

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ
ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

(Тезисы совещания)

Часть I

1974 г.

МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ
«НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

ИНСТИТУТ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК
АРМЯНСКОЙ ССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ,
ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

519 + 550. Y

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ
ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Часть I

Теоретические аспекты миграции
элементов-индикаторов рудных месторождений

(Тезисы совещания)

(16—19 октября 1974 г., г. Ереван)

1974 г.



1021

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Л. Н. ОБЧИННИКОВ (ответственный редактор),
С. В. ГРИГОРЯН, С. С. МКРТЧЯН, Г. О. ПИДЖАН, А. П. СОЛОВОВ

I. Р А З Д Е Л
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МИГРАЦИИ
ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Л. Н. ОВЧИННИКОВ

**МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕЛОВ И РУДНЫХ ТЕЛ**

Благоприятная для рудообразования зона земной коры, составляющая по вертикали 5—7 км (Овчинников, 1967), условно может быть подразделена на три области: 1) область мобилизации металлов, 2) область движения растворов, коммуникаций и 3) область рудоотложения. В докладе пойдет речь о явлениях в третьей области, о непосредственном рудоотложении. Вслед за Г. Л. Поспеловым (1973) область рудоотложения, включающую и ореольное пространство, можно подразделить на три зоны: а) зону ввода растворов, б) рабочую зону, в) дренажную зону, зону вывода.

Накопление руд происходит двояким путем: 1) с использованием пологого пространства, при преобладающем отложении в трещинах и 2) в результате метасоматического замещения. Эти два типа отложения проявляются как самостоятельно, так и обычно в сочетании друг с другом. Первичные геохимические ореолы в обоих случаях образуются путем метасоматического замещения, закономерно сочетаясь с рудными телами. Рудное тело и первичный геохимический ореол составляют единое целое. Размеры ореолов, также как и рудных тел зависят от морфогенетического типа месторождения и конкретных геологических условий, в которых оно формируется. Обычно размеры ореолов значительно превышают размеры рудных тел, которые они окружают, хотя возможны и иные соотношения. Запасы рассеянных металлов-индикаторов в ореолах всегда значительно больше, чем в собственно рудных телах; по запасам основных рудных компонентов ореолы зачастую также не уступают рудным телам (Овчинников, Григорян, 1970). Например, на Гайском медно-колчеданном месторождении объем только богатой части оре-

ола в 360 раз превышает объем рудных тел, которые, таким образом, занимают всего 0,28% объема ореольного пространства. В рудных телах сосредоточено всего лишь 53% запасов меди, 35% запасов цинка, 10% свинца и 1,6% кобальта. Остальное количество этих металлов распространено по всему пространству ореола.

Перемещение металлов в области рудоотложения, особенно в ее рабочей зоне, включая и валовое движение рудообразующего раствора, осуществляется в результате сочетания многих как взаимосвязанных, так и независимых процессов, что весьма детально и доказательно удалось показать Г. Л. Поспелову в его последней книге (1973).

В весьма сложной, таким образом, по своему внутреннему строению среде ореоло- и рудообразования перенос металлов и прочих компонентов растворов, наряду со сквозной, достаточно интенсивной фильтрацией, совершается также с помощью других процессов, главным образом, различных диффузионных механизмов. Участие диффузии в формировании ореолов и рудных тел несомненно. Однако в данном случае диффузию нельзя сводить к простейшим представлениям и расчетам; в реальных условиях она политипна и полигенна, то есть всегда носит комбинированный характер. Реальная диффузия — комплексный процесс, включающий естественные (концентрационная диффузия) и принудительные механизмы (термодиффузия, электродиффузия, влияние гравитации), эфффузию (кнудсеновское течение), активированную диффузию, особенно эффективную в горных породах, пропитанных водой, осмотические явления. В этих условиях, особенно при более высоких температурах, одновременно могут проявляться и конкурировать механизмы межзерновой, поверхностной и объемной диффузии.

Довольно многочисленные опыты, моделирующие фильтрацию растворов через пористые горные породы позволили выявить и изучить так называемый фильтрационный эффект — явление дифференциального перемещения компонентов сложного рудообразующего раствора, при котором не только растворенное вещество и растворитель имеют различную скорость перемещения, но и разные ионы также движутся с различной скоростью (Овчинников, 1965, Жариков, 1967; Kharaka, Berry, 1973-. Фильтрационный эффект как суммарный результат ряда явлений, частично указанных выше, имеет существенное значение в формировании ореолов и рудных тел и в проявлении в них контрастной зональности.

Во всех месторождениях длительное минералообразование как в рудных телах, так и в ореолах протекает в условиях закономерного изменения свойств растворов, происходящего одновременно с понижением температуры. Изменения в растворах и осаждение могут быть вызваны разными различными процессами с взаимодействием частиц внутри раствора, растворов между собой, раствора с вмещающей породой или с ранее образованными минералами и т. п., вызванным большим числом физико-химических, химических, физических факторов. Поскольку эти факторы вызывают одно и то же явление, очень редко удается определить какую-то одну исключительную причину осаждения. Это не говоря о снижающейся температуре, которая, в большинстве случаев, является неизбежной первопричиной последовательного минералоотложения в месторождениях. Для большинства сульфидных минералов, например, это является общепризнанным (Skinner, Barton, 1973).

Все вышеизложенное подчеркивает, что ореоло- и рудообразование является результатом весьма сложного сочетания многих параллельных и последовательных процессов. К нему нельзя применить готовые схемы физической химии, описывающие одну какую-либо сторону. Геологические наблюдения и факты вскрывают закономерности состава и строения ореолов и рудных тел; раскрытию механизмов их формирования может способствовать экспериментальное моделирование с изучением результирующих параметров в пределах геологических ограничений.

Сравнительное изучение эндогенных рудных месторождений, различных по промышленному металлу, происхождению и геологическим условиям образования, обнаруживает удивительную стандартность рудообразующего раствора, постоянство его анионного состава и свойств, что свидетельствует о весьма узком диапазоне изменений физико-химических параметров рудообразования во времени и пространстве, оказывающихся к тому же мало зависимыми от геологической среды (Овчинников, 1967; Барнс, Чаманский, 1970; Skinner, Barton, 1973). Такое заключение, в первую очередь, основывается на минеральном составе рудных тел и зон околорудных изменений, а также на составе газовой жидкой включений. Ярким фактом является также поразительная однотипность геохимических ореолов, окружающих рудные тела и залежи.

Как известно, наиболее важной особенностью первичных

геохимических ореолов является их зональность, которая выражается в закономерном изменении в пространстве качественных и количественных параметров. Зональность ореолов может проявляться в любом сечении объемной фигуры, но больше всего она контрастна в направлении движения рудообразующих растворов и обусловлена дифференциальным распределением элементов вдоль оси этого движения. В большинстве случаев можно говорить о вертикальной зональности с преимущественным накоплением одних ассоциаций элементов в головных частях ореолов, а других — в тыловых (Овчинников и др., 1973).

Для различных по составу и происхождению гидротермальных месторождений на сульфидной основе устанавливается качественно близкая зональность, которая в обобщенном виде может быть представлена единым реальным рядом наиболее распространенных элементов-индикаторов (в направлении движения растворов — от подрудных сечений к надрудным): $W-Be-Sn_k-Mo-Co-Ni-As_{ап}-Bi-Cu_x-Sn_{ст}-Zn-Pb-Ag-Cu_{бх}-As_б-Sb-Ba-Hg$.

Не вызывает сомнений, что вертикальная зональность рудных тел и ореолов — зональность отложения, связанная с изменением внутреннего равновесия рудообразующего раствора. Исходя из изложенных выше предпосылок, можно предполагать, что наиболее вероятным механизмом отложения является осадочно-хроматографический, осложненный, однако, на своем исходном этапе особенностями внутреннего строения и состава растворов. Наиболее простой фактор — растворимость сульфидов в воде, к сожалению, совершенно не определяет их зонального отложения и даже, зачастую в этом случае наблюдается последовательность обратная природной. Это обусловлено тем, что перенос металлов в рудообразующих растворах, как это сейчас стало уже общепризнанным (Овчинников, 1964; Барнс, Чаманский, 1970), осуществляется в виде комплексных соединений, характеризующихся высокой растворимостью и устойчивостью, а также прочими свойствами, резко их отличающими от коллоидных и простых ионных соединений, на которых обычно строятся различные термодинамические расчеты и делаются далеко идущие выводы.

Таким образом, можно с большой долей вероятности, утверждать, что зональность рудных тел и ореолов определяется разной устойчивостью комплексов, в виде которых переносятся металлы в растворах. Относительную устойчи-

вость комплексов с ковалентной связью можно рассчитать, используя рассуждения и методику К. Б. Яцимирского (1951).

Решающая роль комплексообразования в зональном распределении металлов в ореолах может быть проиллюстрирована нашими (Овчинников, Челищев, Наджарян, 1972) простыми опытами. Было произведено экспериментальное изучение взаимодействия в динамических условиях хлоридных и нитратных растворов ряда тяжелых металлов с полиминеральными колонками.

Рассмотренный выше фактор стабильности комплексов не зависит от типа лиганда. То есть, в общем случае оказывается не столь существенным в виде каких именно комплексных соединений будут переноситься металлы.

Таким образом, главенствующей, если не единственной, формой нахождения металлов в рудообразующем растворе являются комплексные соединения. Эти комплексы должны быть универсальны и стандартны не только по составу, но и по стехиометрии. Устойчивость комплексов, наряду с другими важными закономерностями рудоотложения, определяют зональность как рудных тел, так и ореолов. В этом случае универсально действующий осадочно-хроматографический механизм разделения в конкретных условиях ореоло-и рудоотложения регулируется уже не просто произведениями растворимости осаждающихся сульфидов, а более сложным сочетанием их растворимости с устойчивостью комплексов металлов в растворе, в результате разрушения которых возможно образование этих минералов.

Существенное значение для усиления контрастности зональности ореолов имеют также и физико-химические факторы, суммарное действие которых может быть выражено через фильтрационный эффект (Овчинников, 1965).

Как следует из теоретических основ хроматографического анализа (Ольшанова и др., 1968) увеличение концентрации осадителя (в наших условиях это H_2S или иные формы нахождения серы), не оказывая влияния на порядок распределения зон, приводит к увеличению плотности осадка, уменьшению длины зоны осаждения и к улучшению разделения. Но это в определенных пределах; наиболее четкому разделению отвечает какая-то оптимальная концентрация осадителя, с дальнейшим ее увеличением длины зоны и плотности осадка меняются незначительно. При чрезмерной концентрации осадителя наблюдается ухудшение разделения и неравномерное распределение осадка по длине зоны. Умень-

шение концентрации осадителя ниже определенного предела приводит к расплыванию зон и формированию нечеткой хроматограммы, т. е. к отсутствию нужного разделения. И тот, и другой случай наблюдаются и в природных условиях. Первый относится к формированию рудных тел, сложенных сплошными массивными рудами с действительно весьма нечеткой зональностью и неравномерным распределением рудообразующих сульфидов (пирита, халькопирита, галенита, сфалерита). Второй случай характеризует зоны так называемой «рассеянной» минерализации, в которых зональность распределения металлов отсутствует.

Изменение концентрации осаждающихся металлов приводит к прямо пропорциональному изменению длины зон осаждения, плотности осадка, резкости границ между зонами. Непропорциональное изменение концентрации образующих ореол или рудное тело металлов может привести к потере зоны осадка, занимающего промежуточное положение и имеющего наименьшую концентрацию, и даже к изменению порядка зональности. Увеличение температуры, а также скорости фильтрации растворов приводит к возрастанию длины зон и к уменьшению резкости между ними.

Осадочно-хроматографический механизм формирования ореолов и рудных тел сопровождается таким характерным явлением как ритмическое отложение осаждающихся минералов.

Таковы основные, самые общие соображения о механизме формирования первичных геохимических ореолов и рудных тел. Следующим этапом исследований в этом направлении должен явиться пространственно-статистический анализ параметров ореолов различных элементов, образованных в связи с месторождениями разных морфогенетических типов, что безусловно позволит получить более строгое теоретическое обоснование описанного механизма, а также одновременно и новую информацию, способствующую более глубокому раскрытию условий рудообразования в целом.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ И ИХ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА

1. Энергетическое состояние рудообразующих систем в целом определяется химической активностью гидротермальных растворов и их термодинамическими параметрами, изменение которых в пространстве — времени обуславливает появление зональности в размещении минеральных и геохимических ассоциаций.

2. Степень сложности состава (минерального или геохимического) конкретного месторождения адекватно отражает степень энергетической сложности природных рудообразующих систем, количественной мерой которой может служить их энтропия, являющаяся свойством любого количества энергии.

3. Использование негэнтропийного принципа позволяет изучить энергетические особенности рудопроявлений в пределах рудных полей путем статистического анализа минеральных новообразований или геохимического состава и дать количественное выражение зональности оруденения.

4. Прогностический смысл использования энтропии заключается в том, что области определенных значений энтропии в конкретных условиях могут рассматриваться как участки развития оруденения вполне определенного типа.

5. Анализ гипергенного поля рассеяния Вышковского рудного поля (Закарпатье) показал закономерное уменьшение энтропии в направлении с ЮЗ на СЗ. В этом же направлении происходит изменение минерального и геохимического состава месторождений и рудопроявлений (от полиметаллических к ртутным), уменьшение температур рудообразования и изменение полупроводниковых свойств рудных минералов. Поля различных значений энтропии соответствуют областям распространения определенных типов эндогенной минерализации.

ЕДИНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЭНДОГЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ СУЛЬФИДНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖ- ДЕНИЙ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ОСНОВНОГО ЗАКОНА ГЕОХИМИИ

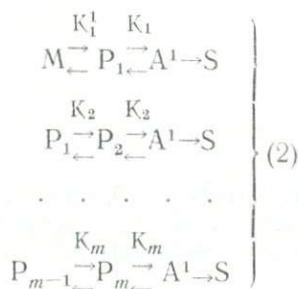
1. Зональность гидротермального оруденения в полном виде проявлена только в эндогенных геохимических ореолах (ЭГО), которые отражают строение и развитие рудообразующих гидротермальных систем, в целом, тогда как рудные тела обычно фиксируют собой лишь фрагменты этих систем, занимая закономерное положение в зональной колонке ЭГО. В результате изучения ЭГО большого числа гидротермальных рудных месторождений на сульфидной основе (собственно сульфидных или содержащих заметную примесь сульфидов) установлена качественно близкая, принципиально единая зональность относительного распределения ореоло- и рудообразующих элементов в направлении движения гидротермальных растворов (Овчинников, Григорян, Баранов, 1972).

2. Независимость зональности ЭГО от геолого-структурных условий локализации оруденения и ее совпадение с региональной вертикальной зональностью оруденения отражает определяющее влияние внутренних факторов миграции на относительное распределение элементов в ЭГО.

