее уравнение материального баланса i -вещества в полупространстве $x > 0$, граничащем с областью

фильтрации раствора вдоль оси z :

$$\frac{\partial C_{i,ж}}{\partial t} + \frac{\partial C_{i,г}}{\partial t} - \mathcal{D}_i \frac{\partial^2 C_{i,ж}}{\partial x^2} = 0, \quad (II)$$

где \mathcal{D}_i - коэффициент диффузии i -вещества.

Система дифференциальных уравнений (2, II) характеризует динамику формирования диффузионного ореола i -вещества в области $x > 0$ при наличии параллельных реакций I порядка раствора с породами или кристаллизацией.

Решение задачи может быть получено для моментов времени $t \gg \frac{z}{V_{\Phi i}}$, где $V_{\Phi i}$ - скорость движения фронта растворенных веществ по направлению z , когда фронты растворенных веществ ушли достаточно далеко по восстанию рудного тела. Так как скорость диффузии мала, то можно считать, что за время $\frac{z}{V_{\Phi i}}$ растворенные вещества продиффундировали вглубь пород на пренебрежимо малое расстояние. Тогда начальные и граничные условия процесса приближенно имеют вид:

$$\begin{cases} t = 0, & x > 0, & C_{i,ж} = 0, & C_{i,г} = 0; \\ x = 0, & t > 0, & C_{i,ж} = C_{0i,ж}. \end{cases} \quad (I2)$$

Решение при условиях (I2) системы (2, II) характеризующей динамику ореолообразования при наличии необратимых параллельных реакций I порядка, может быть найдено с использованием решения для диффузии в однокомпонентном растворе [18] и для $C_{i,г}(x, t)$ запишется в виде:

$$C_{i,г}(x, t) = \begin{cases} \kappa_i C_{0i,ж} \cdot t \cdot e^{-x \sqrt{\frac{\kappa_i}{\mathcal{D}_i}}} \\ C_{0i,г} e^{-\sqrt{\frac{\kappa_i}{\mathcal{D}_i}} \left[\sqrt{1 + \frac{C_{0i,ж}}{C_{0i,г}}} x - \frac{C_{0i,ж}}{C_{0i,г}} \sqrt{\frac{\kappa_i}{\mathcal{D}_i}} (t - \tau_{0i}) \right]} \\ \quad \left(\tau_{0i} < t < \tau_{0i} + \frac{z}{V_i} \right) \\ C_{0i,г}, \quad \left(t > \tau_{0i} + \frac{z}{V_i} \right), \end{cases} \quad (I3)$$

где τ_{0i} - время достижения предельной концентрации $C_{0i,г}$ i -минерала в сечении $x = 0$, которое равно

$$\tau_{0i} = \frac{C_{0i,г}}{\kappa_i C_{0i,ж}}, \quad (I4)$$

V_i - скорость движения стационарного концентрационного профиля
 i - минерала, которая в соответствии с (13) равна:

$$V_i = \sqrt{\frac{K_i \cdot \Delta_i}{\frac{C_{0i,T}}{C_{0i,Ж}} \left(1 + \frac{C_{0i,T}}{C_{0i,Ж}}\right)}} \quad (15)$$

Из анализа решения (13) следует, что, начиная с момента времени τ_{0i} , формируется стационарный фронт i -вещества, движущийся со скоростью (15). В результате при любом фиксированном времени образуются рудные зоны различного минералогического состава, изображенные в полулогарифмических координатах на рис. 3.

Наряду с рассмотренными выше типами первичных ореолов представляет интерес обсуждение образования ореолов некоторых рудных элементов-спутников, область локализации которых лежит над рудными телами и часто отделена средой с фоновыми содержаниями данных элементов. Образование таких ореолов, по всей видимости, происходило путем диффузии растворенных веществ из флюидного потока термогидроколонны и последующего осаждения их в области, где температура системы порода - раствор снижалась до температуры кристаллизации вещества из раствора.

Решение задачи динамики ореолообразования при произвольном задании границы области кристаллизации получить не удастся. Для простоты качественно рассмотрим случай, когда изотермическими поверхностями являются концентрические сферы с центром в определенной точке стволовой зоны термогидроколонны (рис. 4). В этом случае центром кристаллизации i -компонента раствора становится поверхность сферы $r = r_{0i}$. Образование диффузионного ореола будет происходить лишь в области $z > z_{0i}$. Время, в течение которого формируется данный ореол, неодинаково для разных точек области ореолообразования (из-за неодинаковых путей диффузии i -вещества до поверхности сферы $r = r_i$). В силу указанного обстоятельства распределение изоконцентрат в ореоле качественно имеет вид "шапки" над рудным телом, схематически изображенной на рис. 4а. При эллиптическом характере изотерм такой ореол приобретает вид, приближенно показанный на рис. 4б, который, в частности, характерен для надрудных ореолов йода /13/.

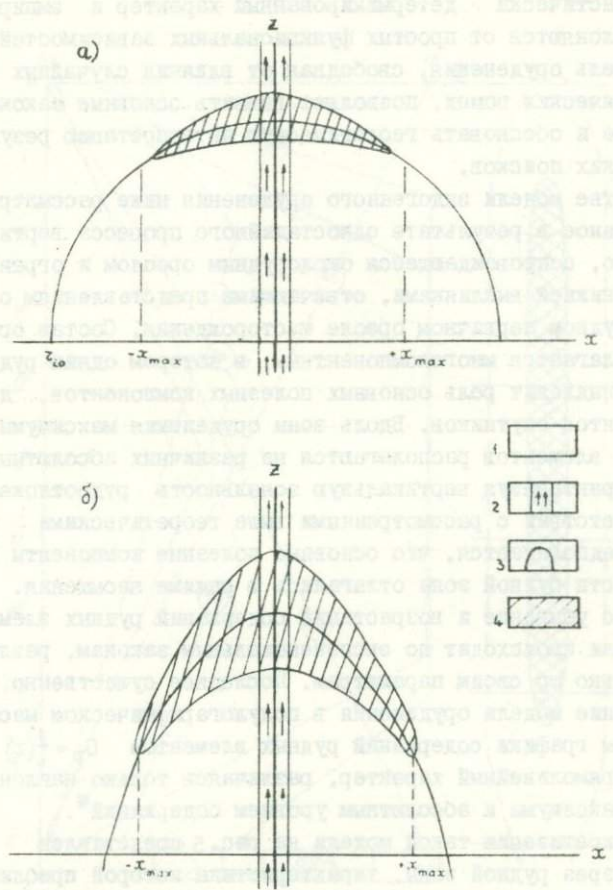


Рис. 4. СХЕМА ОБРАЗОВАНИЯ НАДРУДНЫХ ОРЕОЛОВ ЛЕГКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
 а - сферический характер изотерм; б - эллиптически характер изотерм. 1 - рудовмещающие породы; 2 - рудная зона; 3 - изотермы; 4 - периферический надрудный ореол.

Модели эндогенного оруденения и анализ его зональности

В природной геологической обстановке процессы рудообразования носят стохастически - детерминированный характер и эмпирические данные отклоняются от простых функциональных зависимостей. Обобщенная модель оруденения, свободная от влияния случайных природных и технических помех, позволяет выявить основные закономерности процесса и обосновать геологическую интерпретацию результатов геохимических поисков.

В качестве модели эндогенного оруденения ниже рассматривается сформированное в результате одностадийного процесса вертикальное рудное тело, сопровождающееся окологрудным ореолом и ограниченное верхней и нижней выклинками, отвечающими представлениям о надрудном и подрудном первичном ореоле месторождения. Состав оруденения предполагается многокомпонентным, в котором одним рудным элементам принадлежит роль основных полезных компонентов, другим - роль элементов-спутников. Вдоль зоны оруденения максимумы отложения рудных элементов располагаются на различных абсолютных отметках, характеризую вертикальную зональность рудоотложения.

В соответствии с рассмотренными выше теоретическими зависимостями предполагается, что основные полезные компоненты в центральной части рудной зоны отлагались в режиме насыщения. Принимается, что убывание и возрастание содержаний рудных элементов по вертикали происходит по экспоненциальным законам, различающимся только по своим параметрам. Последнее существенно упрощает построение модели оруденения в полулогарифмическом масштабе, при котором графики содержаний рудных элементов $C_z = f(z)$ приобретают прямолинейный характер, различаясь только наклоном, положением максимума и абсолютным уровнем содержаний*.

Для конкретизации такой модели на рис. 5 представлен вертикальный разрез рудной зоны, характеристика которой приближенно обобщает опыт изучения медноколчеданных месторождений Южного Ура-

* При дальнейшем изложении символами C_x , C_z обозначаются содержания химических элементов в твердой фазе вдоль соответствующих направлений: C_x - вкост простирания, C_z - по падению рудного тела.

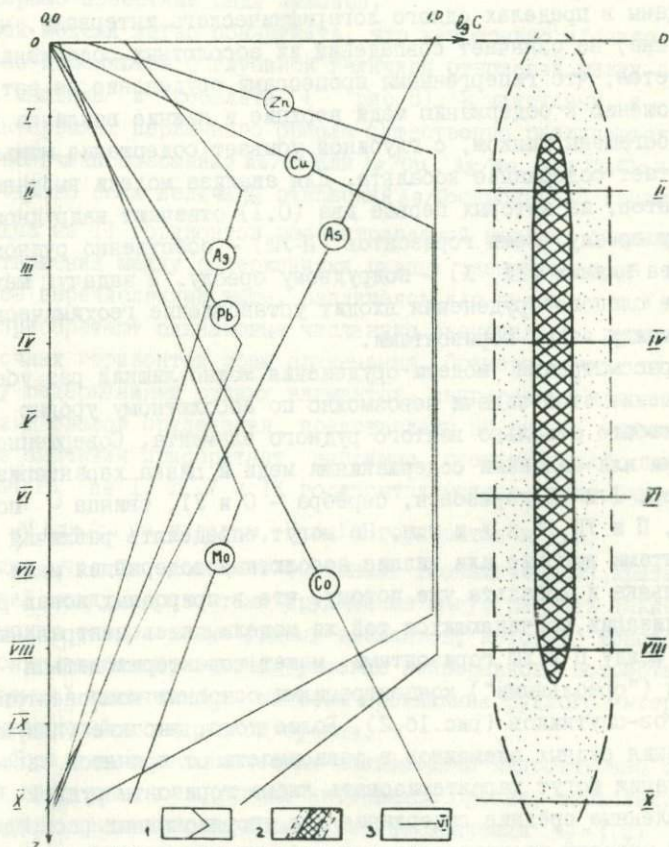


Рис.5 МОДЕЛЬ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ (вертикальный разрез)
 1 - графики содержания рудных элементов; 2 - рудное тело и его первичный ореол; 3 - уровни (горизонты) рудной зоны (0-х).

ла и Мугоджар. В данном случае роль полезных компонентов принадлежит меди и цинку, элементами-спутниками (в порядке вертикальной последовательности) являются мышьяк, серебро, свинец, молибден и кобальт.

Для упрощения изменения содержаний всех элементов по вертикали заданы в пределах одного логарифмического интервала, что, естественно, не означает совпадений их абсолютных содержаний. Предполагается, что гипергенными процессами оруденение не затронуто. По отношению к содержанию меди верхние и нижние выклинки рудного тела обогащены цинком, с глубиной убывает содержание мышьяка и возрастает содержание кобальта. Для анализа модели выбрано II горизонтов, из которых первые два (0, I) отвечают надрудному первичному ореолу, семь горизонтов (II-VII) - собственно рудному телу и два нижних (IX, X) - подрудному ореолу. В задачу методики поисков слепого оруденения входит установление геохимических различий между этими горизонтами.