3. Близкое соответствие обобщенного зонального ряда элементов с рядами изменения различных параметров их ионов (ионной плотности, радиусов гидратированных ионов, ионных потенциалов) и свойств их соединений (изобарно-изотермических потенциалов, термодинамической устойчивости и др.) указывает на однонаправленное действие различных внутренних факторов миграции на зональное распределение элементов и, как следствие последнего, на возможную конвергентность единой зональности ЭГО.

4. Основным фактором, определяющим зональное распределение элементов в ЭГО колчеданных и, по-видимому, других сульфидных месторождений, как показал анализ связей ЭГО с метасоматической зональностью околорудных пород, является изменение кислотности-щелочности гидротермальных растворов. Это подтверждается совпадением эмпирического зонального ряда элементов с рядом повышения

где с, b — функциональные группы, А — центральный ион. Реакции 1, 2..., m приводят к образованию устойчивых полимеров P₁, P₂,... P_m из мономера М. В соответствии с полимеризационным механизмом образование твердой фазы А¹ происходит не при распаде комплексов, а при их агрегации с последующим превращением в конечный минерал (S) по схеме:



где K_i (i = 1, 2... m) — константы равновесия реакций поликонденсации; K_i¹ (i = 1, 2... m) — константы равновесия образования твердой фазы в реакции типа A ⇌ A¹ (K₁ < K₂ < ... < K_m). Количество твердой фазы определяется уравнением q = K_isw (3), где с и w — концентрации и количество раствора в зоне реакции. Если перейти к содержанию элемента (x), выпавшего в виде твердой фазы компонента X, то получим

$$X = K_{oi} \cdot c \cdot \frac{x_{max}}{S_q} \cdot 1 - \frac{1}{K_r} \cdot (E_2 - E_1) \quad (4)$$

где x_{max} — максимально возможное содержание в минерале, S_q — удельный вес твердой фазы (минерала) K_{oi} — приведенная константа равновесия результирующей реакции, E₁ и E₂ — энергии активизации прямой и обратной реакций. Реакция 1, 2... m из (1) пространственно разобщены и протекают последовательными фронтами, что приводит к ступенчатому распределению (x) в зоне минералообразования.

Описанную модель процесса минералообразования можно применить к анализу зональности руд и эндогенных ореолов на основании следующих положений:

а) минеральная форма нахождения является основной для большинства элементов;

б) распределение стандартных параметров элементарных ячеек минералов имеет дискретный характер, при этом проявлен закон четности;

в) вероятность образования зародышей A_0 из устойчивых полимеров P_m в растворе обратно пропорциональна размерам элементарных ячеек, что определяет последовательность возникновения минералов (зональность отложения);

г) концентрации элементов в гидротермах при формировании эндогенных ореолов различных месторождений варьируют лишь в пределах 1—2 порядков, при этом для формирования зональности главную роль играют относительные их значения.

В докладе на основе развиваемых представлений дан анализ рядов зональности элементов.

Э. Н. БАРАНОВ, В. С. ГОЛУБЕВ

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ЭНДОГЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

1. Очевидна необходимость целенаправленной типизации эндогенных геохимических ореолов рудных месторождений, отражающей характер связей аномального геохимического поля ореола с рудными телами и метасоматической зональностью околорудных пород, и разработки их теоретических моделей, объясняющих природу связей.

2. Выделяют три основных морфогенетических типа эндогенных геохимических ореолов: ореолы центрального, фронтального и комбинированного типа.

Для ореолов первого типа характерна линейная вытянутость, центральное положение участков высоких концентраций рудообразующих элементов (рудных тел), симметричное строение относительно рудных тел и наличие осевой зональности. Они образуют в результате взаимодействия растворов, просачивающихся по узким ослабленным зонам или циркулирующих по трещинам, с окружающими породами и обуславливают значительные боковые потери привносимого

растворами рудного вещества. Определяющим способом формирования таких ореолов является диффузия компонентов от трещин в стороны («отгон вещества»), реже в обратном направлении («мобилизация»). Как характерные примеры ореолов центрального типа рассматриваются ореолы жильных гидротермальных месторождений.

Ореолам фронтального типа присуще асимметричное строение, и как следствие его, направленная, преимущественно поперечная к рудным телам зональность, тесная пространственная и генетическая связь распределения элементов с метасоматической зональностью окolorудных пород, и сопряженность ореолов выноса и накопления многих ореолообразующих элементов. Рудные тела являются составной частью зональной колонны ореолов и должны рассматриваться как проявления определенных геохимических барьеров в фильтрующейся термогидроколоне. Ореолы фронтального типа обычно занимают большой объем пород и характеризуются морфологическим разнообразием. Они формируются в результате фильтрации растворов по крупным зонам (блокам) повышенной проницаемости при незначительных боковых потерях вещества и широком проявлении процессов его перераспределения. Основным способом миграции компонентов при формировании таких ореолов является их перемещение вместе с фильтрующимся раствором. Как характерные примеры ореолов фронтального типа рассматриваются ореолы колчеданных и скарново-магнетитовых месторождений, апогранитовых месторождений редких элементов.

Ореолы комбинированного типа образуются вследствие пространственного совмещения генетически взаимосвязанных ореолов фронтального и центрального типа. Характерной особенностью строения этих ореолов является наличие двух максимумов концентраций элементов: одного — в центральной части ореола, другого — во внешних его зонах, разделенных полями пониженных (вплоть до аномалий выноса) концентраций элементов. Ореолы комбинированного типа возникают в результате единого длительного процесса рудообразования, когда на его начальных стадиях при образовании окolorудных метасоматитов формируются ореолы фронтального типа, а на завершающих стадиях в связи с рудоотложением — ореолы центрального типа. Как характерные примеры, ореолов данного типа рассматриваются ореолы некоторых ртутных месторождений и золото-серебряных месторождений.

3. В связи с определяющим влиянием структурных факторов на морфологию ореолов, большим разнообразием морфоструктур ореолов и их существенным значением для практики геохимических поисков необходима структурно-морфологическая типизация ореолов различных генетических типов эндогенных рудных месторождений. В качестве примера рассматриваются структурно-морфологические типы ореолов колчеданных месторождений.

4. Разработана обобщенная динамическая модель рудо-ореолообразования, которая характеризует эволюцию процесса на подвижном геохимическом барьере при фильтрации растворов в зоне повышенной проницаемости пород и описывают модели основных типов ореолов. Для модели ореолов центрального типа дополнительно учитывается поперечная диффузия компонентов в боковые слабопроницаемые породы.

Теоретические закономерности пространственного распределения концентраций элементов в геохимическом ореоле и формирования высоких (рудных) концентраций находят путем решения дифференциальных уравнений баланса и кинетики переноса массы и энергии в процессах рудогенеза при начальных и граничных условиях, соответствующих развитию процесса на подвижном геохимическом барьере.

На основе развитой модели объяснено отсутствие рудной минерализации на путях движения рудоносных растворов, сопряжение зон выщелачивания и отложения рудных компонентов, существование температурного интервала отложения отдельных рудных минералов из единого потока, образование богатых руд из исходно разбавленных растворов.

И. А. СОЛОДОВ

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ

В последние годы благодаря работам С. В. Григоряна и его сотрудников активизировались исследования геохимических ореолов редкометальных гранитных пегматитов. Эти исследования проведены с применением всего того арсенала

методических приемов, которые были разработаны С. В. Григорьяном по геохимическим методам поисков месторождений цветных и малых металлов, где данная методология блестяще себя зарекомендовала. Однако перенос этой методологии на изучение ореолов редкометальных гранитных пегматитов без учета особенностей их генезиса может понизить эффективность применения метода и даже привести к досадным ошибкам и незаслуженной дискредитации этого важного направления поисков.

В этой связи необходимо отчетливо представлять себе следующие особенности генезиса и состава ореолов редкометальных пегматитов:

1. В гидротермальных месторождениях цветных и малых металлов рудное тело и ореол являются результатом единого процесса, и граница между ними зачастую проводится условно на основании рудных кондиций (минерально-среднее промышленное и бортовое содержание полезных компонентов). Редкометальные гранитные пегматиты образуются в результате внедрения пегматитового расплава-раствора и его консолидации в полостях, а связанные с ними ореолы возникают в основном благодаря выносу (и частичному обмену) различных компонентов из этих полостей во вмещающие породы. В результате пегматитовые тела всегда отделены от сопровождающих их ореолов геологическими границами.

2. Вещественный состав гидротермальных месторождений цветных металлов и связанных с ними ореолов в основном идентичен по набору как элементов, так и минералов. Редкометальные же пегматиты и их ореолы существенно разнятся геохимически. Как показали исследования С. В. Григорьяна, Н. А. Виноградовой, М. А. Зубова, в пегматитовых ореолах, наряду с элементами, присущими самим пегматитам (литий, рубидий, цезий, бериллий, калий, бор, олово, тантал, ниобий, фосфор и др.), появляются и притом играют большую роль элементы, мало характерные для пегматитового процесса или даже чуждые ему: мышьяк, висмут, вольфрам, молибден, лантан, иттербий, иттрий и др.

Минералогически эти различия еще более разительны. Вместо таких литиевых минералов пегматитовых тел как сподумен, лепидолит, амблигонит, петалит в ореолах образуется холмквистит, вместо поллуцита появляется цезиевый биотит, несущий цезий, рубидий и литий. В ореолах пегматитов иногда также обильно образуются сульфиды цветных и

1021

малых металлов, которые практически отсутствуют в пегматитовых жилах.

3. Если в ореолах сульфидных месторождений привнесенные элементы представлены, главным образом, собственными минералами (сульфидами), то в ореолах пегматитов основная масса вынесенных из них элементов либо входит изоморфно в минералы вмещающих пород, либо образует минеральные новообразования — холмквистит и цезиевый биотит. Поэтому для пегматитовых ореолов состав вмещающих пород приобретает исключительно важное значение. Самыми благоприятными породами для широкого проявления ореолов являются амфиболиты, так как по амфиболиту легче всего развиваются биотит и холмквистит, затем всевозможные слюдосодержащие сланцы, гнейсы и граниты, поскольку слюды, особенно биотит, обладают большой изоморфной емкостью к значительному числу элементов. На последнем месте стоят кварциты, известняки и мрамора, которые пропуская через себя растворы, почти ничего из них не извлекают. Благодаря различной изоморфной емкости минералов перечисленные породы уже в процессе регионального метаморфизма приобретают резкие различия в содержании редких элементов. Поэтому при изучении ореолов необходимо учитывать эту разницу, например, путем деления получаемых ореольных содержаний на фоновые содержания каждой породы, установленные для данного поля. Иначе на месте амфиболитов будут возникать псевдоаномалии, которые могут привести к неправильному направлению поисковых работ.

При выявлении и интерпретации первичных геохимических аномалий необходимо использовать мультипликацию содержаний типоморфных элементов, образующих ореолы привноса (олово, бор, бериллий, тантал, ниобий, фосфор, вольфрам, литий, рубидий, цезий, свинец, мышьяк, молибден) и ореолы перераспределения (кальций, кобальт, скандий, медь, титан, марганец, хром, никель, стронций, цинк цирконий, реже иттрий и иттербий).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ И РАСЧЕТОВ ЭНЕРГИИ РУДООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ОЛОВОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Результаты геохимических работ на оловорудных объектах Дальнего Востока позволяют сделать следующие выводы.

1. Олову в рудах и первичных ореолах сопутствуют мышьяк, вольфрам, висмут, медь, свинец, серебро, индий, сурьма.

2. Распределение элементов соответствует единому ряду зональности, установленному Л. Н. Овчинниковым и С. В. Григоряном: вольфрам — олово, висмут — мышьяк, медь — цинк, свинец, серебро, индий — сурьма.

3. Есть данные, свидетельствующие о концентрической зональности распределения элементов в пределах рудных тел. Начальные элементы ряда зональности приурочены к центральным частям рудных тел, конечные — к периферии их (верхние части рудных тел, выклинивание их по простиранию и падению, интервалы рудных тел ниже промышленного контура). Строение верхней и нижней частей этой внешней зоны ассиметричное — верхняя часть более мощная и продуктивная.

4. Важную роль при рудообразовании имеет соотношение процессов концентрации в пределах рудных тел и рассеяния их в первичных ореолах, что определяется в основном тектонической обстановкой при рудообразовании.

5. Промышленно интересные оловорудные тела характеризуются отчетливым проявлением зональности, высокой степенью концентрации элементов в пределах рудных тел и слабо проявленными первичными ореолами. В непромышленных телах и на участках выклинивания промышленно интересных рудных тел зональность проявлена слабо, концентрация в рудных телах не велика, а первичные ореолы широкие и продуктивность их значительно выше, чем у промышленных рудных тел.

6. Все перечисленные оценочные критерии, кроме зональности, более контрастно проявляются, если использовать в качестве единого показателя суммарную энергию рудообразования.

7. Есть все основания говорить о локальном перераспределении элементов в пределах первичного ореола с преобладанием «выноса» у промышленных рудных тел и «привноса» у непромышленных. Поэтому при расчетах энергию рудообразования следует рассчитать отдельно, как «энергию привноса», где $K = C_0/C_{кл}$, и «энергию выноса», где $K = C_{кл}/C_0$. C_0 — содержание каждого элемента в рассматриваемой точке, $C_{кл}$ — среднее содержание того же элемента в кислых гранитоидах (кларк по А. П. Виноградову). В первичных ореолах вблизи промышленных рудных тел определяющей является «энергия выноса», вблизи непромышленных рудных тел — «энергия привноса».

8. Оценка рудоносности объекта только по первичным ореолам допускает возможность ошибки. Для изученных рудных районов эта ошибка составляет около 30%.

9. Для большей достоверности оценки наряду с геохимическими следует использовать геофизические данные, в частности определения кажущейся поляризуемости, кажущегося электрического сопротивления и потенциала естественного электрического поля. Изучение этих величин дает независимую по способу получения информацию, а распределение их в значительной мере объясняется геохимическими закономерностями.

10. Важными при оценке могут явиться и специальные геохимические и минералогические исследования, также как изучение примесей в касситеритах, определение содержания в рудах и первичных ореолах бора и фтора, а также кристалломорфологический анализ рудных минералов.

11. Комплексное применение всех перечисленных методов, изучающих различные следствия процесса распределения вещества при рудообразовании, позволяет приблизиться к решению важнейшей геологической задачи — оценке перспективности объекта до стадии его предварительной разведки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КОБАЛЬТА В ПЛОТНЫХ ПОРОДАХ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

1. Показанная рядом исследователей возможность образования богатых $Cu - Ni$ руд с участием гидротермальных растворов (за счет метаморфогенного переотложения и концентрации первично-магматического сульфидного вещества) явилась одним из факторов, обусловивших постановку систематических исследований в Печенгском рудном районе, что уже привело к интересным результатам (Квятковский, и др., 1972; Григорян и Рябов, 1972 и др.).

2. Образование метаморфогенных рудных тел и связанных с ними первичных ореолов являют собой единый процесс; важнейшие особенности данного рудного процесса должны иметь свое отражение в сопутствующем ему процессе формирования ореола.