Из рассмотрения модели оруденения можно лишний раз убедиться, что решение этой задачи невозможно по абсолютному уровню содержаний любого отдельно взятого рудного элемента. Совершенно одинаковыми или олизкими содержаниями меди и цинка характеризуются, например, I и IX горизонты, серебра - 0 и VI, свинца - попарно I и IX, II и VII, III и X и т.п. Не могут определять различий между горизонтами высокие или низкие абсолютные содержания меди и цинка, мышьяка и кобальта уже потому, что в природных зонах рудной минерализации, подчиняющихся той же модели, весь центральный интервал между II и VII горизонтами, может характеризоваться лишь "убогими" ("ореольными") концентрациями основных компонентов и элементов-спутников (рис. 16, 2). Более того, высокие (или низкие) содержания рудных элементов в зависимости от принятой системы опробования могут характеризовать любые горизонты рудной зоны, а вычисленные средние содержания для упорядоченных распределений целиком зависят от произвольного выбора интервала осреднения и не являются параметрическими величинами.

Признание этих обстоятельств заставило при геохимических поисках скрытого оруденения обратиться к анализу отношений между содержаниями рудных элементов /7/. Этот признак - возрастание относительных содержаний одного металла и снижение относительных содержаний другого по падению рудных тел - давно отмечен геолого-разведочной практикой и находит, например, отражение в обычном

для полиметаллических месторождений уменьшении с глубиной содержания свинца и возрастании роли цинка или в аналогичных взаимоотношениях между вольфрамом и молибденом в редкометалльных месторождениях /6,17/. Обобщенным выражением этой закономерности являются хорошо известные ряды Эммонса.

В нашей модели легко обнаружить, что непрерывно и наиболее контрастно изменяются с глубиной величины отношений между содержаниями мышьяка и кобальта (рис.5). В надрудных и подрудных интервалах первичного ореола существенно различаются, например, величины отношений As/Cu или Ag/Cu , Ag/Mo или Pb/Co и ряд других. Однако если величины отношений As/Co однозначно характеризуют каждый из II горизонтов рассматриваемой модели, большинство других отношений между содержаниями рудных элементов и, в частности, все перечисленные выше, различаясь для нулевого и X горизонтов, приобретают одинаковые численные значения на различных промежуточных горизонтах зоны оруденения. Примеры таких отношений между содержаниями рудных элементов, непригодных для диагностики интервалов оруденения, представлены на рис.6. Одинаковые численные значения приобретает, например, геохимический показатель $\lambda = Zn/Pb$ на I, III, V и IX горизонтах модели, повторяются значения $\lambda = Zn/Cu$ на нулевом, II и VIII горизонтах и т.п.

Очевидно, что Cu наиболее надежными геохимическими критериями различий между горизонтами оруденения могут служить такие отношения между содержаниями рудных элементов, которые монотонно изменяются с глубиной, отвечая условию непрерывного возрастания (или убывания) величин λ_z на всем протяжении рудного интервала, включая надрудный и подрудный ореолы.

Для выбора таких геохимических показателей недостаточно сопоставления надрудных и подрудных интервалов ореола, поскольку при этом остаются неизвестными промежуточные значения $\lambda_z = f(z)$. Это заставляет обращаться к рассмотрению характера изменения с глубиной любых возможных парных отношений между содержаниями химических элементов, входящих в состав оруденения, с целью выявления показателей, удовлетворяющих требованию монотонности. Для оруденения, в составе которого участвуют K химических элементов, общее число таких парных отношений $N = \frac{K(K-1)}{2}$.

Из числа возможных $N = 2I$ различных парных отношений между содержаниями 7 рудных элементов, характеризующих рассматриваемое

мую модель (рис.5), только 5 являются монотонными, а именно As/Ag, As/Pb, As/Mo, Mo/Co и As/Co.*

Зональность нашей модели не могут характеризовать величины отношений между содержаниями меди и цинка, главных компонентов оруденения, или любые их парные комбинации с элементами-спутниками. Обращает на себя внимание малая разрешающая сила первых четырех монотонных показателей зональности, под которой следует понимать величину отношения $\sqrt{\nu_{\max} : \nu_{\min}}$ или, в нашем случае, величины отношений $\nu_0 : \nu_k$, лежащие в пределах от 6,31 до 15,85. При наличии отступлений от идеализированной модели, свойственных реальным объектам, такие геохимические показатели неизбежно теряют свойство монотонности. В итоге из всех парных отношений между содержаниями элементов только геохимический показатель $\frac{As}{Co}$ с разрешающей силой $\nu_0 : \nu_k = 100,0$ может считаться относительно надежным индикатором зональности рассматриваемой модели. В природных условиях такого благоприятного сочетания распределения двух рудных элементов может не быть.

Этот вывод, вытекающий из анализа простейшей модели, заставляет повторить уже ранее сформулированный принцип: различия между сходными геохимическими аномалиями (в данном случае горизонтами рудной зоны) не могут быть установлены по абсолютному уровню содержания любого отдельно взятого химического элемента, только в редких случаях это возможно по величине относительных содержаний двух элементов, и решение задачи требует одновременного рассмотрения относительных содержаний группы химических элементов /14/. Многокомпонентный состав эндогенного оруденения создает для этого широкие возможности.

Таковыми более универсальными показателями геохимических различий могут служить величины отношений между произведениями содержаний различных химических элементов, типа: $\nu_i = \frac{\pi C_i}{\pi C_j}$ при условии их безразмерного характера, т.е. равенства числа химических

* Здесь и при дальнейшем изложении все монотонные геохимические показатели приводятся в том виде, при котором их численные значения убывают с глубиной. Для парных отношений числитель дроби образует элементы, относительные содержания которых возрастают к верхним горизонтам, знаменатель - элементы, накапливающиеся в нижних горизонтах рудной зоны.

элементов (или суммы их степеней), образующих числитель и знаменатель дроби. Только при соблюдении этого требования $i=j$, численные значения ψ_i не зависят от высокого или низкого абсолютного уровня содержаний химических элементов (в частности, от промышленных или однотипных по геохимической характеристике промышленных содержаний или от произвольно выбираемого интервала осреднения для пространственно-упорядоченных распределений!) и отражают объективные соотношения между содержаниями элементов, в нашем случае их зональное распределение.

Иногда ставится вопрос - каков геохимический (физический) смысл многокомпонентного показателя ψ , частного между произведениями содержаний групп химических элементов? При этом реальный смысл отношений между содержаниями двух химических элементов или отношений между суммами содержаний групп элементов, получивших традиционное применение, не ставится под сомнение. В простейшем толковании величину ψ_i при $i=j \geq 2$ можно рассматривать как произведение любого числа парных отношений без изменения геохимического смысла каждого из сомножителей. С другой стороны, величину ψ_i можно определять через сумму и разность логарифмов содержаний химических элементов, что соответствует близости их распределений в рудных зонах логнормальному закону и не противоречит общепринятому суммированию величин. Разрешающая сила надлежаще выбранных многокомпонентных геохимических показателей ψ_i , естественно, больше любого парного отношения между содержаниями двух химических элементов ($i=j=1$). Это важное свойство геохимического показателя не гарантировано для отношений между суммами содержаний химических элементов. Подробнее этот вопрос был нами рассмотрен ранее /15/.

Будем определять порядок геохимического показателя ψ_i по числу химических элементов (сумме их степеней) i , образующих числитель (или знаменатель) дроби, соответственно именуя парные отношения показателями первого порядка, отношения между произведениями содержаний двух химических элементов $\psi_2 = \frac{2x_1^2}{2x_2^2}$ - показателями второго порядка, обозначая их символами $(\frac{1}{1})$, $(\frac{2}{2})$, $(\frac{3}{3})$ и т.д. Легко обнаружить, что число различных возможных геохимических показателей старших порядков уже при числе химических элементов $k = 3-4$ быстро возрастает, а с увеличением числа химических элементов, входящих в состав оруденения, катастрофически

растет (рис.7).

* Выше мы обосновали необходимость выявления геохимических показателей \downarrow , монотонно изменяющихся с глубиной на всем интервале зоны рудной минерализации. Это приводит к необходимости последовательно вычислять и сопоставлять величины различных геохимических показателей, как минимум для трех - пяти горизонтов разведанных рудных тел (надрудный ореол - руда - подрудный ореол). При этом для надежного выбора монотонного геохимического показателя такие исследования проводятся более чем по одному разведочному профилю. Так как только немногие геохимические показатели обладают свойством монотонности, анализ зональности оруденения требует обращения к ЭВМ. Открывающиеся при этом широкие возможности отыскания необходимых геохимических показателей иллюстрирует табл. I.

Важно отметить, что даже в тех случаях, когда среди парных отношений $(\frac{I}{I})$ нет монотонно изменяющихся показателей, их различные произведения - $(\frac{2}{2})$, $(\frac{3}{3})$ и т.п. - могут закономерно приобретать свойство монотонности. С другой стороны, уже при малом числе химических элементов, характеризующих оруденение, общее число геохимических показателей различных порядков существенно превышает число возможных показателей первого порядка при любом большом

Таблица I

Число химических элементов	Число возможных геохимических показателей \downarrow *				
	$(\frac{1}{1})$	$(\frac{2}{2})$	$(\frac{3}{3})$	$(\frac{4}{4})$	Всего $(\frac{1}{1}) \div (\frac{4}{4})$
2	1	Нет	Нет	Нет	1
3	3	3	6	9	21
4	6	15	32	54	107
5	10	45	160	335	550
7	21	210	1260	4515	6006
10	45	985	11155	Очень велико	Очень велико
12	66	2145	26306	"	"

* Без учета простых степеней геохимических показателей младших порядков. Ниже ломаной линии - область обязательного применения ЭВМ ($N > 10$).

числе химических элементов, привлекаемых к рассмотрению. Так, например, общее число различных геохимических показателей первого - четвертого порядка для 4 химических элементов ($N = 107$) больше числа различных парных отношений для 15 химических элементов ($N = 105$). Обращение к геохимическим показателям старших порядков практически неизбежно для выявления зональности при относительно простом составе оруденения (5-7 химических элементов).

Отыскание геохимических показателей зональности, монотонно изменяющихся в интервале рудной зоны от первого до четвертого порядка включительно, производится нами по программе с индексом "06" (МГУ - 69 г.), составленной на языке "Алгол" и пригодной для использования на любых ЭВМ класса "Минск-22". При этом на автоматическую печать выдаются: геохимический символ монотонного показателя λ , его характеристика (убывающий; возрастающий), численные значения по уровням, его значения, приведенные к минимальной величине показателя для рудной зоны в целом (разрешающая сила) и величины различий между смежными уровнями (степень монотонности). Для иллюстрации на рис. 8 приведены результаты, выданные АЦУ, содержащие заголовок программы со значениями первого монотонного геохимического показателя $\lambda = \left(\frac{I}{I}\right)$, значения последнего из числа $\left(\frac{2}{2}\right)$ и первого из монотонных $\left(\frac{3}{3}\right)$, характеризующие II уровень рассматриваемой модели оруденения. Цифры в числителе и знаменателе геохимического показателя отвечают порядковым номерам химических элементов при вводе исходных данных в ЭВМ; до перехода к вычислению показателей следующего порядка печатается общее число рассмотренных геохимических показателей предыдущего порядка. Для анализа 500 геохимических показателей при 8-10 уровнях в зависимости от числа монотонных показателей, выдаваемых на печать, требуется 7-15 минут машинного времени.

Исследование рассматриваемой модели эндогенного оруденения по программе "06", помимо упомянутых выше 5 монотонных геохимических показателей первого порядка, позволило выявить дополнительно 29 монотонных показателей зональности второго порядка (из 231 возможных) и 153 монотонных показателя третьего порядка (из 1281 возможных). Уже в состав монотонных геохимических показателей второго порядка в различных комбинациях вошли все семь рудных элементов, включая медь и цинк. Большими градиентами своих значений характеризуются для верхних горизонтов модели - показатель $\lambda = As^3/CuCo^2$ (разрешающая сила 125 900,0), для

нижних горизонтов - $\sqrt[3]{\text{CuAs}^2/\text{Co}^3}$ (разрешающая сила 79 428, I). Все монотонные показатели имеют ясный геохимический смысл, отражая положение рудных элементов в зональной колонке. Так, например, показатели $\sqrt[3]{\text{AsAgCu}/\text{MoCoZn}}$ (разрешающая сила 478,8), $\sqrt[3]{\text{AsAgPb}/\text{CuCo}^2}$ (разрешающая сила 1820,4) или приведенные выше два других показателя вполне закономерно имеют в числителе элементы, тяготеющие к верхним горизонтам рудной зоны, в знаменателе - к нижним. Если присвоить рудным элементам порядковые номера в соответствии с принятой моделью зональности их отложения ($\text{As} = 1$, $\text{Ag} = 2$, $\text{Pb} = 3$, $\text{Cu} = 4,5$, $\text{Zn} = 4,5$, $\text{Mo} = 6$, $\text{Co} = 7$), то сумма порядковых номеров элементов, находящихся в числителе, для любого из монотонных показателей оказывается меньше суммы порядковых номеров знаменателя, составляя в среднем 1:2,5. Таким образом, автоматизация выбора монотонных показателей зональности не нарушает их объективного геохимического смысла.

Роль каждого из рудных элементов при образовании 177 монотонных геохимических показателей первого-третьего порядков (без учета $\sqrt[2]{\frac{1}{1}}$ и $\sqrt[3]{\frac{1}{1}}$) показана в табл. 2, в которой элементы расположены в порядке относительной частоты их появления в числителе или знаменателе дроби.

Таблица 2

Положение химического элемента		As	Ag	Cu	Pb	Mo	Zn	Co
		I	2	3	4	5	6	7
В числителе	по числу	273	79	30	53	51	11	нет
	в %	100,0	61,6	54,5	46,5	37,8	16,9	0,0
В знаменателе	по числу	нет	49	25	61	84	54	224
	в %	0,0	38,4	45,5	53,5	62,2	83,1	100,0

Эти данные показывают, что устойчивое положение только в числителе или только в знаменателе свойственно мышьяку и кобальту, соответственно заданному на модели монотонному убыванию (As) или возрастанию (Co) их содержаний по падению рудной зоны. Существ-

венное тяготение к нижним горизонтам модели обнаруживают цинк (83,1% случаев) и молибден (62,2%), при этом преимущественное положение цинка в знаменателе геохимических показателей вносит коррективы в порядковую нумерацию рудных элементов, положенную в основу модели ($Z_n = 6$ вместо 4,5). Серебро занимает относительно устойчивое место в числителе (61,6%), меди и свинцу свойственно переменное положение соответственно их менее резкой дифференциации относительно надрудного и подрудного интервалов модели. Менее устойчивое положение, свойственное элементам центральной части рудной зоны, обнаруживается главным образом в геохимических показателях малой разрешающей силы. Учитывая, что разрешающая сила любого из 5 показателей первого порядка $> 6,0$, следует считать слабыми показатели второго порядка с разрешающей силой $\leq 36,0 = 6^2$ и третьего порядка $\leq 216,0 = 6^3$. Число таких показателей с малой разрешающей силой второго порядка - 3 и третьего порядка - 24. В практике геохимических поисков отбрасывание показателей с малой разрешающей силой упрощает последующий выбор необходимых индикаторных отношений между элементами.

Табл. 3 содержит сведения о числе химических элементов, образующих монотонные геохимические показатели различных порядков, и значениях их максимальной разрешающей силы. Для сравнительной оценки последнего признака в правом столбце даны значения разрешающей силы показателей старших порядков, приведенные к первому порядку.

Важно отметить, что 73,5% всех монотонных геохимических показателей первого-третьего порядков образованы при участии четырех или большего числа химических элементов, а из общего числа 177 показателей только 5 (2,8%) являются показателями первого порядка. С увеличением порядка геохимических показателей в огромной степени возрастает их разрешающая сила, хотя в частном случае нашей модели приведенная к первому порядку величина максимальной разрешающей силы $\sqrt[i]{V_i}$ для показателей второго порядка снижается и, возрастая для показателей третьего порядка, не достигает силы показателя первого порядка. Общее снижение разрешающей силы геохимических показателей отмечается и по мере роста числа химических элементов, входящих в их состав. В конкретном случае рассматриваемой модели это объясняется высокой разрешающей силой отношения $As/Co = 100,0$. В общем случае снижение при-

Таблица 3

Число химических элементов	Число геохимических показателей					Максимальная разрешающая сила	$(\sqrt[i]{V_i})_{\max}$
	$\sqrt{1}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{3}$	Всего			
				число	%		
2	5	-	-	5	2,8	$\sqrt{1}=100,0$	100,0
3	-	12	30	42	23,7	$\sqrt{2}=2511,5$ $\sqrt{3}=251151,7$	50,1 63,0
4	-	12	69	81	45,8	$\sqrt{2}=380,2$ $\sqrt{3}=39819,6$	19,4 34,0
5	-	-	41	41	23,2	$\sqrt{3}=6028,1$	18,4
6	-	-	8	8	4,5	$\sqrt{3}=575,7$	8,3
Всего	5	24	148	177	100,0		

веденной величины разрешающей силы с увеличением порядка геохимических показателей и числа входящих в них рудных элементов не имеет места. Более того, монотонные геохимические показатели первых порядков нередко могут отсутствовать и необходимые индикаторы зональности обнаруживаются только при обращении к показателям старших порядков.

В практике поисков целесообразно отдавать предпочтение многоэлементным геохимическим показателям зональности, так как они меньше подвержены влиянию природных и технических помех. На примере нашей модели можно проследить, что максимальная разрешающая сила трех-, четырех- и пятиэлементных геохимических показателей второго и третьего порядков, образованных путем простого перемножения монотонных показателей первого порядка, во всех случаях в 2-15 раз меньше максимальной разрешающей силы показателей тех же порядков, выявляемых по программе "06". Все это убедительно доказывает прямую необходимость анализа зональности оруденения с помощью ЭВМ, без применения которых поиски монотонных показателей старших порядков практически нереальны.

В состав любого из 177 монотонных показателей зональности первого-третьего порядков, характеризующих нашу модель, входят либо мышьяк, либо кобальт или оба эти элемента, соответственно в числителе и в знаменателе. С этой стороны уместно оценить отно-

сительную роль каждого из рудных элементов по числу занимаемых ими мест в числителе (знаменателе) и по числу геохимических показателей, в составе которых они принимают участие (табл.4).

Таблица 4

Участие химических элементов	As	Co	Ag	Mo	Pb	Zn	Cu	As/Co
По числу мест, в % от 497+497	55,0	45,0	25,7	27,2	23,0	13,8	11,0	-
По числу $\sqrt{\quad}$ в % от 177	91,0	79,5	56,0	55,5	44,5	35,0	30,5	70,5

Эти данные позволяют расположить рудные элементы в порядке их условной "информативности": As, Co, (Ag, Mo), Pb, Zn, Cu. Та или иная "информативность" элемента, как и его зональное положение (табл.2), очевидно, является результатом взаимосвязанного влияния всей совокупности элементов, участвующих в рудообразовании. Это отчетливо видно на примере мышьяка и кобальта, обнаруживающих различную "информативность", хотя распределение их содержаний было задано на модели по одинаковым (взаимообратным) законам. Меньшая "информативность" основных рудных компонентов, отлагающихся в режиме насыщения, по сравнению с элементами-спутниками неоднократно отмечалась нами в практике геохимических поисков.

Большое число монотонных геохимических показателей третьего порядка, свойственных выбранной модели оруденения, делало нецелесообразным отыскание монотонных показателей четвертого порядка, число которых для 7 химических элементов из 4515 возможных неизбежно оказалось бы чрезмерно велико. В то же время излишне большая роль мышьяка и кобальта в составе выявленных показателей зональности первого-третьего порядков заставила дополнительно исследовать возможность существования монотонных показателей четвертого порядка для той же модели оруденения, но без этих двух элементов. Соответствующая обработка по программе "06" показала, что среди 390 возможных геохимических показателей $\sqrt[4]{\quad} = \left(\frac{4}{4}\right)$, образуемых пятью химическими элементами (Cu, Zn, Ag, Pb, Mo),

монотонные показатели также отсутствуют. Этот результат следует рассматривать как неблагоприятный, в известной мере объясняющий те трудности, которые возникают при отыскании монотонных геохимических показателей зональности медноколчеданных месторождений (см. ниже).

Обращаясь к обобщенной модели любого эндогенного оруденения, наряду с направленным зональным изменением состава минерализации от верхних горизонтов к нижним, легко обнаружить ее симметричное строение относительно центральных интервалов рудной зоны. Действительно, в любом реальном рудном теле содержания основных полезных компонентов закономерно убывают одновременно и к верхним и к нижним выклинкам, этот же признак характерен для содержаний многих элементов-спутников, отлагающихся с ними в режиме соосаждения. Поэтому, помимо существенных различий между верхними и нижними интервалами зоны минерализации, определяющих наличие геохимических показателей, монотонно изменяющихся с глубиной, между надрудными и подрудными первичными ореолами наблюдаются отчетливые признаки сходства. Одновременно им свойственны общие признаки, отличающие ореолы от центральных интервалов оруденения. Это подтверждают графики отношений между содержаниями пар элементов, имеющие нередко "дугообразный", выпуклый или вогнутый вид или более сложный характер, близкий к симметричному относительно центра рудной зоны. Поскольку численные значения абсолютных содержаний химических элементов и отношений между их содержаниями повторяются и в верхних и в нижних интервалах рудной зоны, установление различий между ними становится невозможным, в том числе и при одновременном исследовании двух смежных горизонтов (скважин). Примерами такого рода для выбранной модели служат симметричные графики отношений Ag/Cu , Zn/Pb и Zn/Mo (рис.6).

С целью более подробного анализа признаков сходства и различий между надрудными и подрудными ореолами модели оруденения были исследованы монотонные геохимические показатели первого-третьего порядков для пяти химических элементов (Zn , Cu , Ag , Pb , Mo) в интервале уровней O-Y и Y-X. В результате было найдено 37 монотонных показателей для верхних интервалов и 17 - для нижних. При этом однотипных геохимических показателей, которые имели бы убывающий характер в верхней половине модели и возрастающий в нижней, выявлено не было. Однако признаки симметрии модели нашли отражение в "азональном" положении меди, свинца и се-

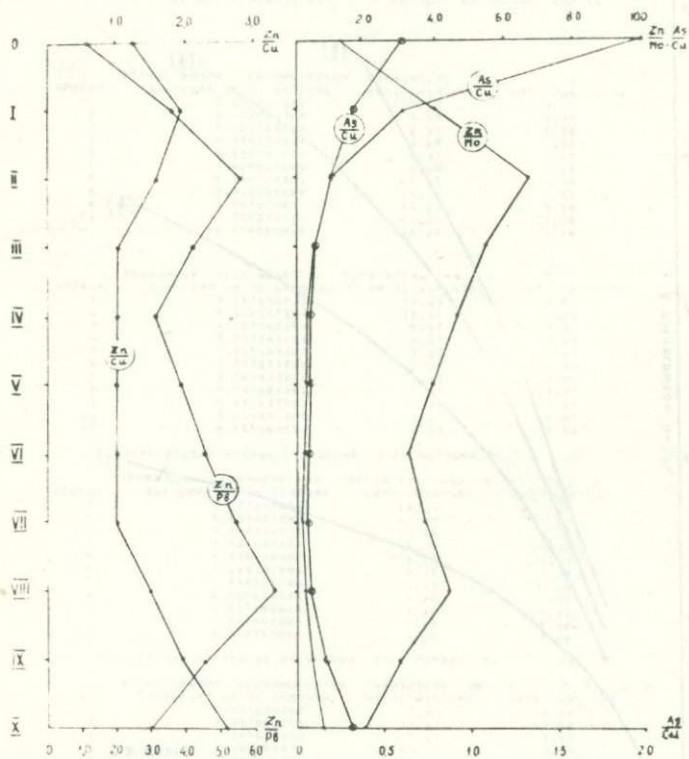


Рис. 6 Модель эндогенного оруднения. Графики величин парных отношений между совмещаемыми рудными элементами

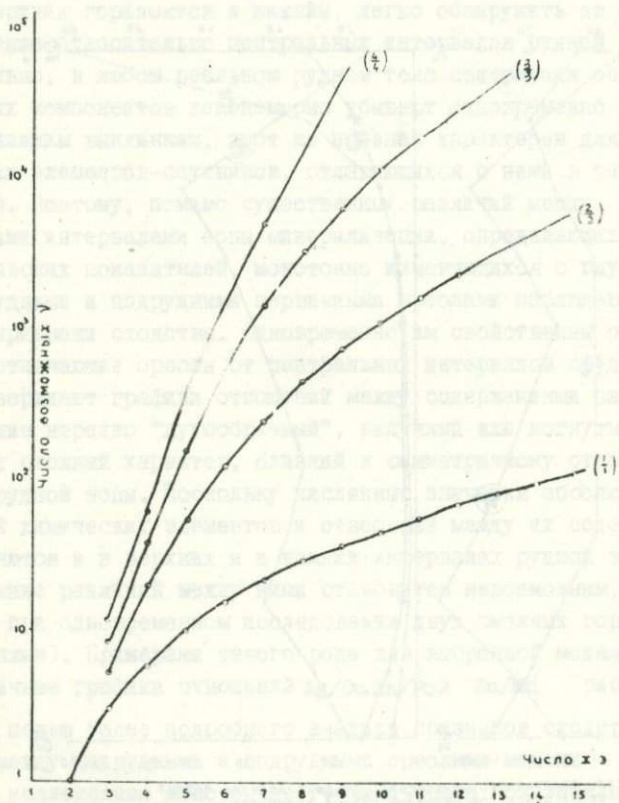


Рис. 7. Число возможных геохимических показателей зональности I-IV порядков, в зависимости от числа химических элементов.