3. Такой «фамильной» особенностью, в частности, может явиться различная подвижность элементов, выявляемая для процесса рудоотложения при сопоставлении содержаний элементов в зонах мобилизации (выноса) и накопления рудного вещества, а для процесса формирования ореола — в его зональности. Эта особенность достаточно четко выявляется для Co , Zn , Pb , Bi , Sn , As в $Cu - Ni$ рудных телах, локализованных в туфогенно-осадочных толщах.

4. Экспериментальных данных, количественно характеризующих миграционную способность в плотных породах отдельных элементов и механизм самой миграции, сейчас имеется явно недостаточно; в то же время такие данные представляются совершенно необходимыми как для наилучшего обоснования геохимических методов поисков в конкретных случаях, так и для развития теории первичных ореолов.

5. Вышеизложенное обусловило постановку экспериментальных исследований подвижности тяжелых элементов в плотных породах в гидротермальных условиях. С этой целью была разработана специальная методика изучения миграционной способности элементов, заключающаяся в гидротермальной обработке образца данной породы раствором, содержащим радиоактивный изотоп исследуемого элемента,

с последующими измерениями распределения его концентраций от поверхности образца к центру.

6. В интервале температур 200—350° и давлений 150—1000 атм исследована миграционная способность Со в металавевролите из рудовмещающих пород Печенгского рудного поля.

Э. А. ХАЧАТУРЯН, Св. С. МКРТЧЯН

К ВОПРОСУ О ПОВЕДЕНИИ СВИНЦА И ЦИНКА В РУДАХ И ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛАХ НА ПРИМЕРЕ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛАВЕРДИ-КАФАНСКОЙ РУДОНОСНОЙ ЗОНЫ

1. Сравнительная характеристика поведения рудных элементов в рудах и эндогенных ореолах колчеданно-полиметаллических месторождений (Ахтала, Шамлуг, Шаумян), одного из наиболее изученных районов Армении Алаверди-Кафанской рудоносной зоны, произведено по двум элементам — свинцу и цинку. Свинец и цинк весьма широко распространены в этих месторождениях, являются основными компонентами руд и главными элементами-индикаторами эндогенных ореолов.

2. Поведение свинца и цинка в процессе отложения руд и образования эндогенных ореолов разное, что обусловлено различием факторов, влияющих на подвижность свинца и цинка в процессе рудоотложения и образования эндогенных ореолов.

3. На подвижность свинца и цинка в процессе отложения руд основное влияние оказывают внутренние факторы, в частности, физико-химические условия среды: температура, давление, кислотность-щелочность, состав и концентрация растворов. Все это определяет форму переноса свинца и цинка и условия их отложения в форме собственных минералов. На изученных месторождениях, в пределах продуктивной галенит-сфалеритовой стадии минерализации, отчетливо наблюдается зональность отложения, выраженная в последова-

тельности выделения сфалерита и галенита, что несомненно, является результатом изменения физико-химических условий среды. Экспериментальные данные, полученные путем гидротермального синтеза сульфидов цинка и свинца полностью согласуются с визуальными наблюдениями на месторождениях.

4. На подвижность свинца и цинка в условиях образования эндогенных ореолов основное влияние оказывают внешние факторы, в частности, физико-механические свойства пород, их литологический состав, геолого-структурные особенности месторождений и т. д.

5. Различие факторов, влияющих на подвижность свинца и цинка в условиях отложения руд и образования эндогенных ореолов на исследуемых месторождениях, определило и различие в поведении этих элементов, что выразилось в обратной зональности распределения свинца и цинка в эндогенных ореолах по отношению к рудам.

Б. А. СУДОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕЛОВ ЙОДА И БРОМА НА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

1. В гидротермальных рудных месторождениях различного вещественного состава и в разных по возрасту и местоположению рудных районах СССР установлены первичные (эндогенные) ореолы йода, а также брома. Они отличаются наибольшей протяженностью от рудных тел и фиксируются не только в рудовмещающей толще, но и часто в перекрывающих породах. В то же время первичные ореолы рудообразующих элементов и их спутников обладают существенно меньшими размерами и устанавливаются главным образом в рудовмещающей толще.

Занимая внешнюю зону первичных ореолов рудных месторождений, йод и бром тем самым являются очень важными индикаторами при поисках глубокозалегающих, скрытых рудных тел.

Многие вопросы образования первичных ореолов йода и брома остаются еще пока слабо освещенными и это отрицательно сказывается на их широком использовании при поисках рудных месторождений.

2. Весьма существенными для правильного понимания и применения геохимического метода поисков по первичным ореолам йода и брома представляются следующие вопросы:

а) источник и формы нахождения йода и брома в гидротермальных рудных растворах;

б) образование первичных ореолов йода и брома и закономерности их строения;

в) формы нахождения йода и брома в горных породах;

г) оптимальные геологические условия применения метода для поисков глубокозалегающих скрытых рудных тел.

Решение большинства из них представляют значительные трудности и требуют специальных, в том числе экспериментальных исследований. Однако общие предложения по направлениям этих исследований могут быть сформулированы уже сейчас и положены в основу дальнейших работ.

Необходимость постановки таких работ обосновывается, с одной стороны, соображениями дальнейшего развития теории гидротермального рудообразования вообще, и первичных ореолов, в частности, и, с другой стороны, задачами повышения эффективности поисков рудных месторождений по их первичным ореолам.

3. Образование первичных ореолов йода и брома на гидротермальных рудных месторождениях объясняется многокомпонентностью рудообразующих растворов (Н. И. Сафронов, 1962; Л. Н. Овчинников, С. В. Григорян, 1970). Это определяет участие в рудообразующих растворах и в процессах рудообразования группы элементов микрокосмического (по В. И. Вернадскому, 1922, рассеяния и, в том числе йода и брома. Участие йода и брома в гидротермальном рудообразовании вытекает также из представлений А. Г. Бетехтина (1953) о галоидном переносе металлов в гидротермальных растворах в виде хлоридов, фторидов, бромидов и йодидов и представлений К. Г. Хелгесона (1967) о переносе металлов в форме комплексных соединений с галоидами.

Часть йода и брома находится в молекулярной форме. Возможно присутствие этих элементов в газовой фазе рудоносного флюида (В. З. Фурсов, 1971).

Наличие повышенных концентраций йода и брома в современных гидротермах подтверждает справедливость

предположений об их участии в гидротермальном рудообразовании.

4. Образование первичных ореолов йода и брома на гидротермальных рудных месторождениях происходит в результате высвобождения их из соединений с металлами и дальнейшей миграции в виде йодид-ионов и бромид-ионов. Их миграция осуществляется как за счет фильтрации по рудовмещающей толще и зонам тектонической трещиноватости перекрывающих пород, так и за счет диффузии в вертикальном направлении через относительно более плотные перекрывающие породы.

Обладая, с одной стороны, низкими значениями ионных потенциалов (йод — 0,45; бром — 0,52) и, как следствие, низкой реакционной способностью с элементами вмещающих пород и руд и, с другой стороны, большими ионными радиусами (йод — 2,20 Å; бром — 1,96 Å и, как следствие, невозможностью к изоморфному вхождению в кристаллические решетки других минералов, йод и бром имеют склонность к максимальному удалению от рудных тел за счет существующих на этапе образования руд и их первичных ореолов градиентов температуры, давлений и концентраций элементов. Это обуславливает их положение во внешней зоне первичных ореолов в соответствии со схемой зональности (Н. И. Сафронов, 1971) и теоретической моделью первичного ореола (А. П. Соловов, 1966 г), и большое практическое значение ореолов йода и брома для поисков глубокозалегающих скрытых рудных тел.

5. Существенное значение при поисках рудных месторождений по первичным ореолам йода и брома имеет знание форм нахождения этих элементов в горных породах, что позволяет определить метод анализа геохимических проб для выявления в них ореольных и фоновых концентраций йода и брома. Проведенные исследования форм нахождения йода в горных породах (Л. А. Шнейдер, 1965; А. Д. Миллер и др., 1971) показали, что он присутствует в породах в виде йодид-иона в поровой и пленочной воде. Такая же форма нахождения свойственна, по-видимому и бром. Указанные формы нахождения йода и брома обладают заметной подвижностью и это позволяет рекомендовать их выделение при анализе геохимических проб, что существенно повышает производительность анализа и эффективность метода (А. Д. Миллер и др. 1968).

6. Опыт проведенных исследований первичных ореолов йода и брома на гидротермальных рудных месторождениях показывает, что наиболее эффективно их использование в комплексе с первичными ореолами рудообразующих элементов на стадии средне- и крупномасштабных поисков.

Целесообразно применение метода прежде всего при поисках скрытых рудных тел и месторождений, залегающих в рудовмещающей толще, которая имеет субгоризонтальные углы залегания и перекрыта сверху другими более плотными породами. В этих случаях образуются диффузионные ореолы йода и брома в надрудных толщах пород, обладающие значительной протяженностью по вертикали (200—300 м). Имеются указания о фиксировании диффузионных ореолов йода и на больших расстояниях от рудных тел.

В тех случаях, когда рудовмещающая толща имеет более крутые углы залегания и выходит на поверхность в пределах месторождения, может быть зафиксировано наличие диффузионных ореолов йода и брома над скрытым рудным телом и инфильтрационных ореолов на выходе рудовмещающей толщи на поверхность или в зонах тектонической трещиноватости перекрывающих пород.

Если рудовмещающая толща имеет субвертикальные углы залегания и выходит на поверхность, над рудными телами фиксируется по существу инфильтрационный ореол йода и брома. Однако, в этом случае метод поисков по первичным ореолам йода и брома в сравнении с использованием первичных ореолов рудообразующих элементов никаких преимуществ не имеет.

Дальнейшее внедрение геохимического метода поисков по первичным ореолам йода и брома должно быть подкреплено постановкой соответствующих теоретических и экспериментальных исследований и изданием методического руководства.

В. В. ПОЛИКАРПОЧКИН

ТЕОРИЯ ВТОРИЧНЫХ ОРЕЛОВ РАССЕЯНИЯ НА ДЕФЛЮКЦИОННЫХ СКЛОНАХ

Наиболее типичной ситуацией, с которой приходится встречаться в практике поисковых работ, является склон, пок-

рытый продуктами выветривания местных (залегающих на склоне) горных пород. Если здесь расположено рудное тело, то продукты выветривания его отражаются в составе рыхлого покрова, но условия залегания и другие характеристики ореолов зачастую таковы, что они не обнаруживаются простейшими (наиболее часто практикуемыми) способами. Поэтому крайне важным является развитие теории, отражающей сущность происходящих на склоне процессов и позволяющей вывести характеристики образуемых ими ореолов, с тем чтобы на этой основе подойти к правильной (эффективной) методике поисковых работ.

Совокупность действующих на склоне процессов и соответствующие им классы ореолов рассеяния можно представить в следующем виде: а) перемещение продуктов выветривания в твердой фазе (образуются механические ореолы); б) перенос веществ в растворенном состоянии (солевые лито- и гидрхимические ореолы); в) биологические процессы (биогеохимические ореолы).

Механические ореолы. Под дефлюкционными понимаются склоны малой и средней крутизны (с наклоном меньше угла естественного откоса), на которых основным способом переноса твердых продуктов выветривания является медленное сползание образуемых ими рыхлых масс под действием гравитации. Таковыми являются склоны преобладающего большинства территорий (за исключением высокогорных, где широко распространены крутые склоны и значительную роль играют обвальные и осыпные процессы).

Медленное сползание рыхлых масс осуществляется в виде дефлюкции (течения) и десерпции (сползание под действием попеременного увеличения и уменьшения объема масс), причем оба процесса разнозначны в отношении образования ореолов. Дефлюкционные ореолы имеют вид залегающих в рыхлых образованиях слоев, причленяющихся к рудным телам на выходе и распространяющихся далеко вниз по склону (часто они фиксируются вплоть до подножия). Глубина залегания ореолов зависит от положения рудных тел на склоне и поэтому для дефлюкционного (и десерпционного) процесса чрезвычайно характерно образование закрытых ореолов (открытыми являются лишь ореолы рудных тел, находящиеся в вершине склона).

На дефлюкционное движение накладывается беспорядочное перемещение частиц в массе рыхлых образований (процесс диффузионного типа), вследствие чего закрытые

ореолы могут достигать дневной поверхности. Но, если рудные тела не расположены при вершине склона, линия максимальных концентраций диффузионно-дефлюкционных ореолов остается расположенной на глубине, а у поверхности они ослаблены (полузакрытые ореолы). Открытые механические ореолы с преобладанием диффузионной составляющей, имеющие вид развернутого кверху веера, образуются лишь на плоских водоразделах, где преобладают очень малые уклоны (порядка 3—1° и менее) и дефлюкционный процесс не действует или отступает на второй план.

Солевые лито- и гидрохимические ореолы. Зона окисления месторождений (в особенности сульфидных) обычно бывает сильно обедненной рудными элементами и, хотя значительная часть их массы может осаждаться недалеко от рудных тел, это свидетельствует об очень большой роли выноса веществ в растворенном состоянии. В особенности это касается таких элементов как сера, цинк, мышьяк, молибден, фтор и ряд других.

Солевые ореолы рассеяния (лито- и гидрохимические) целесообразно делить по направлению миграций растворенных веществ — восходящей и нисходящей или боковой. В зависимости от этих направлений различаются процессы переноса веществ. Восходящая миграция происходит путем диффузии растворенных веществ и капиллярного подъема растворов, осуществляемого в чистом виде или соединенного с испарительными явлениями и транспирацией воды растениями. Она вполне эффективно действует в пределах мощности рыхлых образований, характерной для дефлюкционных склонов, и в благоприятных условиях может проявляться от залегающих на глубине горизонтов подземных вод. Характерно осаждение веществ из восходящего тока на определенных геохимических барьерах (например, окислительном и, что особенно важно в поисковом отношении, в органогенных горизонтах почв). В гумидных районах восходящей миграции препятствует промывной режим, но она может развиваться в сухие периоды. В аридных районах часто происходит испарительное концентрирование поднимающихся снизу веществ на дневной поверхности или вблизи нее.

Нисходящая миграция приводит к выносу веществ из зоны окисления и к перераспределению веществ между почвенными горизонтами. Ореолы боковой миграции развиваются в водоносных горизонтах (как основных, так и периодически действующих — на контактах коренных пород и рых-

лых образований, при внутрпочвенном стоке и т. п.) и обнажаются на выходах подземных вод.

Биогеохимические ореолы разделяются на две главные группы: фитогеохимические (в живых растениях) и унаследованные от них ореолы в органогенных накоплениях — растительном спаде, гумусовых горизонтах почв, торфах и т. п. (практически эти последние трудно отделить от образованных в тех же материалах путем восходящей или боковой солевой миграции). Растения усваивают вещества в пределах глубин, достигаемых их корнями, а в соединении с восходящим (диффузионным или капиллярным) током общая глубина, до которой рудные тела отражаются ореолами в растениях и органогенных накоплениях, может быть очень значительной. Поскольку ореолы на дефлюкционных склонах, как механические, так и солевые, сильно вытянуты вниз по склону, такой же вытянутостью характеризуются и биогеохимические ореолы, причем максимумы, соответствующие выходам рудных тел, удается фиксировать далеко не всегда.