КАФЕДРА ГЕОМИНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА ИГУ

ПРОГРАММА 05
 ВЫБОР МОНОТОННЫХ ОТНОШЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ
 КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕМЕНТОВ EL1: 7 КОЛИЧЕСТВО УРОВНЕЙ UH: 11

УРОВНИ	ВОЗРАСТАЮЩИЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ №0: 1 / 2	
	Значения на По Уровням	НО(1)/НО(1+1)
1	0.100000000	1.00
2	0.150504300	1.50
3	0.251100500	2.51
4	0.300044000	3.00
5	0.450097200	4.51
6	1.000000000	10.00
7	1.504793000	15.05
8	2.512200000	25.12
9	3.001072000	30.01
10	4.500075000	45.00
11	10.000000000	100.00

УРОВНИ	УБЫВАЮЩИЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ №0: 2 / 7	
	Значения на По Уровням	НО(1)/НО(1+1)
1	0.551098000	15.05
2	0.300070000	10.00
3	0.167767000	6.07
4	2.753046000	4.57
5	1.019469000	3.02
6	1.202281000	2.00
7	0.704433000	1.20
8	0.741084000	1.25
9	0.691037000	1.15
10	0.645641000	1.07
11	0.602409000	1.00

ЧИСЛО РАССМОТРЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ 1-ГО ПОРЯДКА №: 21

УРОВНИ	УБЫВАЮЩИЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ №0: 2 / 7 2	
	Значения на По Уровням	НО(1)/НО(1+1)
1	0.122348000	24.01
2	0.080070000	17.00
3	0.094511000	17.00
4	3.507545000	6.04
5	2.029416000	4.02
6	1.202281000	2.10
7	0.549722100	1.05
8	0.501020000	1.17
9	0.457100600	1.00
10	0.410032300	1.10
11	0.379953500	1.00

ЧИСЛО РАССМОТРЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ 2-ГО ПОРЯДКА №: 211

УРОВНИ	ВОЗРАСТАЮЩИЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ №0: 1 1 1 / 2 2 2	
	Значения на По Уровням	НО(1)/НО(1+1)
1	0.001000000	1.00
2	0.003002204	1.00
3	0.015040000	1.00
4	0.063000000	63.27
5	2.251234200	251.24
6	1.000000000	100.00
7	3.000510000	1000.52
8	15.000300000	15000.30
9	60.000700000	60000.70
10	251.117000000	251117.20
11	1220.000000000	999999.00

Рис. 8. Модель эндогенного оруднения. Результаты обработки на ЭВМ
 выданные на печать (фрагмент)

ребра в составе монотонных (убывающих) геохимических показателей для верхних и нижних интервалов рудной зоны. Так, в интервале 0-У в 97,3% случаев медь занимает место в знаменателе, а в интервале У-Х в 100,0% случаев - в числителе геохимических показателей, что полностью соответствует в верхней половине рудной зоны возрастающим и постоянным ее содержаниям, в нижней - сперва постоянным, а затем убывающим содержаниям. Аналогичное неустойчивое положение в монотонных геохимических показателях "надрудный ореол - руда" и "руда - подрудный ореол" характерно для серебра и свинца. Устойчивое тяготение к нижним горизонтам обеих половин рудной зоны обнаруживают только молибден и цинк, в 84-88-100% случаев занимающие положение в знаменателе геохимических показателей.

Наличия только двух устойчивых по своему положению рудных элементов (Zn, Mo), и притом с одинаковой зональной характеристикой, недостаточно для появления монотонных геохимических показателей для всех II уровней рудной зоны. Это подтверждается уже упомянутым отсутствием таких показателей среди общего числа 550 рассмотренных \downarrow , от первого до четвертого порядка включительно, при исследовании модели оруденения, образованной 5 химическими элементами. В принципе для этой модели можно допустить существование монотонных геохимических показателей более высоких порядков, типа $\left(\frac{5}{5}\right)$ или $\left(\frac{6}{6}\right)$, однако и это не гарантировано. Благоприятные условия для появления монотонных показателей определяются одновременным наличием химических элементов, отчетливо тяготеющих к верхним горизонтам оруденения, занимающих устойчивое положение в числителе \downarrow . В частности, это могут быть Sb, As, Ba, Hg, J и другие более легколетучие или "низкотемпературные" элементы. Все это указывает на необходимость полиэлементных исследований при геохимических поисках слепых рудных тел.

Практическая необходимость решения поисковых задач уже по содержаниям малого числа химических элементов делает целесообразным дополнительное рассмотрение зональной характеристики пятиэлементной модели оруденения. Используя найденные по программе "06" монотонные геохимические показатели для интервалов 0-У и У-Х (или их произведения), можно дополнительно вычислить недостающие значения \downarrow для остальных интервалов рудной зоны. Численные значения этих показателей не будут монотонно изменяться с глубиной, однако среди них можно выбрать два или несколько геохимических

показателей, совместное рассмотрение которых определяет различия между любыми интервалами рудной зоны. Одно из возможных решений этой задачи иллюстрируют графики значений $\check{V}' = \text{Ag}^4 \text{CuPb} / \text{Zn}^2 \text{Mo}^4$ и $\check{V}'' = \text{Ag}^2 / \text{ZnCu}$ (рис.9), не имеющие монотонного характера*. По величине \check{V}' можно достаточно уверенно различать только верхние горизонты оруденения от нижних (разрешающая сила $\check{V}'_0 : \check{V}'_{\text{viii}} = 277$, $\check{V}'_0 : \check{V}'_3 = 172$), но нельзя обнаружить различий между горизонтами 0-III, что имеет первостепенное поисковое значение. Если изучаемая рудная минерализация по величине \check{V}' относится к интервалам выше IV уровня, дополнительное вычисление геохимического показателя \check{V}'' позволяет установить ее принадлежность к надрудному первичному ореолу (уровни 0, I) или отнести к проявлениям убогого оруденения центральных интервалов (уровни III-IV). Разрешающая сила \check{V}'' в интервале уровней 0-III составляет 26,4, это перекрывает возможные ошибки спектрального анализа. По величине \check{V}'' , очевидно, нельзя различать надрудные и подрудные ореолы оруденения, тогда как совместное рассмотрение \check{V}' и \check{V}'' обеспечивает однозначную диагностику горизонтов рассматриваемой модели. В практике поисков установление различий между убогими проявлениями рудной минерализации, относимыми по величине геохимического показателя к центральным (V-VIII) или подрудным (IX-X) интервалам оруденения, не имеет значения, поскольку в любом случае подобные геохимические аномалии оракутся. Если же возникает необходимость оценить вероятную глубину распространения промышленного оруденения, для решения этой задачи могут быть выбраны геохимические показатели, имеющие монотонный характер в интервалах V-X, III-X или II-VIII для однотипных разведанных рудных тел. Сужение числа интервалов, естественно, упрощает задачу отыскания монотонных геохимических показателей.

Выдвинутое нами требование монотонности геохимических показателей, характеризующих зональность рассмотренных моделей оруденения, отвечает условию функциональной зависимости между величиной \check{V}_z и положением соответствующего уровня в вертикальном разрезе рудной зоны (z). Иначе говоря, для диагностики интервалов рудной зоны выбираются геохимические показатели, характеризующие величиной коэффициента корреляции $|\check{r}_{\check{V}_z}| = 1,0$. Между тем

* Вычисления недостающих значений \check{V} проводились на ЭВМ "Мир-1".

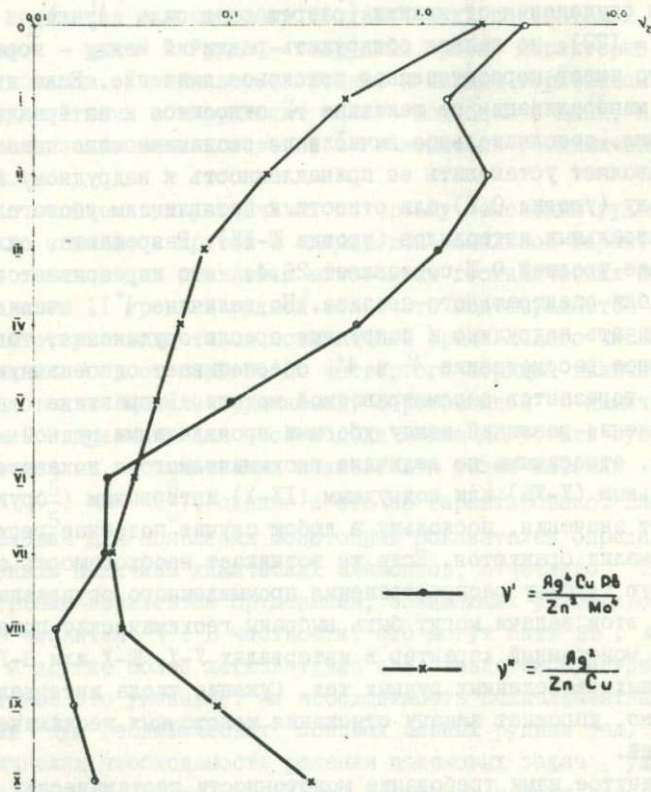


Рис.9. Установление различий между уровнями "0—У1" по двум
 немонотонным геохимическим показателям зональности
 / модель, 5 х:р./.

известно, что природным геологическим объектам чаще свойственны значения коэффициентов корреляции между параметрами $|r_{xy}| < 1,0$. Ниже на практических примерах будет показано, что наложенное нами жесткое условие в благоприятных случаях оправдано. Это не исключает возможности использования в практике геохимических показателей λ , характеризующихся статистически значимыми величинами $|r_{yz}| < 1,0$. В частности, величина приведенного выше геохимического показателя $\lambda = Ag^4 Cu Pb / Zn^2 Mo^4$ для пятиэлементной модели имеет ранговый коэффициент корреляции с глубиной $r_{yz} = 0,955$, достаточно близкий к 1,0.

Столь подробное рассмотрение зональных характеристик выбранных нами моделей оруденения оправдано трудностью отыскания в практике геохимических поисков однозначных количественных критериев для диагностики интервалов минерализации без ясного понимания взаимосвязанной роли отдельных рудных элементов и без применения соответствующего вычислительного аппарата (программа "06"). Обобщенные данные для этих моделей приведены в табл.5.