Практические выводы. Закрытые дефлюкционные ореолы весьма характерны для залесенных площадей. Практический опыт показывает, что применение визуальных методов поисков, а также простейших, ориентирующихся на выявление механических ореолов рассеяния, вариантов литохимических съемок (с отбором проб из неглубоко залегающих «представительных» горизонтов), в этих условиях является мало эффективным. В докладе будут приведены яркие примеры того, что указанная съемка обеспечивает выявление лишь тех месторождений, которые расположены на водоразделах, причем эти примеры типичны для обширных территорий.

Выход из положения заключается в использовании других видов ореолов — гидро- и биогеохимических (речь может идти о широкой замене литохимических съемок гидро- и биогеохимическими), а также солевых литогеохимических, с опробованием специфических материалов (например, органогенных). При работах большой детальности (на ограниченных по площади участках) может потребоваться проходка выработок (или неглубоких буровых скважин) с целью обнаружения закрытых дефлюкционных ореолов. Во всех случаях целесообразно использование потоков рассеяния.

На площадях с разряженной растительностью (сухие степи), где активно действует водная и ветровая эрозия, приводящая к обнажению дефлюкционных ореолов, применим обычно практикуемый вариант литохимических съемок.

О ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ ЗОНАЛЬНОСТЕЙ ЭКЗОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ

1. На основании изучения закономерностей распределения рудных элементов в различных типах экзогенных ореолов рудных месторождений установлена тесная геохимическая связь между зональностью литохимических солевых ореолов и рядами подвижности этих элементов в водных ореолах рассеяния рудных тел. Наиболее отчетливо она проявляется в ореолах интенсивно окисляющихся сульфидных залежей, особенно медноколчеданного типа, и менее контрастно в зоне гипергенеза редкометальных и других типов несульфидных месторождений.

2. В околорудных зонах пидрогеохимических полей наблюдается развитие двух полярных типов ореольных вод, в которых происходит максимальная концентрация разнообразного комплекса элементов-индикаторов рудных тел, осаждающихся в определенной последовательности на различных геохимических барьерах. А именно, сернокислое в пределах влияния интенсивно окисляющихся сульфидных залежей и сильно щелочное в зоне выветривания металлоносных щелочных пород (нефелиновые сиениты и др.).

3. Геохимическая зональность как литохимических, так и водных ореолов рассеяния медноколчеданных и полиметаллических месторождений характеризуется преобладанием в их околорудных зонах слабоустойчивых сульфатных форм основных рудообразующих элементов (медь, цинк, свинец и др.), обычно мигрирующих в природных водах в виде положительно заряженных и нейтральных комплексов, за исключением сильно кислых сульфатных сред, где присутствуют и простые незакомплексованные катионы. Соединение последних со свободными ионами серы приводит к образованию вторичных сульфидов данных элементов. В периферических зонах литохимических и водных ореолов сульфидных месторождений преобладают более устойчивые карбонатные и гидроксокомплексные соединения меди, цинка, свинца и других рудообразующих элементов.

4. Основными миграционными формами рудных элементов в сильно щелочных гидрохимических средах, распространенных в околорудных зонах редкометальных месторождений,

являются фторидные комплексные соединения преимущественно анионогенного типа.

5. Сходство рядов зональности водных и солевых ореолов основных элементов-индикаторов рудных месторождений свидетельствует о единой геохимической направленности их формирования и возможности прогнозирования состава одних по составу других. В зоне смешения с фоновыми водами зональность водных ореолов нарушается, что соответствующим образом отражается на зональности солевых ореолов.

6. О палеогеохимических условиях формирования литохимических и водных ореолов можно судить по распределению рудных элементов в поровых водах тонкодисперсных надрудных образований с помощью метода компрессионного отжатия водовмещающих пород без разрушения кристаллических решеток их минералов. Применяющиеся для этих целей методы водных и солянокислых вытяжек являются менее надежными вследствие нарушения химического состава поровых вод.

7. Анализ индивидуальных физико-химических свойств миграции основных элементов-индикаторов рудных месторождений и их положение в рядах геохимической зональности экзогенных ореолов рудных месторождений рассматривается с учетом палеогеологических особенностей формирования зон окисления наиболее изученных в этом отношении типов месторождений (медноколчеданные, полиметаллические, ртутные, молибденовые, вольфрамовые, золоторудные, медно-никелевые и др.).

Б. А. ДОСАНОВА

РЯДЫ ГИПЕРГЕННОЙ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ МЕТОДИКИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Теоретические представления о миграции химических элементов в зоне гипергенеза определяют закономерности формирования вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений.

Для характеристики миграционной способности элементов в ореолах рассеяния служат два показателя: коэффициент пропорциональности k между количеством металла в коренном оруденении и его ореоле рассеяния и коэффициент рассеяния σ , характеризующий удаление атомов рудных элементов при ореолообразовании от их первоначального положения в рудной зоне. Величина коэффициента рассеяния σ измеряется в метрах.

Оба показателя, характеризуя разные стороны процесса формирования вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений, по своим численным значениям отвечают условиям динамического равновесия между выветриванием и денудацией и определяются местным геохимическим ландшафтом.

Методам определения, роли и местным численным значениям коэффициента k , характеризующего вынос ($k \leq 1,0$) или аккумуляцию ($k \geq 1,0$) металла в процессе формирования ореолов уделялось достаточное внимание. Значительно менее изучены закономерности, определяющие сравнительные значения коэффициента гипергенного рассеяния σ для разных элементов в данном ландшафте и для конкретных элементов в различных ландшафтах.

Важность накопления сведений о величинах коэффициента рассеяния σ определяется необходимостью их использования для выбора шага опробования по поисковым профилям, расчета минимальных размеров рудопроявлений, выявляемых при литохимических поисках, при решении прямой задачи геохимии — расчете ожидаемого вторичного ореола рассеяния по заданным параметрам рудного тела, при использовании с этой же целью круговой палетки и линейки Р. И. Дубова, а также при решении многих других теоретических и прикладных задач.

Нами изучены ряды подвижности большого комплекса рудных элементов (свинца, меди, цинка, молибдена, серебра, висмута мышьяка, олова, вольфрама, кадмия, бериллия, золота, ртути и др.), характерных для зоны гипергенеза медных, полиметаллических, золоторудных, редкометальных и ртутных месторождений Мугоджар, Центрального и Южного Казахстана.

Численные значения коэффициентов рассеяния σ различных элементов в одинаковых ландшафтах изменяются от 2^x — 3^x м до 15—20 м в соответствии с физическими свойствами самих элементов, особенностями их поведения в данных ландшафтно-геохимических условиях. Отмечены случаи, ког-

да химические элементы с близкими физическими свойствами характеризуются резко различными значениями коэффициента рассеяния, что объясняется различными формами (солевой, механической) их нахождения в ореоле. Рассмотрены примеры, когда коэффициенты рассеяния одного и того же элемента различных месторождений имеют разные значения, указывая на различные ландшафтно-геохимические миграции его на этих месторождениях.

Все эти особенности рудных элементов, выражаемые в значениях коэффициента рассеяния σ , предопределяют форму, размеры и особенности формирования и проявления вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений в различных ландшафтных условиях. Знание, учет и использование этих особенностей повысит теоретические представления о формировании вторичных ореолов рассеяния и практическую эффективность геохимических поисков.

М. И. АНДРЕЕВ, А. М. ЧЕРНЯЕВ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МИГРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕТАЛЛОВ В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Воды зоны гипергенеза сульфидных месторождений характеризуются рядом специфических особенностей: низкими значениями рН, высокими значениями окислительно-восстановительного потенциала (Еh), колеблющегося в пределах от +0,3 до +0,8 в, высокой минерализацией, сульфатным составом, наличием тионовых бактерий и т. д.

Главными рудогенными минералами, слагающими массивные колчеданные руды, являются пирит, халькопирит и сфалерит в различных соотношениях, в качестве второстепенных присутствуют галенит, борнит, геннантит, пирротин и некоторые другие. При растворении этих минералов воды зоны гипергенеза обогащаются тяжелыми металлами, образуя водные ореолы рассеяния, размеры и контрастность которых определяются внутренними и внешними факторами миграции элементов.

Водные ореолы меди, свинца и цинка распространяются в зависимости от геологических, гидрогеологических и геохимических условий на сотни метров, иногда на первые километры.

Для количественной оценки миграционной способности элементов существуют несколько способов расчета коэффициентов миграции (А. И. Перельмана, Е. Е. Беляковой, Г. А. Вострокнутова), но эти коэффициенты либо содержат существенные недостатки, либо очень сложны для расчетов.

Нами предпринята попытка оценить миграционную способность металлов с помощью несложных термодинамических расчетов. Методика расчетов заимствована у А. А. Макарушева и др. и заключается в следующем.

Катионы металлов, устойчивые в кислых растворах, по мере увеличения рН и уменьшения Eh реагируют с отрицательно заряженными e^- , O^{2-} , S^{2-} , CO_3^{2-} и некоторыми другими с образованием восстановленного металла, окислов, сульфидов, карбонатов и других мало растворимых соединений, выпадающих из растворов. Вычислив величину ΔZ° простейших перечисленных реакций для каждого элемента в отдельности, можно произвести сравнительную характеристику миграционной способности этих элементов. Чем меньше величина изобарного потенциала, тем меньше миграционная способность элемента. Прибавив к величине ΔZ° число 100, получаем условные единицы, вычисляемые для каждой из четырех реакций осаждения (для каждого элемента). Перемножив между собой эти величины, получаем значения миграционной способности (F^1). Меньшая величина F^1 для какого-либо элемента изучаемого ряда принимается за единицу, остальные значения F^1 делятся на выбранную величину и получается величина F.

Вычисленные нами таким способом миграционные способности F имеют следующие значения: Cu=1, Co=1,02, Ni=1,02, Pb=1,39, Zn=1,73, Cd=1,85, Fe²⁺=1,89, Mn²⁺=2,48.

Выведенный теоретический ряд подвижности металлов в зоне гипергенеза нельзя считать универсальным. Он отражает наиболее общие тенденции поведения металлов в кислых водных растворах без учета влияния внешних факторов и может являться своего рода эталоном для сравнения с эмпирически полученными рядами. Значительные отклонения эмпирических рядов от теоретического свидетельствуют о специфических геолого-геохимических условиях изучаемого региона.

ФОРМЫ МИГРАЦИИ МЕДИ, ЦИНКА, КАДМИЯ, СВИНЦА И СЕРЕБРА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АРМ. ССР (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АХТАЛА И ШАМЛУГ)

1. В вопросе о формах миграции элементов в подземных водах последнее десятилетие заметен переход от информативного и теоретического характера к практическому выводу.

При существующих гидрогеохимических условиях в подземных водах медноколчеданных и полиметаллических месторождений северной части Армянской ССР были определены неорганические формы нахождения меди, цинка, свинца, кадмия и серебра.

2. Характерными формами существования меди в сульфатных кальций-натриевых водах медноколчеданных и полиметаллических месторождений являются $[Cu^{2+}]$ и $[CuSO_4]^0$. Подчиненное положение занимают комплексы хлоро- и дисульфато меди.

3. Главными миграционными формами цинка являются свободный ион цинка и нейтральная молекула сульфата цинка. Несмотря на высокое процентное содержание свободных ионов цинка, в кислых водах зоны пипергенеза последние уступают место нейтральным молекулам $[ZnSO_4]^0$.

4. Для сильно кислых сульфатных вод ($pH=2-4,4$, $Eh=450-700 мв$), характерной формой миграции свинца является свободная ионная форма $[Pb^{2+}]$, содержание которой остается неизменным на протяжении широкого диапазона pH и резко падает в области нейтральных вод при $Eh \approx 160 мв$, уступая свое место ионам гидрокси- и дикарбонато-свинца.

В сильно кислых сульфатных водах обоих генетических типов месторождений бросается в глаза тенденция к накоплению комплексов дисульфато-свинца.

5. Главными формами миграции кадмия являются свободный кадмий-ион $[Cd^{2+}]$ и нейтральная молекула сульфата кадмия $[CdSO_4]^0$. Второстепенное положение занимает комплекс монохлорида-кадмия, причем процентное содержание $[CdCl]^+$ увеличивается в направлении к нейтральным водам.

6. В тех водах, где имеется $[I^-]$, основной формой миграции серебра является его йодо-комплекс (80—99%), причем

в направлении от кислых сульфатных до нейтральных гидрокарбонатно-сульфатных вод наблюдается незначительное возрастание содержания комплекса $[AgI]^0$. При отсутствии в водах $[I^-]$, картина резко меняется: так, комплекс $[AgI]^0$ уступает свое место свободным ионам серебра $[Ag^+]$ нейтральным молекулам хлорида серебра $[AgCl]^0$ и комплексам дихлоро-серебра $[AgCl_2]$.

7. Полученные данные по формам миграции рассматриваемых элементов, в подземных водах сульфидных месторождений (Ахтала, Шамлуг), дают нам ценный материал, позволяющий выявить причинную связь, которая существует между составом вод и условиями, в которых эти воды формировались. Эти сведения в сочетании с другими данными могут быть использованы при поисках полезных ископаемых.

Т. Н. КЮРЕГЯН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НА ДАСТАКЕРТСКОМ РУДНОМ ПОЛЕ

1. В подземных водах Дастакертского рудного поля был обнаружен широкий круг микроэлементов (молибден, медь, свинец, цинк, кобальт, барий, стронций, серебро, олово, сурьма, галлий, иттрий, иттербий, бериллий, скандий, золото) с помощью концентрирования последних на смешанном сорбенте (хлорлигнин + БАУ).

2. Статистический анализ микрокомпонентного состава исследуемых вод дал основание объективно оценить их фоновые содержания.

3. Коэффициенты миграции основных рудообразующих элементов — молибдена и меди, соответственно равны 17 и 34, что говорит о более активных миграционных способностях меди.

4. С помощью примененных термодинамических расчетов были определены возможные неорганические формы нахождения молибдена и меди в водах. Было выявлено, что молибден присутствует в виде двух форм: $[MoO_4^{2-}]$ и $[HMoO_4^-]$,

однако доминирующей формой является молибдат-ион, содержание которого колеблется от 51 до 93%, в водах гидрокарбонатно-сульфатных кальциево-натриевого состава, с рН от 6,8—8,4. Процентное содержание бимолибдата $[HM_2O_4^-]$ колеблется в пределах от 7 до 54%, причем самые высокие содержания встречаются в нейтральных водах, с химическим составом сульфатно-гидрокарбонатных кальциево-натриевого типа.

По меди были выявлены четыре формы миграции, располагающиеся в следующий ряд: $[CuCO_3^0] > [Cu^{2+}] > [CuOH^+]$ $> [CuSO_4^0]$, что говорит о преобладающей (от 63 до 96%) значении карбонатной формы меди и ее свободного двухвалентного иона (от 2 до 28%) в водах исследуемого района.