Таблица 5

Характеристика модели (рис.5)		Геохимические показатели зональности λ_i *				
химические элементы	число химических элементов	уровни	$(\frac{1}{1})^{**}$	$(\frac{2}{2})$	$(\frac{3}{3})$	$(\frac{4}{4})$
Zn, Cu, As, Ag, Pb, Mo, Co	7	0-X	$\frac{21}{5}$	$\frac{231}{29}$	$\frac{1281}{153}$	-
Zn, Cu, Ag, Pb, Mo	5	0-X	$\frac{10}{\text{Нет}}$	$\frac{55}{\text{Нет}}$	$\frac{170}{\text{Нет}}$	$\frac{390}{\text{Нет}}$
Zn, Cu, Ag, Pb, Mo	"	0-Y	$\frac{10}{2}$	$\frac{55}{10}$	$\frac{170}{29}$	-
Zn, Cu, Ag, Pb, Mo	"	Y-X	$\frac{10}{3}$	$\frac{55}{6}$	$\frac{170}{12}$	-

* Включая $\lambda_i = (\frac{1}{1})^i$

** В числителе - всего рассмотрено, в знаменателе - оказалось монотонных.

Естественно, что конкретные наименования, присвоенные химическим элементам в этих моделях, при известной близости к реальным имеют только условный смысл и в более общем понимании под ними можно подразумевать самые различные полезные компоненты оруденения и их элементы-спутники. При этом результаты исследования зональности этих простейших моделей могут быть обобщены на другие подобные модели эндогенного оруденения иного вещественного состава. Детальное рассмотрение более сложных формализованных моделей составляет задачу дальнейших работ.

Результаты анализа зональности конкретных объектов

Рассмотренные в предыдущих разделах теоретические законы эндогенного рудоотложения и результаты исследования моделей оруденения позволили применить предложенный аппарат для анализа зональности рудных месторождений различных генетических типов. Выявленные при обработке результатов геохимического опробования на ЭВМ геохимические показатели зональности месторождений, монотонно изменяющиеся с глубиной использовались для диагностики интервалов оруденения и геологической интерпретации геохимических аномалий при поисках слепых рудных тел (рис. I).

Переход от исследования идеализированных моделей к изучению реальных объектов связан с проверкой наличия и степени устойчивости монотонных геохимических показателей для конкретных месторождений, а также с оценкой разрешающей силы и дисперсии численных значений этих показателей в зависимости от их вида, геологических условий и характера входных данных. К настоящему времени получены только первые результаты подобных исследований, недостаточные для исчерпывающего ответа на все эти вопросы. В частности, еще не установлены доверительные интервалы оценок уровней оруденения с помощью геохимических показателей, требуют уточнения принципы выбора показателей, повышающих точность соответствующих оценок, и вытекающие из этого требования к объему и качеству геохимической информации. Продолжающиеся исследования имеют своей целью последовательное решение этих вопросов.

При анализе моделей оруденения входными данными для отыскания монотонных геохимических показателей зональности служили условные "содержания" рудных элементов, для конкретных объектов это понятие требует уточнения. В принципе наиболее правильно для выявления зональности по каждому из уровней рудной зоны подочи-

тывать величину привноса (или выноса) каждого элемента в процессе рудоотложения. Мерой этого количества является линейная продуктивность зоны минерализации (M в $m\%$), вычисляемая за вычетом местного геохимического фона. Линейная (и площадная) продуктивность какой-либо геохимической аномалии – величина параметрическая, поэтому, если процесс протекал в относительно однородной среде, графики $M_z = f(z)$ позволяют по абсолютным отметкам для каждого из элементов судить о зональности их отложения. Однако безразмерный характер геохимического показателя \checkmark позволяет для его определения, при постоянном шаге опробования, использовать и средние арифметические содержания рудных элементов (\bar{C} , за вычетом фона). Обязательным условием при этом является вычисление средних по одинаковому для всех элементов интервалу, охватывающему на данном уровне всю область аномальных содержаний основных рудных компонентов и их элементов-спутников. Учитывая логнормальный характер ошибок спектрального анализа, значения среднего арифметического в этих случаях мы определяли по формуле максимально-правдоподобной оценки, по программе "OI"^{*}. Неравномерный шаг опробования требует вычисления величины M или средневзвешенного содержания.

Уместно коротко коснуться роли природных и технических помех, в различной мере влияющих на устойчивость геохимических показателей зональности. Очевидно, что роль случайных помех минимальна для монотонных геохимических показателей, обладающих большой разрешающей силой и большими градиентами своих значений между любыми двумя смежными уровнями рудной зоны. Такие геохимические показатели будут помехоустойчивыми в противоположность помехонеустойчивым показателям с малой разрешающей силой. Благодаря безразмерному характеру \checkmark численные его значения не зависят от наложения коррелированных технических помех, выраженных случайным завышением (занижением) содержаний всех химических элементов на данном уровне, от "богатства" или "бедности" данного интервала рудной зоны, ее раздува или пережима, при условии сохранения

^{*} Содержания основных химических элементов в ореолах и рудах большинства рассматриваемых месторождений определялись эмиссионным спектральным анализом (ДФС-13), ртути – атомно-абсорбционным методом (КазРАФ), золота – химико-адсорбционным методом со спектральным окончанием.

постоянства соотношений между содержаниями рудных элементов. В математической интерпретации это означает, что величина χ для серии фиксированных уровней не зависит от величины размаха средних содержаний элементов ($\bar{C}_{\max} - \bar{C}_{\min}$) и дисперсия χ для одноименных уровней конкретного месторождения определяется только отклонением коэффициента корреляции между оценками средних содержаний (или продуктивностей) двух элементов от величины $\sigma_{xy} = 1,0$.

Значительная часть наших исследований была посвящена изучению первичных ореолов и эндогенной зональности медноколчеданных месторождений Северных Мугоджар и Южного Урала с целью обоснования методики геохимических поисков слепых рудных тел в этих районах. Полученные данные показывают, что решение этой задачи потребует еще значительного объема дополнительных исследований. Поэтому ниже первоначально излагаются результаты анализа зональности месторождений других типов.

Месторождение Миргалмсай (Казахстан) представлено прожилково-вкрапленным свинцово-цинковым оруденением, приуроченным к постоянному литолого-стратиграфическому горизонту карбонатных толщ верхнего девона. Относится к хорошо известному типу стратиформных месторождений спорного генезиса.

Для исследования были выбраны данные геохимического опробования скважин по четырем разведочным профилям, вскрывающим месторождение на глубину до 900,0 м в интервале от верхних рудных до подрудных горизонтов включительно. Монотонные геохимические показатели зональности по программе "06" отыскивались по величинам метропроцента (М) для Pb, Zn, Cu, Mn, As, Hg, Ag и Ba (8 химических элементов) по 8 скважинам для каждого из профилей*.

По трем разведочным профилям (профили 26 Сев., 26 Юж. и 3), обнаружилось достаточно большое число геохимических показателей первого, второго и третьего порядков, монотонно изменяющихся с глубиной, в том числе 9 показателей оказались общими для всех трех профилей ($\frac{1}{1}$ - 1, $\frac{2}{2}$ - 2 и $\frac{3}{3}$ - 6). По профилю 9 монотонными оказались только пять геохимических показателей третьего порядка, не повторяющиеся на трех других профилях (табл.6).

В состав девяти общих геохимических показателей зональности для трех первых профилей входят: Hg, Ag и As в числителе, Zn,

* Данные представлены Л.И.Шиловым (Каз.ВИРТ).

Pb и Mn в знаменателе, Hg и Zn вошли во все эти показатели. Все пять геохимических показателей для профиля 9 содержат в числителе Ba, четыре из них имеют в знаменателе Cu. Более подробно была исследована зональность только первого типа.

Характер изменения с глубиной монотонного геохимического показателя $\downarrow = \text{AgHg}^2/\text{PbZn}^2$ по трем разведочным профилям показан на рис. I0 и II. Выбранный геохимический показатель имеет высокую разрешающую силу и в целом, изменяясь в 43,5 млн. раз, имеет близкие численные значения на верхних и нижних горизонтах (уровнях) рудной зоны по всем трем профилям. Наблюдаемый однотипный характер зональности в двух крыльях антиклинальной структуры по профилям 26 Сев. и 26 Южн. (рис. I0) позволяет высказать предположение о послескладчатом формировании оруденения. В свою очередь непрерывное убывание величины \downarrow по профилю 3 отчетливо подчеркивает пострудный характер тектонических нарушений.

Для II скважин, подвергавшихся геохимическому опробованию, по профилю 9 были вычислены значения выбранного геохимического показателя, которые по величине оказались близкими соответственно верхним (скважина I) и нижним (скважины 7, 8, 9, II) значениям \downarrow по другим профилям. Промежуточные значения \downarrow получили скважины 2-6 и I0. Немонотонный, "блоковый" характер изменения величины \downarrow по профилю 9 можно объяснять наличием здесь серии тектонических нарушений. В то же время ранговый коэффициент корреляции между величиной \downarrow и порядковым номером скважин имеет для этого профиля достаточно большую величину - $r_{\downarrow 2} = 0,84$, и выбранный геохимический показатель с учетом его общей характеристики по четырем разведочным профилям (35 скважин) можно считать достаточно устойчивым.

Объемное изучение зональности месторождения Миргалымсай с использованием полученных данных составляет предмет специальных исследований.

Для второго полиметаллического месторождения (Казахстан), относимого также к стратиформному типу, по значениям линейных продуктивностей I0 химических элементов: Sr, Zn, Pb, Ba, As, Cu, Cd, Mo, Ag, Hg, при 6 уровнях, охватывающих интервал от верхних рудных до подрудных горизонтов, по одному из разведочных профилей было выявлено 26 монотонных геохимических показателей второго-третьего порядков. Максимальная разрешающая сила и вид соответствующего геохимического показателя приведены в

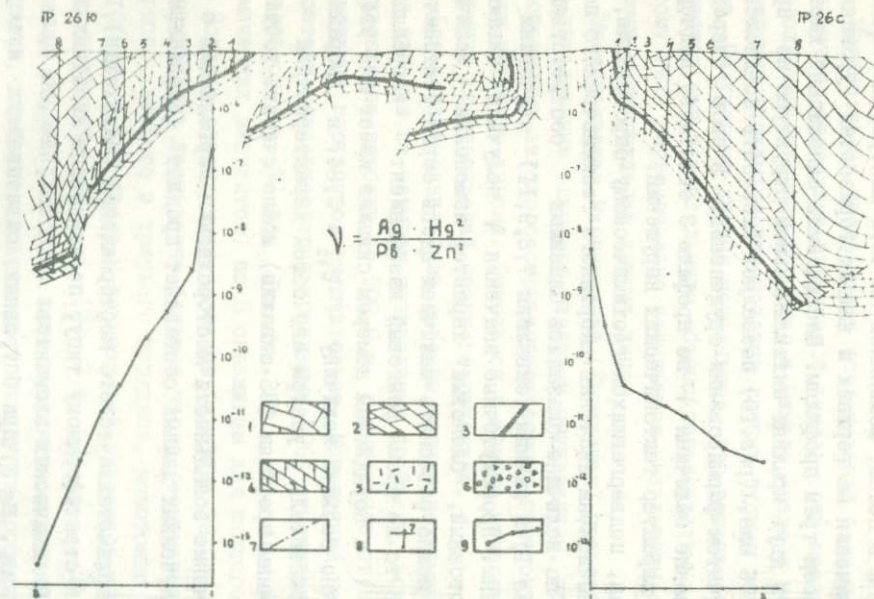


Рис. 10. МЕСТОРОЖДЕНИЕ МУРГАЛМСКОЙ, пр. 26а-26с.

Изменение величин геохимического показателя зональности с глубиной. 1 - известняки D_1 ; 2 - известняки D_2 ; 3 - рудный горизонт D_3 ; 4 - известняки D_4 ; 5 - аргиллиты D_5 ; 6 - тектоническая брекчия; 7 - тектонические нарушения; 8 - редкие вулканические отложения; 9 - график V_2 . (по Л.И. Дядову).