Наблюдается прямая зависимость: с увеличением рН — возрастает процентное содержание карбонатной формы меди.

5. На основании вычисленных аномальных содержаний меди, молибдена и элементов-спутников, были оконтурены аномальные участки в пределах исследуемого региона.

Аномальные содержания меди и молибдена колеблются соответственно: от 0,3—0,67 мг/л и от 0,007—0,013 мг/л, и, в основном, связаны с грунтово-трещинными водами гидрокарбонатно-сульфатных и сульфатно-гидрокарбонатных кальциево-натриевого составов, генетически связанных с порфиритовыми разностями пород.

6. Вокруг аномальных участков образуются контрастные водные ореолы, что в значительной мере облегчает их выделение на естественном фоне.

7. Выявленная ассоциация элементов говорит о наличии погребенных медно-молибденовых рудных тел и необходимости ведения гидро-геохимических исследований на выделенных аномальных участках при более детальном геолого-поисковых работах.

А. Л. КОВАЛЕВСКИЙ

К ТЕОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНЫХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В РАСТЕНИЯХ

Современная методика биогеохимических поисков позволяет исключить отрицательное влияние на получаемые резуль-

таты большинства факторов, мешающих получению поисковой информации. Это достигается путем дифференцированного определения биогеохимического фона для разнородных ландшафтов и стандартизацией опробуемого растительного материала, а при необходимости — введением поправок на его разнородность, и время отбора проб. На получаемые результаты существенное влияние оказывают три основных фактора: 1) формы нахождения элементов-индикаторов в рудах и их лито- и гидрохимических ореолах, контактирующих с корнями растений; 2) наличие у растений физиологических барьеров по отношению к высоким концентрациям химических элементов в питающей среде и 3) наличие и степень контакта корней растений с рудами и их лито- и гидрохимическими ореолами.

Формы нахождения элементов-индикаторов оказывают влияние на формирование биогеохимических ореолов через их относительную доступность корням растений, которая может изменяться в 10^6 — 10^9 раз. Расчеты и фактические данные показывают, что в формировании рудных биогеохимических аномалий наибольшее значение обычно имеют элементы-индикаторы, находящиеся в твердой фазе литохимических ореолов в воде — или кислоторастворимой форме и в дисперсном состоянии (крупность зерен—0,01—0,1 мм). В редких случаях наибольшее значение имеют растворенные формы гидрохимических ореолов. В связи с влиянием форм нахождения элементов-индикаторов в корнеобитаемой зоне минеральные типы руд и литохимических ореолов могут быть разделены на весьма благоприятные, благоприятные и непригодные («запрещенные») для выявления биогеохимическими методами. По имеющимся статистическим данным, приблизительно 20% типов руд не дают статистически достоверных биогеохимических аномалий и не могут быть выявлены с помощью опробования растений.

Наличие у растений физиологических барьеров обуславливает неодинаковую поисковую информативность различных видов, органов и частей органов растений (биообъектов). По относительным предельным (барьерным) концентрациям биообъекты разделены на 4 группы: 1) безбарьерная (высокоинформативная); 2) высокобарьерная с высокими предельными концентрациями, превышающими фоновые приблизительно в 30—300 раз и более (информативная); 3) среднебарьерная (малоинформативная) и 4) низкобарьерная с низкими предельными концентрациями, не превышаю-

щими минимально-аномальных значений однородного геохимического ландшафта (неинформативная, «запрещенная») для использования при поисках). Имеющиеся данные автора для Сибири и сопоставление их с опубликованными позволяют говорить о том, что количественные барьерные характеристики 50—100 изученных биообъектов являются довольно стабильными и приближенное группирование их может быть распространено, вероятно, на весь земной шар, с уточнениями в различных регионах (в основном в связи с неодинаковыми местными фоновыми содержаниями элементов-индикаторов). На комплекс рудных элементов наиболее информативными биообъектами являются кора (верхний пробковый слой или корка без луба) деревьев и низшие растения (мхи и лишайники). Получены многочисленные фактические данные о том, что переход с обычно принятого в настоящее время опробования ветвей с листьями на наиболее информативные биообъекты значительно повышает контрастность рудных биогеохимических ореолов и эффективность поисков.

Зависимость глубинности и информативности биогеохимических поисков от глубины корневых систем растений делает необходимым группировать доминантные виды по глубине проникновения корней в рыхлые образования и выбирать для опробования безбарьерные и высокобарьерные биообъекты видов растений, имеющих наиболее глубокие корни. Одновременное опробование на выявленных аномалиях растений с различными глубинами корней позволяет проводить биогеохимический каротаж — получение информации о распределении элементов-индикаторов в вертикальном разрезе рыхлого покрова с помощью растений.

Для учета основных факторов формирования биогеохимических ореолов в растениях и количественной интерпретации выявляемых биогеохимических аномалий составлен комплект таблиц (справочные материалы по биогеохимическим поискам рудных месторождений в Восточной Сибири), содержащий информацию о 15 элементах-индикаторах: Рв, Zп, Мо, Ag, Au, Be, Li, Bi, W, F, Ba, Mn, Fe, U и Ra.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЗОНАЛЬНОСТИ ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1. Вследствие большой сложности экспериментального моделирования и термодинамических расчетов состава многокомпонентных рудообразующих растворов, в качестве основных источников информации о геохимических условиях формирования зональности эндогенных ореолов использованы природные гидротермальные системы и газовой-жидкие включения в минералах рудовмещающих пород.

Установленное сходство распределения в них рудных и солевых компонентов свидетельствует о близости термодинамических условий формирования, а следовательно, возможности получения исходных параметров для реконструкции палеогеохимических и палеодинамических обстановок переноса и осаждения металлов в древних водонапорных системах трещиноватых массивов.

2. Несмотря на различие состава и геологических условий локализации рудных тел, зональность их эндогенных ореолов характеризуется единой геохимической направленностью в последовательности осаждения химических элементов на однотипных движущихся геохимических барьерах.

3. Место каждого элемента-индикатора в ряду зональности эндогенного ореола любого типа оруденения определяется устойчивостью его основной формы миграции в конкретных диапазонах изменения кислотно-щелочных свойств среды и концентрациями наиболее сильных анионов-комплексобразователей. Наибольшим непостоянством в рядах зональности эндогенных ореолов обладают элементы с переменной валентностью (медь, мышьяк, молибден, золото и др.), отличающиеся наибольшим разнообразием форм переноса и осаждения на различных геохимических барьерах (карбонатный, сульфатный, кремнистый, железистый, органогенный и др.). Это необходимо учитывать при интерпретации зональности выявляемых ореолов путем анализа имеющегося большого экспериментального материала и расчетных данных по формам миграции рудных элементов в различных природных типах термальных вод.

4. Установленная в пределах многих рудных полей общность зональности эндогенных и гипергенных ореолов обус-

ловлена главным образом высокой устойчивостью наиболее растворимых форм переноса металлов в широком интервале температур (25—300°C), вследствие уменьшения констант их диссоциации по мере возрастания температуры.

5. При удалении от рудных полей корреляционные связи между основными рудообразующими элементами понижаются, что соответствующим образом проявляется и в нарушении геохимической зональности всех типов ореолов на окаймляющих фоновых площадях.

6. Изменения кислотно-щелочных свойств рудоносных растворов в очагах их разгрузки сопровождается эволюцией как форм миграции солевых макрокомпонентов, определяющей зональность гидротермально-измененных пород, так и эволюцией форм переноса рудных элементов. В пределах сульфидных полей это выражается сменой наиболее устойчивых и растворимых в высокотермальных хлоридных средах разнообразных галогидных комплексов (фторидные, бромидные, йодидные, хлоридные и др) менее устойчивыми сульфатными и сульфидными.

7. Анализ региональных закономерностей распространения сульфатных вод в рудоперспективных районах показал, что их нижняя граница залегания обычно не опускается ниже 1,0—1,5 км, что совпадает с глубиной размещения наибольшего числа медноколчеданных и полиметаллических месторождений страны. Геохимические предпосылки использования этого явления в целях возможного прогнозирования наиболее оптимального интервала концентрирования металлов в сульфидной форме с привлечением палеогидрогеохимического анализа развития рудовмещающих структур будут рассмотрены в докладе на примере конкретных рудных районов.

А. А. МАРАКУШЕВ, А. А. ГАРМАШ

К ТЕОРИИ ПЕРВИЧНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ КОЛЧЕДАННО- ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РУДНОГО АЛТАЯ)

Промышленные месторождения колчеданно-полиметаллической формации, характеризующиеся широким спектром

металлических компонентов, сложены стандартным набором типов руд: медноколчеданным (пирит-халькопиритовым, медно-цинковым (пирит-халькопирит-сфалеритовым), полиметаллическим (пирит-халькопирит-сфалерит-галенитовым), барит-полиметаллическим (барит-сфалерит (пирит-халькопирит-галенит-сульфосольным) и борнит-халькозин-серебряным. Гипогенная минералого-геохимическая зональность, проявляющаяся повсеместно и единообразно в масштабах рудных тел, месторождений и рудных полей, обусловлена последовательной сменой указанных типов руд в направлении от фокусов зональности, которыми являются рудоподводящие разломы и узлы их пересечений. Кроме того наблюдается фациальная изменчивость руд одного типа, проявляющаяся в плавном нарастании в том же направлении компонентов, свойственных соседнему выше расположенному типу руд. В схематизированном виде единая зональная колонка распределения максимумов концентрации главных и типичных второстепенных компонентов руд такова: Ni, Mo I, Cu I, Bi I, Se (Te) I, Zn, As, Cd, Pb, Mo II, Se (Te) II, Bi II, Cu II, Sb, Au, Ag, Te, Ba.

Вместе с тем месторождения Иртышской и Северо-восточной зон смятия образуют самостоятельные группы — субформации, различающиеся по составу руд (пирит, медь, свинец, висмут, селен, серебро, барий) и характеризующиеся своеобразием в контрастности и полноте зональных колонок, устойчивости состава руд в пространстве, избирательности в отношении литологического состава вмещающих пород и др.

Рассматриваемая естественная модель хорошо согласуется с рядом подвижности металлов, полученным расчетным путем на основе термодинамических констант. Определяющее значение в образовании рудной зональности принадлежит кислотно-щелочным свойствам металлов, средству к сере и кислороду, «степени самородности», что в совокупности, определяет положение пиков накопления металлов в минерализуемом пространстве, минеральные формы выделения из растворов и облик устойчивых и повторяющихся минеральных ассоциаций. В равной степени эти же параметры определяют распространение в рудах многочисленных редких элементов-примесей, в ряде случаев более чувствительных к физико-химическим условиям рудоотложения по сравнению с главными компонентами.

Стержень обобщенной зональности колонки образует ряд металлов в порядке возрастания их щелочных свойств при

миграции их в форме катионов в кислой среде (зональность I типа, по Маракушеву) — $Mn + H_2O - H_2S_{к.кал} = Cu (-10,26)$, $Mo^4 (-5,42)$, $Bi^3 (-3,31)$, $Pb (1,51)$, $Zn (1,88)$ $Cd (2,81)$, $Ba (23,94)$ — корректирующийся рядом сродства металлов к сере относительно кислорода $Ms^2 - Mo^2_{к.кал} : Ni, Bi, Pb, Cd, Cu, Ti, Ag$. Более полное согласие с наблюдаемым реальным зональным размещением металлов, в том числе позволяющем объяснить двухкратное повторение некоторых химических элементов в колонке (Cu, Mo и др.), достигается привлечением гипотезы об анионной форме миграции (зональность II типа по Маракушеву), при которой резко возрастает возможность сдвига к фронтальной зоне, особенно в условиях щелочной среды, ряда металлов, обладающих незначительной подвижностью в форме катионов (Sn, Sb, Cu, Mo, Pb).

Формирование реальной зональности колонки данного типа оруденения в различных ее конкретных модификациях, рассматриваемых в докладе, обусловлено рудоотложением из единого, дифференцированного во времени и пространстве, гидротермального раствора, в котором катионные и анионные формы миграции металлов связаны взаимными переходами, а кристаллизация руд протекает на фоне снижения температуры и возрастания окислительного потенциала среды к концу процесса.

Допускается, что образование скоплений колчеданно-полиметаллических руд разного состава могло протекать путем близкой во времени кристаллизации на различных пространственных уровнях рудоотложения. Использование количественных характеристик химической термодинамики при объяснении эмпирических закономерностей рудной зональности может иметь важное значение в дальнейшей разработке теоретических основ геохимических методов поисков рудных месторождений и повышении их практической эффективности.

М. А. АБАТУРОВА

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ РУДОНОСНЫХ РАСТВОРОВ НА ПРИМЕРЕ НЕКОТОРЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучению были подвергнуты месторождения золоторудных формаций различного морфогенетического типа — от простых трещинных и межформационных жил до сложной

системы взаимопересекающихся крутых и пологих рудоносных структур. При этом удалось, используя геохимические данные, по каждому из изучавшихся объектов установить пути, по которым двигались рудоносные растворы и формировались рудные тела, что в свою очередь позволило более строго подойти к определению коэффициента геохимической зональности, а следовательно, и уровня среза рудных тел.

Установленные закономерности подтверждают и дополняют известные положения П. Ф. Иванкина о формировании золоторудных полей в виде своеобразных расходящихся в стороны и вверх рудоносных пучков и, как нам представляется, имеют практическое значение при направлении поисково-разведочных работ на золото.

Основные положения доклада проиллюстрированы на примере одного из наиболее сложных в структурном отношении золоторудных месторождений.

Месторождение размещается в эффузивах верхнего палеозоя, представленных переслаиванием андезитовых порфиритов с туфами и туфолавами андезитового состава. Слоистая эффузивная толща, моноклиально под углами 20—40° падающая в северных румбах, рассечена сложной системой разломов различных направлений, среди которых преобладают крутопадающие субмеридиональные структуры. Золоторудные тела размещаются как в секущих крутопадающих разломах субмеридионального простирания, так и в субширотных пологих структурах типа межформационного срыва, образовавшихся на контактах андезитовых порфиритов с туфами и туфолавами.

На первом этапе работ с помощью факторного анализа был определен типоморфный комплекс элементов, участвующих в рудном процессе. Было установлено, что в тесной связи с золоторудными телами формируются первичные ореолы золота, серебра, свинца, висмута, олова, теллура и т. д. Было также отмечено, что свинец и серебро фиксируются в верхних частях рудных тел, а олово и висмут — в нижних частях, что позволило вывести формулу коэффициента геохимической зональности, представляющую собой отношение произведений средних содержаний элементов (нормированных в единицах фона), испытывающих тенденцию к накоплению в верхних частях (свинец, серебро), к произведению средних содержаний элементов, характерных для нижних частей рудных тел (олово, висмут).

Было установлено, что на одном определенном уровне среза рудного тела значения коэффициента зональности не остаются стабильными, а меняются в довольно значительных пределах, по простираанию рудного тела.