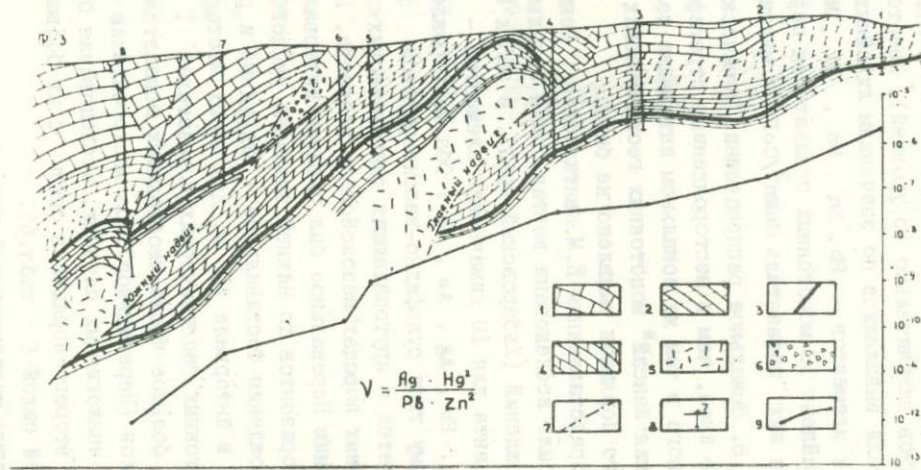


Рис. 11. МЕСТОРОДИЩЕ МИРАЛИМСАЙ, пр.3.
 Изменение величины геохимического показателя зональности с глубиной.
 Условные обозначения см.рис.10. (по Л.И. Дялову).

табл.6, показателей зональности первого порядка для этого месторождения (в числе возможных для перечисленных 10 химических элементов) нет.

Для скарново-полиметаллического месторождения Алтын-Топкан (Таджикистан) исследования зональности были проведены по рудной зоне I в профиле скважин 403-450, в интервале от надрудного до подрудного горизонтов включительно (5 уровней). Монотонные геохимические показатели выявлялись по значениям линейных продуктивностей 9 химических элементов - Pb, Sn, Mn, Ni, Mo, Cu, Ag, Zn, Co *. Было найдено 19 монотонных показателей первого-третьего порядков, среди них показатель $CuMn^2/CoPb^2$ с максимальной разрешающей силой 306,8. Зональное распределение химических элементов в данном случае иное, чем в месторождениях стратиформного типа. Для исследованного в том же зональном интервале полиметаллического месторождения Кансай* монотонных геохимических показателей первого-третьего порядков выявлено не было.

По материалам, представленным Е.М.Квятковским (Ленинградский горный институт), была исследована вертикальная зональность двух оловорудных месторождений (Хабаровский край), в обоих случаях по значениям метропроцента для 10 химических элементов - Sn, W, Bi, Co, Cu, Zn, Pb, Ag, As, Sb. Оба месторождения относятся к турмалиновому типу сульфидно-касситеритовой формации, оруденение локализуется в крутопадающих тектонических зонах в осадочных и эффузивных породах мезозойского возраста. Исследованиями по месторождению Перевальное был охвачен интервал 550 м от верхних надрудных горизонтов до нижней выклинки рудного тела (7 уровней), по месторождению Фестивальное - надрудный и рудные горизонты (5 уровней) в интервале 450 м. Для обоих месторождений, при отсутствии монотонных геохимических показателей I порядка, выявлено достаточно большое число необходимых показателей второго и третьего порядков (Перевальное). По месторождению Фестивальное, как и в других аналогичных случаях, исследования были ограничены показателями второго порядка в связи с их большим числом и хорошей разрешающей силой (табл.6).

В числе золоторудных месторождений была исследована зональность Нежданинского месторождения (Якутская АССР) для рудных го-

* Данные С.В.Григоряна, 1970 г., ИМГРЭ.

Выбор монотонных геохимических показателей зональности \downarrow . Программа "06" - МГУ, 1969 г.

Но- мер по пор.	Объект	Полез- ное иско- паемое	Число химич. эле- мент.	Число уров- ней	Геохимические показатели			\downarrow	Разреша- ющая сила
					($\frac{1}{1}$) I	($\frac{2}{2}$) 2	($\frac{3}{3}$) 3		
I	Миргалимсай профиль 26 Сев.	Pb, Zn	8	8	$\frac{28}{2}$	$\frac{406}{7}$	$\frac{2884}{28}$		
	" профиль 26 Юж.	"	"	"	$\frac{28}{3}$	$\frac{406}{21}$	$\frac{2884}{120}$	$AgHg^2/PbZn^2$	$4,35 \cdot 10^7$
	" профиль 3	"	"	"	$\frac{28}{2}$	$\frac{406}{17}$	$\frac{2884}{95}$		
	" профиль 9	"	"	"	$\frac{28}{\text{нет}}$	$\frac{406}{\text{нет}}$	$\frac{2884}{5}$		$z_{1z}=0,84$ $n=II$
2	Второе полиметаллическое	"	10	6	$\frac{45}{\text{нет}}$	$\frac{1035}{2}$	$\frac{II265}{24}$	Sr^2As/Zn^3	II76,0
3	Алтын-Топкан, рудная зона I	"	9	5	$\frac{36}{I}$	$\frac{666}{3}$	$\frac{5916}{15}$	$CuMn^2/CoPb^2$	306,8
4	Кансай, рудное тело "Новое"	"	10	7	$\frac{45}{\text{нет}}$	$\frac{1035}{\text{нет}}$	$\frac{II265}{\text{нет}}$	Нет	-
5	Перевальное, зона Северная, профиль I7	Sn	10	7	$\frac{45}{\text{нет}}$	$\frac{1035}{8}$	$\frac{II265}{73}$	$BiAgSb/W^3$	30900,0
6	Фестивальное, зона Ягодная, профиль I3	Sn	10	5	$\frac{45}{\text{нет}}$	$\frac{1035}{26}$	-	$BiAg/WCo$	I3590,0
7	Нежданинское, профиль I' -4'	Au	9	4	$\frac{36}{5}$	$\frac{666}{96}$	-	$Ag^2/AuAs$	204,6
	" " I" -7"	"	"	7	$\frac{36}{\text{нет}}$	$\frac{666}{\text{нет}}$	$\frac{5916}{I}$	$BaAgPb/Au^2Sb$	58,7
8	Кусмурун	Cu, Au	II	5	$\frac{55}{3}$	$\frac{1540}{60}$	-	$BaSr/CuMo$	9566,0
9	50 лет Октября, профиль 27 скв. 568-615	Cu, Zn	10	6	$\frac{45}{3}$	$\frac{1035}{26}$	-	$Zn^2/CuCo$	590,0
	" скв. 568-840	"	10	8	$\frac{45}{\text{нет}}$	$\frac{1035}{\text{нет}}$	$\frac{II265}{\text{нет}}$		
	" верх-центр., скв. 568-670	"	8	3	$\frac{28}{7}$	$\frac{406}{88}$	-	"Общих": $(\frac{I}{I}) - 4, (\frac{2}{2}) - 55$	
	" центр-низ, скв. 670-840	"	8	3	$\frac{28}{10}$	$\frac{406}{156}$	-	(обращенные)	
10	Светлинское	"	5	4	$\frac{10}{\text{нет}}$	$\frac{55}{1}$	$\frac{I70}{4}$	$(\frac{4}{4}) - 9 Zn^2PbAg/Co^4$	145,8
11	Альмерек, восток-центр	Au, Bi	9	5	$\frac{33}{5}$	$\frac{666}{82}$	-	$PbZn/Bi^2$	473,0
12	Спасская зона	Cu	8	II(6)	$\frac{28}{\text{нет}}$	$\frac{406}{\text{нет}}$	$\frac{2884}{\text{нет}}$	Нет	-

* В числителе - всего рассмотрено, в знаменателе - оказалось монотонных.

Таблица 6

Выбор монотонных геохимических показателей α - Программа "06" - МУ, 1969 г.

Номер по пор.	Объект	Полезное ископаемое	Число химич. элем.	Число уровней	Геохимические показатели			Разрешающая сила	
					(1) 1	(2) 2	(3) 3		
1	Маргалинская профиль 26 Сев.	Pb, Zn	8	8	$\frac{28}{2}$	$\frac{406}{7}$	$\frac{2884}{28}$	$AgSb^2/PbZn^2$	$4,35 \cdot 10^7$
	" профиль 26 Дн.	"	"	"	$\frac{28}{3}$	$\frac{406}{21}$	$\frac{2884}{120}$		
	" профиль 3	"	"	"	$\frac{28}{2}$	$\frac{406}{17}$	$\frac{2884}{35}$		
	" профиль 9	"	"	"	$\frac{28}{нет}$	$\frac{406}{нет}$	$\frac{2884}{5}$		
2	Второе подметаллическое	"	10	6	$\frac{45}{нет}$	$\frac{1035}{2}$	$\frac{11265}{24}$	Sr^2As/Zn^3	1176,0
3	Алтин-Топкан, рудная зона I	"	9	5	$\frac{36}{1}$	$\frac{666}{3}$	$\frac{5916}{15}$	$CuMn^2/CoPb^2$	306,6
4	Кансай, рудное тело "Новое"	"	10	7	$\frac{45}{нет}$	$\frac{1035}{нет}$	$\frac{11265}{нет}$	Нет	-
5	Перевальное, зона Северная, профиль 17	Sa	10	7	$\frac{45}{нет}$	$\frac{1035}{b}$	$\frac{11265}{73}$	$BiAgSb/W^3$	30:00,0
6	Фестивальное, зона Ягодная, профиль 13	Sa	10	5	$\frac{45}{нет}$	$\frac{1035}{26}$	-	$BiAg/WCo$	13550,0
7	Некданинское, профиль I'-4'	Au	9	4	$\frac{36}{5}$	$\frac{666}{96}$	-	$Ag^2/AuAs$	204,6
	" I'-7"	"	"	7	$\frac{36}{нет}$	$\frac{666}{нет}$	$\frac{5916}{1}$	$AsAgPb/Au^2Sb$	5с,7
8	Кусмурун	Cu, Au	11	5	$\frac{55}{3}$	$\frac{1540}{60}$	-	$AsSr/CuMo$	9566,0
9	50 лет Октября, профиль 27 скв. 566-615	Cu, Zn	10	6	$\frac{45}{3}$	$\frac{1035}{26}$	-	$Zn^2/CuCo$	590,0
	" скв. 566-640	"	10	8	$\frac{45}{нет}$	$\frac{1035}{нет}$	$\frac{11265}{нет}$		
	" верх-центр.	"	8	3	$\frac{28}{7}$	$\frac{406}{88}$	-	"Остаток": $(\frac{1}{1}) - 4 \cdot (\frac{2}{2})^{-55}$ (обращение)	
10	" центр-низ, скв. 670-640	"	8	3	$\frac{28}{10}$	$\frac{406}{156}$	-		
	Светляское	"	5	4	$\frac{10}{нет}$	$\frac{55}{1}$	$\frac{170}{4}$	$(\frac{4}{4}) - Zn^2PbAg/Co^4$	145,6
11	Альмерек, восток-центр	Au, Bi	9	5	$\frac{33}{5}$	$\frac{606}{62}$	-	$PbZn/Bi^2$	473,0
12	Славская зона	Cu	8	11(6)	$\frac{28}{нет}$	$\frac{406}{нет}$	$\frac{2884}{нет}$	Нет	-

* В числителе - всего рассмотрено, в знаменителе - оказалось монотонных.

ризонтов в интервале 700 м по глубине. Месторождение относится к малосульфидному типу кварц-золоторудной формации, вмещающими породами являются алевро-песчаники пермского возраста. Монотонные геохимические показатели зональности отыскивались по значениям метропроцента для 9 химических элементов - W, Co, As, Au, Pb, Zn, Sb, Ba, Ag*.

По профилю I¹-4¹ входными данными послужили средние значения M по трем сечениям рудной зоны на каждом из четырех горизонтов, геохимическое опробование проводилось по штольням. В этом случае выявлено большое число монотонных геохимических показателей первого и второго порядков. По профилю I¹-7¹ были использованы результаты геохимического опробования разведочных канав. Эти данные позволили выявить только один монотонный геохимический показатель третьего порядка. Положение золота в обоих случаях в числителе убывающих геохимических показателей зональности служит благоприятным признаком для оценки месторождения по глубине.