Причину такого поведения коэффициента зональности удалось разгадать при рассмотрении поведения первичных ореолов на вертикальной (в случае крутопадающих рудных тел) и горизонтальной (в случае пологопадающих тел) проекциях рудных зон.

Вынос геохимических данных на вертикальную проекцию одной из основных рудных зон показал, что слагающие ее рудные тела образуют единую сложноветвящуюся систему расходящихся вверх и в стороны рудоносных потоков. Практически все образовавшие эту систему рудные тела имеют склонение: для одной группы тел, находящихся в южной части — склонение северное, для других, размещающихся в северной части зоны — южное.

Сложно ветвящиеся системы рудных тел, напоминающие рудные «деревья» с устремленными вверх и в стороны ветвями, отчетливо проявились в виде первичных ореолов золота, серебра, свинца, висмута, меди, олова и других металлов. При этом, в каждой из ветвей, представляющих собой самостоятельные рудные тела, отмечается тенденция к накоплению свинца и серебра вверх, а висмута и олова — вниз по склонению.

Изолинии коэффициента зональности также отчетливо оконтурили эту сложную систему рудных тел, причем минимальное значение коэффициента точно совпадает с осевыми линиями ветвящейся системы рудных тел, а в стороны висячего и лежащего боков рудных тел от осевой линии наблюдается увеличение значений коэффициента зональности. При этом более значительный рост коэффициента отмечается для висячего бока рудных тел, что, по-видимому, объясняется большей подвижностью надрудных элементов.

Изучение зональности первичных ореолов пологопадающих рудных зон показал, что рудоносные растворы поступали в эти зоны из секущих разломов и растекались от них в пологие структуры почти в горизонтальном направлении. Закономерный характер изменения коэффициента зональности в первичных ореолах пологих рудных зон по отношению к рудоподводящей секущей структуре позволил, используя уравнение регрессии, определять по значению этого коэффициента, вычисленного для данной точки пологой структуры,

расстояние до секущего разлома являющегося обычно основным концентратором золотого оруденения.

В докладе приводятся примеры успешной реализации разработанной методики определения уровня среза выявленных рудных тел и их склонения, а также примеры отрицательных оценок участков, бесперспективность которых ранее была установлена по геохимическим данным.

М. П. ГЛЕБОВ, Л. Г. КУЗНЕЦОВА, Ф. М. РОЙЗЕНМАН, Б. М. ШМАКИН

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ОРЕОЛОВ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ И НЕКОТОРЫЕ СЛЕДСТВИЯ ИЗ ИХ ПЕТРОГРАФО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ

Эволюционное развитие пегматитов протекает в условиях постоянного взаимообмена компонентами с вмещающей средой. При этом строение и состав экзоконтактового ореола отражают этапность и стадийность процесса пегматитообразования.

Магматическому этапу становления пегматитовых жил во вмещающих породах отвечают частичная перекристаллизация пород с постепенным осветлением амфибола и образованием по всему периметру контакта тонкой турмалиновой оторочки и редких кристаллов гольмквистита I. Фиксирующиеся при этом ореолы Li, B, Be, Sn и Pb непротяженны, малоконтрастны и возникают в результате прямой потери расплавом некоторой части редких и летучих компонентов, диффундирующих во вмещающие породы. Аналогичным образом, вблизи редкометальных апофиз, представляющих собой зоны поздней редкометальной минерализации непосредственно в амфиболитах, формируется ореол гольмквиститизации, не сопряженной с ореолом биотитизации.

Послемагматическому этапу формирования в различной степени замещенных жил, содержащих редкометальную минерализацию, в контактовом ореоле отвечают следующие друг за другом процессы биотитизации и гольмквиститизации (гольмквистит II). Механизм образования широких минераль-

ных и контрастных элементных ореолов, имеющих важное поисковое значение, в этом случае представляется как результат выноса из пегматитовых тел и диффузии и инфильтрации во вмещающие породы большого круга элементов, высвобождающихся в процессе активного замещения минералов первичных структурных зон.

На примере пегматитовых поясов Сибири и Европейской части СССР установлено, что параметры ореолов зависят не только от состава пегматитовых тел и вмещающих пород, но также отражают степень замещенности жил, тип и генезис рудной минерализации (первичный или наложенный), положение редкометальных зон в пегматитовом теле и особенности тектонического режима.

В амфиболитах примерно в равной степени могут быть проявлены ореолы гольмквиститизации и биотитизации. В кварц-биотитовых сланцах подавляющее развитие имеет процесс перекристаллизации и новообразования биотита. В метагаббро фиксируется только ореол биотитизации.

При спокойной тектонической обстановке ореолы вблизи поллуцитсодержащих жил, формирующихся по принципу саморазвивающейся системы, могут иметь ограниченную мощность, что существенно затрудняет их поиск и оценку продуктивности. Пегматиты лепидолит-альбитового типа с амблигонитом, но без сподумена при высокой концентрации в расплаве фтора в аналогичных тектонических условиях окружены только маломощным ореолом биотитизации, но могут сопровождаться зонами цезиевых слюдитов, являясь бесперспективными на обнаружение поллуцита.

В условиях нестабильного тектонического режима пегматитовые тела с наложенным характером редкометальной минерализации нередко локализуются в крупных региональных зонах биотитовых метасоматитов, которые имеют важное поисковое значение и могут, кроме того, рассматриваться как самостоятельный источник редких щелочных элементов. Важным показателем их продуктивности является величина отношения калия к цезию, рубидию и литию.

Установление типа рудной специализации и степени замещенности жил возможно двумя путями: определением уровня содержания в ореоле отдельных элементов и петрографо-геохимической оценкой степени преобладания биотитизации над гольмквиститизацией или наоборот. Чем выше в измененных породах содержания Rb и Cs, по сравнению с Li, тем интенсивней проявлен ореол биотитизации. Процесс гольмквисти-

тизации шире развит вблизи наиболее редкометаллозамещенных жил.

Знание и учет особенностей формирования первичных ореолов могут сделать их важным ключом к решению задач поиска и оценки специализации «слепых» или недостаточно вскрытых пегматитовых жил.

Л. Н. ХЕТЧИКОВ, И. Л. КОМОВ, С. Ф. НОСОВ, Е. П. ВЕРХОТУРОВ

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ

1. Особенности вертикальной зональности эндогенных ореолов на месторождениях горного хрусталя, рассматриваются на примере Памира. Хорошая обнаженность и расчлененность рельефа этого региона создает благоприятные условия для объемного изучения ореолов.

Хрусталеносные кварцевые жилы Памира являются одними из образований альпийского магматизма (олигоцен — нижнемиоценовое время). Морфология жильных тел разнообразна. В нижних горизонтах преобладают штокверковые тела, которые вверх по разрезу сменяются мощными линейными жилами. Ориентировочные глубины образования хрусталеносных жил составляют 0,6—2,1 км (расчеты глубин проведены по абсолютным отметкам месторождений горного хрусталя и олигоценнижнемиоценовой поверхности пенеплена). Установлено, что наиболее перспективные жильные зоны обычно не встречаются в нижних частях долин, имеющих глубокие врезы, а также в области приводораздельных гребней высоких вершин. Основная часть хрусталеносных жил локализуется в средних и верхних частях склонов (интервалы абсолютных отметок 3000—5000 м).

2. Первичные геохимические ореолы на месторождениях изучены путем опробования горных выработок и керн буровых скважин на различных горизонтах. Установлено, что наиболее контрастные ореолы около хрусталеносных жил образуют: Cl, Hg, F, K, Na, Li, а также В, Ва, Sb, Аq, As, Ni, Со,

Cu, Mo, Ca. Эти элементы образуют достаточно контрастные ореолы вокруг хрусталеносных жил.

3. Выявлена отчетливая зональность ореолов, обусловленная дифференциальным распределением химических элементов в околожильном пространстве. Ореолы Hg, Ba, Sb, Ag, обладают максимальной шириной в верхней части разреза выклиниваются вниз. Ореолы другой группы элементов (Na, B, Ni, Co) расширяются с глубиной и достигают максимальной ширины в подрудной части. Ореолы Cl, Pb, K развиваются симметрично относительно жильных тел. Зональность находит свое количественное выражение в закономерном изменении средних содержаний элементов и величины их отшений. Для количественной характеристики вертикальной зональности рассчитаны показатели зональности и изменение мультипликативного показателя ореолов (Овчинников, Григорян, 1970) для следующих групп элементов: Ba, Sr, As, Ga и Cu, Ni, Co, B, V. С глубиной происходит резкое уменьшение отношения произведений линейных продуктивности

$$\frac{Ba.Sr.As.Sb}{Cu.Ni.Co.B} \text{ и } \frac{Ba.Sr.Ga}{V.Ni.Co} \text{ (более, чем в 10000 раз).}$$

Для всех объектов Памира можно представить следующий ряд основных элементов-индикаторов вертикальной зональности: Hg-Ba-Sr-Sb-Ag-V-Pb-Zn-Cu-Na-W-B-Ni-Co.

данные хорошо согласуются с единым рядом зональности и ротермальных месторождений (Овчинников, Григорян, 1970).

4. Особенности вертикальной зональности элементов объясняются нами с точки зрения теории кристаллического поля. Установлено, что ионы переходных элементов в породах стремятся занимать энергетически выгодные положения, распределяясь по кристаллическим фазам в последовательно тесно связанной с энергией стабилизации кристаллического поля (ЭСКП). Зависимость IgK (содержание элементов в нижних и верхних зонах) и ЭСКП для Ni, Co, Cr, V, Ti, Sc, имеет прямую связь. В октаэдрическом поле значения энергии стабилизации кристаллического поля максимальны у ионов с электронными конфигурациями $3d^3$, $3d^8$. Для ионов с электронными конфигурациями $3d^0$, $3d^5$ и $3d^{10}$ энергия стабилизации кристаллического поля равна нулю.

В минералах, образующихся из гидротермальных растворов, ионы обычно располагаются в октаэдрической и тетраэдрических положениях. Численная величина дополнительного выигрыша энергии при вхождении в октаэдрическое

положение определяет относительный порядок, при котором ионы переходных металлов концентрируются в минералах. Порядок величины дополнительного выигрыша энергии при вхождении в октаэдрическое положение, можно представить в виде следующего неравенства: $Ni > Cr > Cu > Co > Fe > Mn > Zn$ (для двухвалентных ионов) и $Cr > Co > V > Ti > Sc$ (для трехвалентных ионов). Этот порядок в целом совпадает с единым рядом зональности гидротермальных месторождений. Кроме того, в хрусталеносных зонах наблюдается соответствие между рядом зональности для Zn, Pb, Ag, Hg и устойчивостью в растворе их распространенных комплексов (Хельгесон, 1964). Высокая миграционная способность сурьмы в растворах различного состава, в том числе близких к природным гидротермам, обуславливает накопление ее вместе с ртутью в более низкотемпературных верхних зонах.

5. Установление вертикальной зональности ореолов на объектах горного хрусталя, обуславливает их применение для поисков скрытой, не выходящей на поверхность минерализации и оценки их перспектив на глубину.

И Ф. ЧЕЛИЩЕВ

О РОЛИ ИОННОГО ОБМЕНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ

Наличие ионообменных свойств у большого числа породобразующих и рудных минералов, а также особенности кинетики ионного обмена позволяют отводить ионообменным реакциям весьма важное значение в гидротермальных процессах. Особое внимание ионообменным реакциям необходимо уделять при анализе факторов, определяющих характер пространственного разделения металлов в процессах рудообразования, в том числе при формировании околорудных изменений и первичных эндогенных ореолов. Это, прежде всего, относится к таким типичным ионообменным элементам, как щелочные, щелочноземельные и редкоземельные элементы, а также к достаточно крупным катионам тяжелых металлов, вступающим в ионообменное взаимодействие с породобразующими алюмосиликатами и некоторыми рудными минералами.

Характер пространственного разделения металлов при фильтрации рудообразующих растворов через толщи пород, будет определяться в значительной степени ионообменным хроматографическим эффектом, обусловленным различием в сродстве катионов к минералам твердых пород. В этом отношении типичным является разделение щелочных металлов при фильтрации минералообразующих растворов через полевошпатовые породы. Когда движущийся раствор содержит несколько конкурирующих ионов, во фронтальной зоне происходит их пространственное разделение, за счет различных скоростей перемещения, обусловленное различной степенью сродства. При этом очевидно, что скорость перемещения будет больше для ионов с меньшим сродством к кристаллической фазе. Сродство щелочных металлов к калиевому полевошпату возрастает от лития к цезию с увеличением радиуса соответствующих катионов. С этих позиций характер распределения щелочных металлов в эндогенных ореолах, связанных с редкометальными пегматитами, грейзенами и гидротермальными жильными образованиями, может интерпретироваться на основе ионообменного хроматографического эффекта.

На характер пространственного разделения металлов, образующих в растворах устойчивые комплексные ионы, наряду с различиями в ионообменном сродстве, значительное влияние будут оказывать различия в устойчивости комплексных ионов. Как показывают экспериментальные исследования, влияние комплексообразования на характер пространственного разделения металлов в количественном отношении, может быть весьма значительным.

Ионообменные реакции тесно связаны с реакциями обменного разложения, которые имеют важное значение для поддержания на постоянном уровне состава и pH минералообразующих растворов за счет буферного эффекта. При этом ионнообменная хроматографическая зональность, соответствующая изоморфному вхождению обменивающихся ионов в минералы, сменяется осадочно-хроматографической зональностью, для которой характерно постоянство состава минералов в пределах каждой зоны. При этом относительные размеры зон как для ионообменного, так и для осадочно-хроматографического разделения будут определяться значением констант обмена и внешними условиями, а фронт обмена будет сложно эволюционировать во времени.

При анализе пространственного распределения металлов

в эндогенных ореолах необходимо учитывать кинетические факторы, которые могут вносить значительные коррективы в выводы, вытекающие из равновесной термодинамики. В этом отношении весьма перспективными представляются методы термодинамики необратимых процессов применительно к интерпретации морфологии первичных ореолов.

II. РАЗДЕЛ

ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ГАЗОВЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

М. А. КАРАСИК, С. И. КИРИКИЛИЦА, А. М. ЭДЕЛЬМАН

ОБ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ И МЕТОДИКЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГАЗОРТУТНЫХ АНОМАЛИЙ

1. В практике поисков скрытых рудных месторождений и геологического картирования с применением газортутного метода первостепенное значение для надежной интерпретации аномалий имеют эндогенные газовые ореолы рассеяния ртути, поскольку ими могут характеризоваться скрытые рудные залежи или рудоконтролирующие структуры, в том числе на значительных глубинах, не сопровождающиеся выходами на поверхность литогеохимических или иных ореолов.

2. Из результатов термодинамических расчетов и экспериментальных исследований следует, что определяющим фактором эффективного применения газортутного метода может являться постоянно действующий над рудной залежью эндогенный источник ртутных паров, обусловленный испарением ртути из киновари и других ртуть-содержащих минералов, а также их руд под воздействием различных физико-химических процессов. Весьма медленное в геологическом времени протекание процессов, даже при нормальной температуре и давлении, оказывается достаточным для постоянной миграции образующихся над ней газовых ореолов к земной поверхности. В благоприятных геолого-структурных условиях это относится и к продуктивным на ртуть толщам пород с рассеянной ртутной минерализацией.