Для медноколчеданного месторождения Кусмурун в Казахстане по значениям линейных продуктивностей II химических элементов (Zn, Ba, Pb, Cu, Cd, As, Bi, Sr, V, Ag, Mo) при 5 уровнях от верхних рудных до подрудных горизонтов было выявлено большое число монотонных геохимических показателей первого и второго порядков с достаточной разрешающей силой. Однако подрудные интервалы первичного ореола на этом месторождении исследованы не были.

Трудности выявления монотонных геохимических показателей зональности медноколчеданных месторождений для всего интервала "надрудный ореол - руда - подрудный ореол" обнаружались при исследовании месторождения "50 лет Октября" (Мугоджары).

Исследование интервала "надрудный ореол - руда" по разведочному профилю 27 этого месторождения (скважины 568-615, рис.12) для средних содержаний 10 химических элементов (Cu, Pb, Zn, Co, Mo, As, Ag, Mn, Ba, Cd) по 6 уровням позволило выявить достаточное число монотонных геохимических показателей зональности. При добавлении двух нижних уровней, включающих подрудный ореол (скважины 841 и 840), монотонных показателей обнаружено не было (табл.6, п.9). В связи с этим была исследована зональность оруденения по схеме "верх - центр" и "центр - низ", что подтвер-

* Данные Е.М.Квятковского (ЛГИ). Содержания золота по результатам пробирного анализа.

дило высокую степень геохимического сходства надрудных и подрудных ореолов этого месторождения. Так, среди монотонных геохимических показателей первого и второго порядков для верхней и нижней половины рудной зоны имеется 59 общих показателей, убывающих в первой половине и вновь возрастающих в нижней половине, что исключает возможность использовать их для диагностики уровней оруднения. Дальнейшие попытки подобрать геохимические показатели, относительно монотонно изменяющиеся с глубиной по профилю 27, дали неудовлетворительный результат при их использовании по смежным 25-му и 26-му разведочным профилям того же месторождения. Аналогичные трудности были встречены при попытках установить монотонные геохимические показатели зональности для Светлинского медноколчеданного месторождения на Южном Урале. В данном случае для 5 химических элементов — Cu, Zn, Pb, Ag, Co, — являющихся типоморфными для этого месторождения, по одному из разведочных профилей были найдены 14 монотонных геохимических показателей второго-четвертого порядков малой разрешающей силы. Однако численные значения этих показателей по смежным разведочным профилям показали незакономерное изменение с глубиной. Эти неблагоприятные результаты не исключают существования для медноколчеданных месторождений геохимической зональности, обеспечивающей однозначную диагностику рудных интервалов, выявление которой составляет задачу дальнейших исследований.

Одновременно с исследованием вертикальной зональности месторождений различных типов метод выявления монотонных геохимических показателей был успешно применен для анализа горизонтальной зональности рудных полей и целых рудных районов, в том числе по вторичным (гипергенным) ореолам рассеяния. Примером такого рода являются результаты исследования горизонтальной зональности золото-висмутитового рудопроявления Альмерек в Заилийском Алатау.

Уместно отметить, что попытки выявить монотонное изменение геохимических характеристик 11 (или даже только 6) медных месторождений и рудопроявлений, размещенных на протяжении 300 км в Спасской структурно-металлогенической зоне (Центральный Казахстан), не дали результата, что с геологической стороны вполне оправданно. Этот негативный результат подтверждает правильность примененного нами метода, поскольку при отсутствии геологических предпосылок монотонные показатели не были выявлены даже при широких возможностях комбинаторики (табл. 6, п. 12). Это лишний раз под-

тверждает реальный геохимический смысл показателей зональности, выбираемых с помощью ЭВМ. Обобщенные данные, приведенные в табл. 6, показывают высокую эффективность предложенной программы "06" для выявления зональности оруденения при отсутствии монотонных геохимических показателей первого порядка (Второе полиметаллическое, Перевальное, Фестивальное, Светлинское) или при малом их числе (Миргалымсай, Алтын-Топкан, Кусмурун), поскольку поиски монотонных показателей старших порядков без применения ЭВМ практически нереальны.

Прочие параметры эндогенного оруденения

Заключение

В литературе, посвященной методике геохимических поисков слепых рудных тел, неоднократно обсуждалась возможность привлечения для диагностики интервалов рудной минерализации ряда других эмпирических показателей, в частности миграционной способности химических элементов и коэффициентов корреляции между их содержаниями /4, I3/.

Величина миграционной способности (подвижности) химических элементов $1/\lambda$, измеряемая в метрах, имеет смысл параметрической величины и в противоположность "размерам" первичных ореолов не зависит от техники проведения геохимических поисков. Величина ее в различной степени изменяется для разных химических элементов по вертикальному разрезу рудной зоны, и в принципе допускается ее использование при геохимических поисках /I3/. Однако накопленный к настоящему времени опыт показывает трудность определения величины $1/\lambda$ в большинстве диффузионных ореолов из-за частых отступлений реальных графиков $C_x = f(x)$ от теоретической зависимости и, вследствие этого, недостатка соответствующих данных или широкого доверительного интервала найденных оценок. Для оценки величины $1/\lambda$ в надрудных инфильтрационных ореолах по графикам $C_z = f(z)$ требуется не менее трех горизонтов опробования, что в практике поисков встречается крайне редко. В итоге параметр миграционной способности химических элементов в геохимических аномалиях имеет только весьма ограниченное значение для их геологической интерпретации.

Более широкое применение для этой цели получили величины коэффициентов парной корреляции между содержаниями химических элементов, приобретающие статистически значимые, положительные или

отрицательные, или незначимые характеристики на различных уровнях рудной зоны /4,16/. Однако попытки установить конкретные величины коэффициентов парной корреляции между содержаниями химических элементов для надрудных и подрудных ореолов до сих пор делались без учета статистической значимости их различий. Между тем при геохимических поисках для оценки величин коэффициентов корреляции, характеризующих какую-либо аномалию, как правило, имеются только весьма ограниченные выборки, редко более 10-15 проб. В этих случаях даже кажущиеся большими различия между величинами оценок двух коэффициентов корреляции должны признаваться статистически незначимыми. Для примера на рис.13 показана область незначимых на 5% доверительном уровне различий между величинами двух коэффициентов парной корреляции, если их оценки получены по выборкам объемом по 20 проб каждая. Из приведенных графиков видно, что если один коэффициент корреляции имеет, например, величину $r_1 = 0,4$, незначимыми будут его различия с другим коэффициентом корреляции с оценками от $r_2 = -0,25$ до $r_2 = 0,8$. Этот широкий интервал незначимости различий крайне сужает диагностическое значение коэффициентов корреляции между содержаниями элементов в практике геохимических поисков.

Среди геохимических параметров, используемых при поисках слепых рудных тел, на современном этапе важнейшее значение имеют показатели первичной зональности оруденения, что подтверждается теоретическими соображениями и материалами исследований многих авторов. Поэтому наряду с дальнейшим развитием физико-математической теории процессов рудоотложения необходимо продолжить тщательное изучение зональности главнейших типов эндогенных, экзогенных и метаморфогенных месторождений совместно с их первичными ореолами в условиях различной структурно-геологической и литолого-стратиграфической приуроченности оруденения. Применение предложенной методики отыскания монотонных геохимических показателей зональности (программа "06") еще внесет многочисленные коррективы в существующие упрощенные представления об универсальном характере различий между надрудными и подрудными ореолами, которые, судя по рассмотренным моделям и имеющемуся опыту, рисуются значительно более сложными.

Дальнейшее развитие научных основ методики геохимических поисков, тесная увязка геохимических и геологических исследований приведут к повышению эффективности геологоразведочных работ.

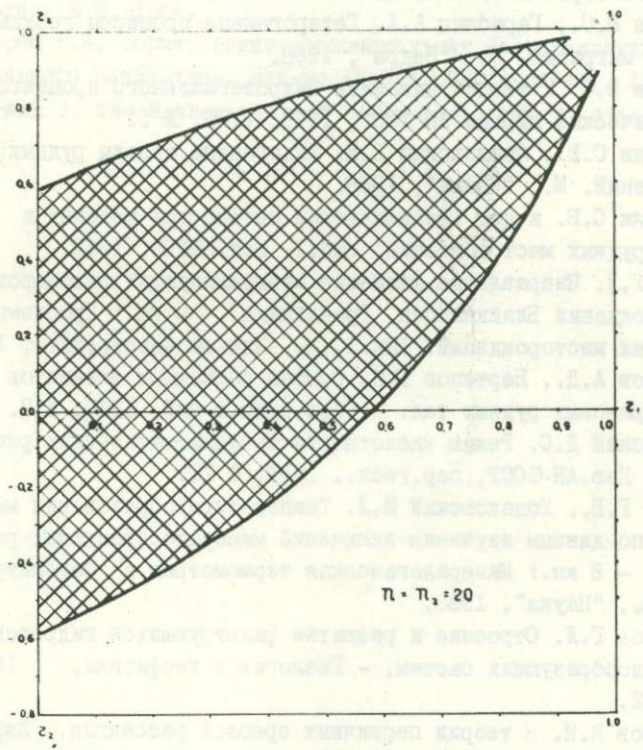


Рис. 13. Оценка значимости различий двух парных коэффициентов корреляции. Заштрихована область незначимых различий $t \leq t_{\alpha}$.

Л и т е р а т у р а

1. Голубев В.С., Астрахан Е.Д., Россман Г.И., Шарапов В.Н. К теории динамики рудообразования на основе простых моделей рудообразующих систем с использованием данных исследования современных гидротерм. - В кн.: Современные минералообразующие растворы. Петропавловск-Камчатский, 1970.
2. Голубев В.С., Гарибянц А.А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. М., "Недра", 1968.
3. Голубев В.С. К теории динамики гидротермального процесса. - Геологический журнал АН УССР, 1969, т.29, № 5.
4. Григорян С.В., Янишевский Е.М. Эндогенные ореолы рудных месторождений. М., "Недра", 1968.
5. Григорян С.В. и др. Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений. Вып.1, изд.ИМГРЭ, 1969.
6. Гросс У.Х. Направление движения минерализующих растворов на месторождении Блайклиппен, Гренландия. - В кн.: Проблемы эндогенных месторождений. Вып.1. М., Изд-во иностр.лит., 1960.
7. Каблуков А.Д., Вертепов Г.И. Ореолы рассеяния элементов вокруг урановых рудных тел. - Геол.рудн.м-ний, 1960, № 2.
8. Коржинский Д.С. Режим кислотности послемагматических растворов. - Изв.АН СССР, сер.геол., 1957, № 12.
9. Наумов Г.Б., Ходаковский И.Л. Температура образования минералов по данным изучения включений минералообразующих растворов. - В кн.: Минералогическая термометрия и барометрия. Т.П, М., "Наука", 1968.
10. Поспелов Г.Л. Строение и развитие фильтрующихся гидротермальных рудообразующих систем. - Геология и геофизика, 1962, № II-12.
11. Сафронов Н.И. К теории первичных ореолов рассеяния. Информ. сб.ВИТР, 1959, № 21.
12. Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений, изд.ВИТР, Л., 1967.
13. Соловов А.П. Параметры первичного ореола эндогенного месторождения. - Геол. рудн.м-ний, 1966, № 3.
14. Соловов А.П., Гаранин А.В. Геохимические спектры аномалий и дискриминантный анализ. - В кн.: Литохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния. Алма-Ата, 1968.

15. Соловов А.П., Гаранин А.В. Геохимические спектры аномалий и установление различий между сходными объектами. - В сборнике трудов I сессии СППМ, Алма-Ата (в печати).
16. Фахри А. Значения коэффициентов корреляции между элементами в первичных ореолах. Вестник Московского Университета, Геология, № 3, 1966.
17. Щерба Г.И. Формирование редкометалльных месторождений Центрального Казахстана. Изд-во АН Каз.ССР, Алма-Ата, 1960.
18. Crank J. The Mathematics of Diffusion. Oxford, 1956.

СОВЕТ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СГНМ)

II сессия 1970

СИМПОЗИУМ ПО НАУЧНЫМ ОСНОВАМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Р Е Ш Е Н И Е

2-ой тематической сессии Междуправительственного совета
по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков
месторождений полезных ископаемых"

Тема сессии: "Геохимические методы поисков глубокозалегающих
месторождений"

Сессия отмечает, что за последнее время достигнуты определенные успехи в разработке научно-методических основ геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений.

Установлены большие потенциальные возможности комплексного подхода к поискам глубокозалегающего оруденения, основанного на использовании первичных ореолов, гидротермальных изменений горных пород в околорудном пространстве, редкоэлементного состава руд и характерной для месторождений зональности. В ряде районов (Таджикистан, Восточное Забайкалье) такой подход позволил выявить глубокозалегающие рудные тела и месторождения, а также оценить перспективы рудоносности глубоких горизонтов месторождений и рудопоявлений, выходящих на дневную поверхность.

В настоящее время намечается расширение исследований в указанной области, направленных на разработку рациональной методики использования ореолов и зональности оруденения при поисках и разведке различных типов месторождений.

Проведен ряд организационных мероприятий, способствующих повышению эффективности использования геохимических методов при поисках глубокозалегающих месторождений: а) в системе Министерства геологии СССР определен Головной институт по прикладной геохимии

(ИМГРЭ); б) создан Межведомственный Совет по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых", призванный осуществлять координацию работ по разработке научных основ геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых, а также обеспечивать методическое руководство геохимическими работами, проводимыми производственными геологическими организациями; в) кроме ранее созданных в целом ряде геологических управлений, организованы Центральные геохимические партии в Якутском, Тюменском, Красноярском и Северо-Западном территориальных геологических управлениях; в составе Казахского геофизического треста создана Центральная Геохимическая экспедиция с правами головной организации по методике геохимических работ в системе Министерства геологии Казахской ССР; в составе Центрального геофизического треста Министерства геологии РСФСР созданы Тематическая партия и Геохимическая экспедиция с правами головной организации в системе Министерства геологии РСФСР.

Наряду с отмеченными достижениями, в разработке и применении на практике геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений имеются серьезные недостатки.

1). Недостаточно проводятся работы по разработке теоретических основ геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений: а) не получили должного развития теоретические обобщения огромного эмпирического материала, накопленного в результате геохимического изучения различных рудных месторождений; б) существенным тормозом в проведении подобных обобщений является отсутствие общепринятой методики изучения геохимических ореолов рудных месторождений, единых эталонов экспрессных спектральных анализов геохимических проб, а также эффективной координации этих работ, проводимых многочисленными организациями Академии наук и Министерства геологии СССР; в) практически не ведутся работы по экспериментальному моделированию процессов формирования первичных ореолов — эффективных индикаторов глубокозалегающих месторождений.

2). Во многих случаях наблюдается чрезмерное увлечение изучением отдельных частных вопросов формирования литогеохимических ореолов без доведения этих работ до состояния, необходимого для внедрения выявленных критериев и основывающихся на них методических приемов в практику геологоразведочных работ.

3). Изучение первичных ореолов рудных месторождений проводит-

ся различными организациями, как правило, по разной методике, результаты этих исследований должным образом не обобщаются, и поэтому выявленные критерии в основном носят частный характер и могут быть использованы в лучшем случае только в пределах исследованных "эталонных" месторождений.

4). При интерпретации гипергенных геохимических аномалий, как правило, не используются критерии, вытекающие из особенностей развития первичных геохимических ореолов, в связи с чем не оцениваются потенциальные перспективы участков исследований на скрытое оруденение.

5). Неудовлетворительно обстоит дело с внедрением геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений в практику геологоразведочных работ и апробацией новых методик в производственных условиях.

6). Геохимические методы выявления перспективных участков, рудных тел и прогнозирования оруденения практически почти не применяются на разведываемых и эксплуатируемых месторождениях.

7). Не выполнены решения Всесоюзных совещаний (Москва, 1963; Душанбе, 1967; Алма-Ата, 1969) о переходе всех спектральных лабораторий на единые эталоны. Вследствие этого затруднены: а) контроль количества аналитических работ многочисленных лабораторий; б) обобщение результатов анализа геохимических проб, выполненного различными лабораториями.

Сессия считает необходимым:

1. Резко усилить работы по созданию теоретических основ геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений. При этом обратить особое внимание на всестороннее изучение механизма формирования первичных ореолов, гидротермальных изменений горных пород и зональности оруденения, включая проведение силами научно-исследовательских организаций специальных исследований по экспериментальному моделированию процессов их формирования.

2. Поручить бюро Совета разработать и представить в соответствующие руководящие органы рекомендации по закреплению отдельных разделов работ по разработке теории формирования первичных ореолов за отдельными научно-исследовательскими институтами и геохимическими партиями и экспедициями с учетом специализации последних.

3. Поручить бюро Совета составить рекомендации по рациональной методике изучения первичных геохимических ореолов с целью унифи-

кации методических приемов исследования ореолов и получения на этой основе сопоставимых результатов по изученным объектам.

4. Усилить работы по обобщению результатов геохимического изучения различных месторождений с целью создания единых методических принципов использования геохимических методов при поисках глубокозалегających месторождений.

5. Усилить работы по изучению связи первичных и вторичных ореолов рассеяния с целью разработки критериев оценки гипергенных аномалий как возможных признаков слепых рудных тел и месторождений.

6. Приступить к ревизии результатов проведенных ранее металлометрических съемок для выявления с помощью критериев, вытекающих из особенностей первичных ореолов, аномалий, перспективных на скрытое оруденение. Проведение таких работ наиболее актуально для районов, уже освоенных горнорудной промышленностью, где практически единственным источником прироста запасов действующих предприятий остается скрытое оруденение. Широкому развороту рекомендуемых работ должны предшествовать опытно-производственные работы в ряде районов с участием ведущих в данной области научно-исследовательских институтов и тематических подразделений производственных организаций.

Просить Министерство геологии СССР определить первоочередные районы и поручить соответствующим организациям приступить совместно с научно-исследовательскими организациями к ревизии и переинтерпретации результатов проведенных ранее металлометрических съемок.

Поручить бюро Совета осуществлять постоянное научно-методическое руководство этими работами.

7. Шире внедрять в практику поисково-разведочных работ комплексный геохимический подход, в том числе использование первичных геохимических ореолов для выявления скрытого эндогенного оруденения. Поручить бюро Совета обеспечить силами соответствующих организаций постоянное обобщение опыта использования при геологоразведочных работах первичных ореолов и организовать оперативный обмен опытом в этой области как путем организации экспресс-информации (издание специальной серии), так и проведения различного рода семинаров, совещаний и т.д.

8. Поручить бюро Совета принять необходимые меры для широкого внедрения геохимических методов исследования на разведываемых и эк-

сплуатируемых месторождениях.

9. Приступить к целенаправленному изучению особенностей формирования литогеохимических ореолов на месторождениях осадочного, метаморфогенного и другого генезиса с целью выяснения возможности и методических основ использования геохимических критериев при их поисках и разведке.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	стр.
От редколлегии	3
ТАУСОН Л.В. Проблема комплексирования при поисках глуконозалегающих рудных месторождений, связанных с гипабиссальными интрузиями	4
БОГОЛКБОВ А.Н., ВОРОШИЛОВ Н.А. О некоторых актуальных направлениях дальнейших исследований по геохимическим методам поисков	10
РИПШ Г.С., БЕЛОГОЛОВОВ В.Ф., ПАК А.С. Минералого-геохимические критерии оценки уровня эрозийного среза эндогенных рудных месторождений в Западном Забайкалье	16
ЗАВОРОТНЫХ И.Р., БАУМШТЕЙН Р.А., НАПАРТЭ В.А., ГРИГОРЬЕВ Н.Г., СИЗЫХ В.И., ВОЛОСИКОВ Р.Н., АЛЕКСЕЕВ Ф.Н., КОРНЕВА А.Р. Зональность первичных ореолов некоторых месторождений Восточного Забайкалья	24
ЕРМЕКБАЕВ А.Е., ИНИН В.Д. Элементы-спутники как индикаторы глубины формирования рудных тел и месторождений	30
САНИН Б.П. Генетические типы полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья и их поисковые признаки	52
ТОРОСЯН Р.А. Использование гидротермально измененных пород и жильного кальцита для поисков скрытого полиметаллического оруднения	58
ВОИН М.И. Первичные геохимические ореолы хаканджинского золоторудного месторождения близповерхностного типа и их использование для выявления слепых рудных тел	60
РЯБОВ В.В., ПАВЛОВ Г.П. Некоторые геохимические особенности железорудных месторождений контактово-метасоматического типа	69
ОВЧИНИКОВА Л.В., ТУГОЛЕСОВ Л.Д. Некоторые особенности поведения элементов-примесей в метасоматических зонах Высокотемпературного рудного поля	77
ЯЛОВОЙ А.А. О зональности и стадийности рудоотложения	88

ДУМЛЕР Ф.Л. О некоторых принципах составления геохимических карт в связи с проблемой поисков глубокозалегающих рудных месторождений	94
СВИРСКИЙ М.А. Вопросы использования метода поисков по первичным ореолам в производственных условиях.	99
СЕМЕНОВ Г.И. Некоторые вопросы применения геохимических методов при поисках скрытого оруденения.	102
ГРИГОРЯН С.В., ТУМАНЯН В.З. К методике обнаружения и интерпретации геохимических аномалий	109
ГРИГОРЯН С.В., ЗУБОВ М.А., ТУМАНЯН В.З. О пространственной зональности первичных геохимических ореолов эндогенного оруденения.	114
МОРОЗОВА Т.А., БЕЛЬЧАНСКАЯ Л.Н. Некоторые особенности первичных ореолов месторождений касситерит-сульфидной формации	121
ПОЛИКАРПОЧКИН В.В., КИТАЕВ Н.А. О соотношении стадийности минерализации и пространственной зональности первичных ореолов рудных месторождений.	126
ОВЧИННИКОВ Л.Н., ГРИГОРЯН С.В. Еще раз о вертикальной зональности первичных геохимических ореолов.	135
КОМАРОВ П.В. Фтор и сера как индикаторы при поисках месторождений.	144
ФУРСОВ В.З. Использование легколетучих элементов при геологических исследованиях.	150
ЗНАМИРОВСКИЙ В.Н. Некоторые вопросы ртутOMETрических исследований	161
ТУТЕВИЧ А.Ю. О перспективах рудоносности и развития геохимических исследований в среднем Поволжье и прилегающих районах восточной части Русской платформы	169
ПОБЕКОВА О.П., ТРОФИМОВ Н.Н., РЫЧКОВ А.И. Значение ореолов легкоподвижных элементов для поисков глубокозалегающих свинцово-цинковых месторождений.	178
КВЯТКОВСКИЙ Е.М., ПУТИКОВ О.Ф. Некоторые вопросы теории формирования первичных ореолов гидротермальных месторожде-	

ний.	186
КВЯТКОВСКИЙ Е.М., КРИЦУК И.Н., НИКИТИН Н.В., НЮППЕНЕН Т.И. Методика выявления вертикальной зональности рудных тел и их первичных ореолов	197
ДУБОВ Р.И., ПРОШУТИНСКАЯ К.Г. К вопросу о физико-мате- матическом моделировании геохимических объектов.	210
ПЕРЕЛЬМАН А.И. Геохимия экзогенных рудных месторождений.	221
БАРАНОВ Э.Н. Некоторые особенности первичных геохимичес- ких ореолов колчеданных месторождений.	234
СОЛОВОВ А.П., ГАРАНИН А.В., ГОЛУБЕВ В.С., МАТВЕЕВ А.А. Теоретические основы геохимических методов поисков слепых рудных тел	245
Решение	298

Подписано к печати 10/Х1-71г. Формат 60х84/16.
Печ. л. 19, 25. Зак. ОК-46. Тираж 1000. НЕ 00290
Цена 1р. 10к.

Типография № 1 Иркутского областного управления по печати,
г. Иркутск, ул. К. Маркса, 11.

1 р. 15 коп.

543