3. В отличие от одновременно образующихся с рудной залежью литохимического и первичного же газового ореола,

формирующийся после образования залежи новый ореол с продуктами его сорбции, и, возможно, иными образованиями характеризуется гораздо более подвижными формами нахождения ртути. Этот своеобразный по своему геологическому положению в пространстве и времени ореол может с известной степенью достоверности распознаваться простыми методами фазового анализа, что и позволяет его использовать при интерпретации аномалий.

4. Поскольку основными путями миграции паров ртути являются зоны разрывных нарушений и повышенной трещиноватости горных пород, размеры и интенсивность проявления ее газовых ореолов как над рудными залежами, так и над другими геологическими объектами определяются прежде всего тектоническими факторами, в частности положением прилегающих к эрозионному срезу плоскостей разрывов по отношению к источнику ртутных паров на различных горизонтах исследуемых участков земной коры. Неоднородностью газопроницаемости зон тектонических нарушений обусловлены нередко наблюдаемые прерывистость газовых ореолов ртути на местности и установленные случаи отрицательных аномалий над отдельными разломами.

5. Возможность выявления современными аналитическими методами весьма низких концентраций ртутных паров при полигенности их региональных и локальных источников в природе приводит к настоятельной необходимости разработки надежной методики выделения аномалий, присущих различным геологическим объектам. При этом целесообразно использование других газовых компонентов-индикаторов оруденения, особенно для определения восстановительно-окислительных условий среды. Особое значение имеет достоверное определение геохимического и местного фона ртути в почвенном и атмосферном воздухе, сильная изменчивость которого, как и аномальных концентраций этого элемента, бывает обусловлена не только локальными или региональными, но и некоторыми глобальными метеорологическими и современными геологическими факторами.

6. Целесообразно применение газортутного метода при крупномасштабной специализированной съемке, а также при мелко- и крупномасштабном структурно-геохимическом профилировании в комплексе с геофизическими и другими геохимическими методами и картировочным бурением, особенно по опорным профилям на мало изученных потенциально рудоносных площадях. Системой продольных и поперечных про-

филей возможно выявление и уточнение положения известных разрывных нарушений различных порядков и их оценка как вероятных рудоподводящих и рудолокализирующих структур в прогнозируемых рудных зонах и полях.

7. Наиболее эффективными являются проверка и интерпретация газортутных аномалий с помощью колонкового бурения с изучением первичных литохимических ореолов по комплексу элементов-индикаторов. Это подтверждено опытом изучения газовых ореолов ртути по поисково-разведочным профилям в Донбассе на участках глубокозалегающего ртутного оруденения (500—1000 м). Газовые ореолы позволяют корректировать расположение запроектированных на профиле колонковых скважин. Свойственная газортутному методу быстрота получения результатов дополняется при этом оперативным геохимическим обслуживанием бурения, включающим определение основных параметров литохимических ореолов до его окончания на изучаемом профиле. Для выявления скрытого оруденения в нижних горизонтах разведываемых и разрабатываемых месторождений представляется перспективным способ изучения газовых ореолов ртути в глубоких скважинах, разведочных и эксплуатационных горных выработках.

8. Для газортутного метода необходимо учитывать и контролировать техногенные факторы загрязнения ртутью окружающей среды. В отдельных индустриальных районах целесообразно выделение площадей с повышенными техногенными концентрациями ртути, на которых этот метод может применяться в ограниченных условиях или совершенно исключаться. Особенно это относится к работам в жаркие летние дни, когда интенсивность выделения газовых ореолов ртути из различных образований, и в первую очередь техногенных, резко возрастает.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ОРЕОЛОВ В РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГАЗОВОЙ СЪЕМКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГО-СЪЕМОЧНЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ В ЗАКРЫТЫХ РАЙОНАХ

1. Газы различного состава и генезиса сопровождают рудные месторождения в течение всего времени их существования и эволюции. В общем случае выделяются две группы газов, генетически связанных с рудными телами: газовые компоненты, образующиеся в зоне окисления сульфидных руд (CO_2 , H_2S , SO_2) и газовые компоненты, локализующиеся вместе с рудным веществом в зонах разрывных нарушений—основных путях миграции рудоносных флюидов и газов (CO_2 , H_2 , реже — CH_4). Образование отдельных газовых компонентов обусловлено распадом радиоактивных элементов (Rn, He, Ar, а также T. У.).

2. По форме нахождения и миграционной способности природные газы могут находиться в газовых и газовой-жидких микровключениях и микротрещинках, образуя вокруг рудных тел эндогенные газовые ореолы, или они мигрируют по системам разломов и образуют в приповерхностных отложениях экзогенные ореолы. Довольно значительные экзогенные ореолы образуются и при окислении сульфидных руд. С экзогенными газовыми ореолами связано появление в подпочвенном воздухе четких и устойчивых во времени аномальных концентраций газовых компонентов-индикаторов. Это позволило применить метод газовой съемки при поисках рудных месторождений и геологическом картировании.

3. Форма и контрастность газовых аномалий обусловлена глубиной и характером залегания рудных тел, типом разрывных нарушений, степенью раскрытости трещин и их заполнением минеральными образованиями, мощностью и литологическим составом наносов, геоморфологическими и ландшафтными условиями, а также геологическим положением исследуемых районов.

4. Интенсивность миграции газов и, следовательно, величина их аномальных концентраций в подпочвенном воздухе для молодых складчатых областей выше, чем для платформенных. Установлена четкая зависимость между концентра-

циями отдельных газовых компонентов и сейсмической активностью отдельных областей.

5. В приповерхностных условиях происходит активный газообмен с атмосферой. В нем участвуют как газы, образовавшиеся в зоне гипергенеза, так и мигрирующие из глубоких горизонтов земной коры. Преобладающие количества легких газов (H_2 , He, CH_4) быстро улетучиваются из покровных отложений в атмосферу, а более тяжелые компоненты, в частности, углекислый газ — гораздо медленнее. Вследствие этого, он накапливается в подпочвенном воздухе и образует четко выраженные и устойчивые во времени аномалии, которые легко фиксируются обычными шахтными интерферометрами.

6. Наиболее универсальным газовым индикатором является углекислый газ, который тесно связан с процессами рудообразования и является одним из основных компонентов газов, мигрирующих по флюидопроводящим системам разрывных нарушений. Наиболее полная информация может быть получена при проведении газовой съемки как по углекислому газу, так и по газам, специфичным для конкретных геолого-геохимических условий (сернистые газы, водород и, в ряде случаев, гелий). Это позволяет более однозначно решать вопрос о природе тех или иных аномалий.

7. Газовая съемка является частью общего комплекса геохимических методов, применяемых при геологоразведочных работах. Ее основной задачей на стадии геологической съемки и поисковых работ является картирование разрывных нарушений под толщей наносов и прогноз наиболее перспективных для поисков руд участков.

Г. А. ДОЛГИХ, А. Е. ЕРМЕКБАЕВ

К ВОПРОСУ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОБЪЯСНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТВЕРДЫХ ФОРМ РТУТИ И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В РУДНОЙ ЗОНЕ

Сведения теоретического характера об особенностях образования, распространения и поведения форм нахождения малых концентраций ртути в различных геологических процессах в литературе крайне ограничены. Освещение этих вопросов, практически до самого последнего времени, сдерживалось

отсутствием широко доступных методов анализа и, как следствие из этого, отсутствием необходимого фактического материала для теоретических построений.

На протяжении ряда лет в Центральной геохимической экспедиции КазИМСа на базе созданного атомно-абсорбционного фотометра (Фурсов, Степанов, 1967) КазРАФ проводились исследования ртути и форм ее нахождения в зонах размещения полиметаллического, ртутного и медноколчеданного оруденения Рудного Алтая и Мугуджар.

В геохимических ореолах полиметаллического и медноколчеданного месторождений максимальные содержания ртути не превышают тысячных долей процента, но в пределах ртутного объекта они весьма высоки.

Внутреннее строение ореолов ртути не однородное по формам ее нахождения, времени образования, особенностям распространения форм в пространстве и их поисковой значимости.

Установлено, что рудные тела месторождений, независимо от типа эндогенной минерализации, контролируются ореолами распространения высокотемпературных изоморфных форм ртути, возгоняющихся из проб при температурах более 400° и среднетемпературной формой — киновари (300—360°). Во вмещающих слабо метаморфизованных вулканогенно-осадочных образованиях фоновые концентрации ртути представлены сингенетичными галоидными соединениями (каломелью) и химически прочно адсорбированной металлической ртутью (100—225°), реже — метаморфогенной киноварью. В породах, испытавших интенсивный метаморфизм при высоких давлениях фоновые содержания ртути обусловлены, главным образом, рассеянной метаморфогенной киноварью (явление сульфидизации) и элементарной свободной металлической ртутью.

В зонах гипергенеза полиметаллического и медноколчеданного месторождений формируются вторичные газовые ореолы ртути и галоидные, низкотемпературные ее формы. На ртутном объекте — окисное соединение ртути (монтроидит), вторичная киноварь и ореолы паров ртути в почвенном воздухе и атмосфере.

Из приведенной зональности следует, что только высокотемпературные изоморфные формы ртути, контролирующие рудовмещающие зоны, являются не конвергентными образованиями. Все другие средне- и низкотемпературные составляющие ртути необходимо относить к полигенным, широко рас-

пространенным формам, которые могут встречаться в различных геологических условиях, в том числе и не связанных с рудным процессом.

Факт приуроченности эндогенного оруденения к зонам распространения высокотемпературных форм ртути согласуется также с выводами зарубежных исследований — Хаукса и Уэбба (Hawkes, Webb, 1962), которые на основании изучения термодинамики, процессов рудообразования пришли к заключению, что рудные тела гидротермальных месторождений обычно локализуются в области высоких температур, в связи с чем в системах FeS—ZnS и FeS—FeS_2 концентрация высокотемпературного FeS , как правило, возрастает по мере приближения к рудным телам.

Установленная зональность в распределении первичных форм ртути свидетельствует о том, что в основе формирования эндогенного оруденения лежат, прежде всего, энергетические факторы. Возникновение очагов с той или иной концентрацией энергии — это первопричина зарождения рудогенерирующих систем, причина, вызывающая перемещение вещества, его перераспределение, сепарацию отдельных компонентов и их отложение в тех или иных минеральных скоплениях. Все рудогенерирующие системы, сформировавшие месторождения, неизбежно проходят полный цикл своего развития от высоких уровней энергетического состояния до обычных низких.

В пределах изученных объектов на начальных стадиях эндогенного процесса, который протекал при высоком уровне энергетического состояния рудогенерирующих систем, сформировались широкие рудовмещающие зоны с предрудными минеральными новообразованиями (кварц, пирит) и изоморфной ртутью в них. В среднюю стадию рудогенеза, который проходил уже при более низких термодинамических параметрах состояния систем, на образования начальной стадии накладывалась основная масса полиметаллической и медноколчеданной минерализации с тонкорассеянной механической примесью киновари в пороодообразующих и рудных минералах. В пределах ртутного объекта средняя стадия гидротермального процесса носила медно-колчеданную направленность и проявилась весьма слабо. И лишь в значительно более поздний период при активизации тектонических процессов и оживления долгоживущих зон разломов в пределах сформированной ранее высокотемпературной зоны была отложена собственно киноварная минерализация.

В практических целях наиболее надежным индикаторным

признаком для выделения рудо локализирующих зон, оценки геохимических ореолов и поисков скрытого эндогенного оруденения, является высокотемпературная ртуть, экстрагируемая из проб при температурах более 400°.

При поисках погребенных гидротермальных месторождений целесообразно использовать ореолы свободных паров ртути в почвенном воздухе и аномальные концентрации низкотемпературных галоидных форм.

В. З. ФУРСОВ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ В НЕКОТОРЫХ ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ

На основании анализа большого фактического материала, полученного с помощью атомно-абсорбционных фотометров КазРАФ-4,5 и 6 и ИМГРЭ-4, ниже приводятся данные о распределении содержания ртуты в горных породах, месторождениях, почве и атмосфере.

Средние содержания ртуты в кислых (граниты, гранодиориты, риолиты), средних (диориты, андезиты), основных (габбро, базальты), ультраосновных (перидотиты), глинистых породах, сланцах, песчаниках и известняках изменяются в незначительном интервале концентраций от $5,2 \cdot 10^{-6}$ до $9,7 \cdot 10^{-6}$ %, что свидетельствует о крайней однородности распределения ртуты в горных породах, несмотря на различные физико-химические условия их образования.

Используя данные А. П. Виноградова (1962), Н. И. Сафронова (1962), Г. В. Войткевича (1970) и др. нами был выполнен анализ отношений между наибольшими и наименьшими содержаниями 68 элементов в вышеперечисленных типах горных пород.

В ранжированном ряду отношений содержаний элементов ртуть занимает второе место после кислорода.

Результаты разделения валовых концентраций ртути на отдельные составляющие, соответствующие определенным формам ее нахождения, показали, что в различных типах горных пород фиксируется преимущественно, только одна составляющая ртуть.

Максимальная скорость возгонки составляющих ртути, в основном, соответствует узкому температурному интервалу 280—320°. Этот факт позволяет утверждать, что ртуть в горных породах, главным образом, находится в одной форме, не входя в кристаллические решетки порообразующих минералов, температурные разрушения которых намного выше 320°.

Крайняя однородность распределения содержаний ртути и наличие одной составляющей позволяют полагать, что ртуть в горных породах, преимущественно, находится в одной из легкоподвижных форм.

Ртуть концентрируется в рудах всех генетических типов нертутных эндогенных месторождений. Первичные ореолы ртути формируются вокруг рудных залежей свинцово-цинковых, полиметаллических, медных, молибденовых, вольфрамовых, оловянных, золоторудных и других эндогенных месторождений. При этом, первичные ореолы ртути наиболее интенсивно развиваются в надрудных блоках месторождений.

В отличие от горных пород, в рудах и ореолах эндогенных месторождений фиксируется 2—5 составляющих ртути с более широким термическим спектром; чем в горных породах. Наибольшее количество форм нахождения (составляющих) ртути зафиксировано в рудных телах, наименьшее — в ореолах. Число форм нахождения ртути в надрудных ореолах больше, чем в подрудных. При этом легковозгоняемые формы нахождения ртути, преимущественно, развиты в надрудной части ореолов.

Над рудными телами эндогенных месторождений за счет возгонки ртути, происходящей при любых температурах земной поверхности, образуются газовые ореолы рассеяния ртути.

Гипергенные процессы активизируют переход ртути из твердого состояния в парообразное. Источником паров ртути в нертутных эндогенных месторождениях являются руды, первичные и вторичные ореолы рассеяния, в которых содержания ртути в 5—1000 раз больше, чем во вмещающих породах.

При диффузии и фильтрации от рудных зон и залежей газообразная ртуть сорбируется перекрывающими отложениями, а частично в форме свободных и окклюдированных паров накапливается в почве, благодаря действию ртутного источника в течение длительного геологического времени. Почва является преддлительным горизонтом при изучении свободных паров ртути, образованных глубинными источниками, в силу высокой пористости и более легкой доступности для измерений концентрации парообразной ртути.

Прямые измерения показали, что над погребенными рудными залежами месторождений (ртутные, золотые, полиметаллические) при мощности аллохтонных отложений 10—100 м фиксируются четкие аномалии паров ртути в почвенном воздухе интенсивности $7—25 \cdot 10^{-8}$ мг/л при фоне $1—3 \cdot 10^{-8}$ мг/л.

Над скрыто-погребенными рудными телами (ртутные, медномолибденовые, медноколчеданные, вольфрамовые и др. месторождения), находящимися на глубинах 20—200 м, фиксируются газовые ореолы рассеяния ртути интенсивностью $8—100 \cdot 10^{-8}$ мг/л, при фоне $1—3 \cdot 10^{-8}$ мг/л.

Наиболее благоприятны для газортутной съемки — аридные районы. В гумидных районах после сильных дождей интенсивность газовых ореолов может уменьшаться за счет перехода части свободных паров ртути в поровые воды и уменьшения эффективной пористости почвы.

Над погребенными и скрыто-погребенными месторождениями (ртутные, полиметаллические) с поверхности фиксируются наложенные ореолы рассеяния ртути, которые имеют меньшую контрастность и малые размеры по сравнению с газозыми ореолами рассеяния.

Для увеличения контрастности и размеров наложенных ореолов рассеяния ртути, необходимо применять такую методику измерений, которая позволила бы отделять сингенетичную ртуть от эпигенетичной (наложенной), источником которой являются рудные зоны и тела. Для этого необходимо разделять валовые концентрации ртути на отдельные составляющие, с помощью принципа дифференциальной возгонки. Содержание ртути в почвенном воздухе вне пределов рудных месторождений, зон глубинных разломов и участков загрязнения, изменяются в узких пределах, что обусловлено значительными вариациями средних содержаний ртути в горных породах.

Концентрации паров ртути в нефтяных и газовых месторождениях в 30—400 раз больше, чем фоновые концентрации свободных паров ртути в почвенном воздухе, что обуславливает необходимость исследований наложенных и газовых ореолов рассеяния ртути над нефтяными и газовыми месторождениями, с целью последующего их использования при геохимических поисках.

Фоновые концентрации изменяются от 1 до $3 \cdot 10^{-8}$ мг/л.

Среднее содержание ртути в атмосфере в районах, где нет загрязнения, изменяется в пределах $7,1—11—14,9 \cdot 10^{-10}$ мг/л (надежность 0,68). Измерения проводились на высоте 1,5—

2,5 м от поверхности Земли в европейской и среднеазиатской части СССР.

В настоящее время газортутные исследования проводятся в Таджикистане и Киргизии газоанализаторами ИМГРЭ-4, которые созданы нами совместно с сотрудниками Бронницкой геолого-геохимической экспедиции ИМГРЭ В. А. Бабкиным и В. К. Резцовым. Электронная схема прибора, выполнена на транзисторах, потребляемая мощность 2 ватта. Вес прибора без источников питания 6 кг. Измерения паров ртути в почвенном воздухе и атмосфере производятся с использованием золотого сорбента, играющего роль накопителя ртути и фильтрующего устройства, с помощью которого ртуть отделяется в исследуемом объеме от различных примесей, являющихся существенными помехами при прямых измерениях. Большой объем измерений паров ртути в атмосфере в самолетном варианте (30 тыс. пог. км в европейской части СССР), который выполнен Институтом прикладной геофизики и Гидрометслужбы СССР и ИМГРЭ, показал, что газоанализатор ИМГРЭ-4 работает надежно и его можно использовать в качестве прототипа при создании автоматической системы измерений паров ртути в движении (самолет, вертолет) в атмосфере.

Л. И. ФЕРДМАН

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ И НЕОТЕКТОНИКА

1. При анализе пространственного распределения геохимических аномалий, обращает на себя внимание факт приуроченности их к участкам земной коры, активизированным в новейший этап тектонического развития. В связи с этим, рассматриваются геохимические аномалии, связанные с новейшими тектоническими дислокациями и новейшими (неоген-антропогеновыми) осадочными формациями. Предпринята также попытка анализа пространственной связи геохимических аномалий с определенными формами современного рельефа.

2. Среди новейших тектонических дислокаций особое место занимают дизъюнктивные нарушения, пользующиеся

повсеместным развитием. С различными типами последних пространственно и генетически связаны геохимические аномалии. Характер связи геохимических аномалий с новейшими дизъюнктивными дислокациями прослежен автором в пределах отдельных регионов территории СССР.

3. Установлено, что на участках активного развития неотектонической трещиноватости возникают геохимические аномалии. В большой степени это касается ореолов вторичного рассеяния компонентов нефтяных и газовых залежей.

4. Первостепенное значение в пространственном распределении геохимических аномалий играют новейшие разломы, контролирующие их в платформенных и геосинклинальных областях. Таковы участки новейшей активизации Тихоокеанского рудного пояса, периферические зоны Сибирской платформы, периферические зоны отдельных массивов и блоков.

5. Большое число геохимических аномалий связано с новейшими пликтивными дислокациями (поднятиями, прогибами, переходными зонами, локальными структурами). Анализ показывает определенную регионально-геохимическую специализацию, которая во многих случаях контролируется очертаниями новейших поднятий и опусканий. Так, к сводовым частям новейших поднятий часто приурочены повышенные и высокие содержания Pb, W, Be, Li; в то же время аномально высокие содержания Ba, Bi, Hg, Au, Cu, Ni устанавливаются в пределах новейших опусканий. Новейшими пликтивными структурами контролируются и геохимические аномалии, связанные с нефтяными и газовыми месторождениями.

6. Специфические геохимические аномалии приурочены к областям развития новейших «инъективных» дислокаций (диопириновые купола, соляные купола и актиклиналы, грязевые вулканы и т. п.).

7. Причинность связи определенных геохимических аномалий с новейшей тектонической автор рассматривает с позиции анализа глубинного строения.

8. Самостоятельное значение имеет проблема изучения новейших осадочных формаций. Среди последних рассматриваются континентальные (ледниковые, перигляциальные, гумидные, субнивальные, аридные, полупустынные) и морские (предгорные, межгорные, геосинклинальные). Миграция химических элементов, осуществляющаяся в различных климатических условиях внутри формаций определяет характер и тип геохимического ландшафта.

9. Различия геохимических спецификаций связаны и с

различиями в типах морфоструктур (приуроченность аномалий Be, Li к положительным прямым морфоструктурам; Mo, Cu, Ni CO к положительным обращенным и т. д.).

10. Выяснение роли и значения неотектонического и морфоструктурного факторов в распределении геохимических аномалий позволяет по-новому оценить перспективы металлоносности и нефтегазоносности различных регионов СССР.

А. В. НЕТРЕБА, А. И. ФРИДМАН, М. Л. ХУРИН, И. А. ПЛОТНИКОВ

ЗНАЧЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ГАЗОВОЙ СЪЕМКИ ПО ПОДПОЧВЕННОМУ ВОЗДУХУ ПРИ ОЦЕНКЕ ПЕРСПЕКТИВ РУДНЫХ ПОЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КAVКАЗА))

1. Ртутное оруденение Северо-Западного Кавказа локализуется преимущественно в неоднородных существенно терригенных мощных толщах мезозоя. Основное значение в размещении ртутного оруденения, при определенной роли литологического контроля, принадлежит разрывным структурам. Рудные поля контролируются региональными продольными и поперечными к складчатым структурам разломами. Месторождения и рудопроявления локализуются преимущественно на участках сочленения продольных и поперечных разрывов высокого порядка, образующих узлы наибольшего давления пород.

2. Тектонические зоны разрывов всех направлений в терригенных толщах, обычно выражены неотчетливо и перекрыты современными рыхлыми отложениями. Поэтому выявление разрывов в условиях очень плохой обнаженности Северо-Западного Кавказа обычными методами, включая и дешифрирование аэрофотоснимков, приводит часто к негативным результатам.

Исследования авторов и 3-х летняя производственная проверка показали, что газовая съемка оказывается оперативным и эффективным методом выявления и картирования разрывных нарушений, к которым нередко приурочено ртутное оруденение.

Сводовые части антиклиналей, являющиеся также важным элементом структурного контроля оруденения, фиксируются газовой съемкой как участок повышенной трещиноватости и проницаемости для газов.

3. Большой опыт производственного применения газовой съемки при оценке перспектив рудных полей путем поисково-съемочных крупномасштабных и поисково-разведочных работ накоплен авторами на двух ртутоносных площадях Северо-Западного Кавказа: западной части Пшадского рудного поля и западной части Дербиевского рудного поля. Они территориально разобщены и отличаются как геологическим строением, так и геоморфологически, что предопределило методические особенности газосъемочных работ.

4. Преобладающее количество углекислого газа в подпочвенном воздухе, фиксирующееся газовой съемкой в зонах разломов, связано с гидротермальной деятельностью, а также обусловлено миграцией из более глубоких горизонтов земной коры. Содержание углекислого газа в подпочвенном воздухе достигало 5,0—5,5%; минимальные концентрации составляли 0,05—0,1%. При фоновом содержании 0,5% контрастность по углекислому газу достигала II-кратной и большей величины. Это позволяло оперативно, непосредственно в полевой обстановке, устанавливать и трассировать зоны тектонических разрывов.

На составленных картах изоконцентраций углекислого газа аномальные участки вытягиваются полосами преимущественно двух направлений: субширотного и субмеридионального, что отражает основные системы рудоконтролирующих и рудоносных разломов.

5. Эффективность выявления разломов, с помощью газовой съемки, доказана на многих рудоносных площадях, в том числе на Шапсугском и Дербиевском рудных полях. Предшествовавшая газо-съемочным работам геологическая съемка масштабов 1:25000 и 1:10000 в условиях почти 90% закрытости площадей не выявила значительной части субширотных и субмеридиональных разрывов. На Шапсугской площади газовой съемкой, как составной частью геологического картирования масштаба 1:10000, уверенно выявлена зона Центрального надвига под наносами значительной мощности, а также впервые установлены субмеридиональные разломы. Оперативное определение разноориентированных разломов, узлы сочленения которых являются фактором структурного контроля оруденения, позволило целенаправленно провести дальнейшие

поиски, выявить новое рудопроявление Восточное и повысить эффективность работ.

6. Установлена большая достоверность и сходимость результатов газовой съемки, по сравнению с другими косвенными методами выявления трещинных структур: дешифрированием аэроснимков, наземной геофизикой, морфометрией. При этом, по форме и ширине зон газовых аномалий, как показала проверка горными и буровыми выработками, можно делать предварительные выводы о морфологии и элементах залегания разрывов, в том числе и рудоносных.

7. Целесообразно, как показал опыт, комплексирование площадной газовой съемки с литогеохимической съемкой для одновременного установления металлогенической специализации разломов в выявлении участков, перспективных для поисков скрытого оруденения.

8. Результаты проведенных работ позволяют рекомендовать широкое использование газовой съемки не только на площадях развития рудных полезных ископаемых, контролируемых трещинными структурами, но и при поисках трещинных, в особенности, минеральных вод.

9. На закрытых рудоносных площадях Северо-Западного Кавказа методически наиболее рационально поэтапное проведение работ с применением газовой съемки масштаба 1:10000—1:5000. На первом этапе — в комплексе с литогеохимической съемкой, на втором этапе — с выборочной проверкой аномалий газовой съемки горными выработками и проведением широкого комплекса опробовательских, литолого-структурных и поисково-оценочных работ на выявленных перспективных участках.

**И. Н. ЯНИЦКИЙ, В. М. КОРОБЕЙНИК, В. Н. СТАДНИК,
В. В. ПИМЕНОВ**

СТРУКТУРА АТМОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ИНДИКАТОРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Накопленный фактический материал по газовой съемке (гелиевой, углеводородной, парортутной и др.) позволяет сделать обобщение теоретических основ этого метода и уточнить

рекомендации по его практическому использованию. Во-первых, следует четко разграничить информативность и условия применения подвижных и неподвижных газовых компонентов: первые находятся в сообщающихся порах и раскрытых трещинах, мигрируют по законам конвективной фильтрации и, по существу, являются индикаторами потока, неподвижные — это компоненты газовой-жидких микровключений и внутренних систем кристаллических решеток, мигрирующие диффузно. Поскольку рассматриваемые в докладе способами газовой съемки неподвижные формы не фиксируются, то они из рассмотрения исключаются; анализ материала дается только по свободным подвижным газовым компонентам.

Известно, что прогнозно-поисковые работы на руду ведутся на глубине первых 100—300 м, реже более 300 м. Господствующий здесь активный газо-водообмен определяет сравнительно малые сроки контакта подвижной фазы с породой и рудами. В таких условиях при выборе того или иного газового индикатора важно определить характер его связи с рудой, продуктивность, контрастность аномалии и ее устойчивость во времени. Анализ суммы факторов позволяет уточнить природу ряда геохимических индикаторов. Только для единичных из них можно установить прямую связь со скоплениями рудных компонентов, залегающих на доступной для опосредования глубине (SO_2 , H_2S , CO_2 , Hg , Rn). Однако и в этом случае параметры геохимических аномалий плохо коррелируются с масштабами оруденения, а определяются более условиями залегания руд: климатическими, морфологическими, гидрогеологическими, вещественным составом и др. Только в редких случаях благоприятного стечения обстоятельств появляются условия прямой индикации руд по CO_2 , H_2 , H (М. М. Элинсон, И. А. Хайретдинов). Обычно газовые компоненты разгружаются в форме восходящего потока по зонам повышенной проницаемости и имеют относительно руды транзитный характер. Нередки случаи проявления двойственной природы геохимических аномалий, когда ореолы рассеяния, прямо связанные с рудными компонентами, сочетаются с более интенсивными и устойчивыми во времени наложенными аномалиями эндогенной природы.

Отмеченные особенности строения геохимических ореолов хорошо расшифровываются в поле свободного подвижного гелия, имеющего для интервала верхних 100—300 м исключительно глубинную природу. В условиях интенсивного водогазообмена гелий не может концентрироваться приповерхностно-

ми альфа-излучающими источниками любой мощности (фактические данные показывают отсутствие концентраций его даже в рудных телах). Известно также, что гелий химически инертен. С учетом вышесказанного, гелий является идеальным индикатором потока: вертикальные концентрационные профили гелия показывают квазистационарный характер потока в зоне затрудненного водообмена и функциональную форму рассеяния потока в приповерхностной зоне активного водообмена.

Делается вывод о большой эффективности изучения газовых ореолов рассеяния потоков эндогенной природы, как прямых индикаторов глубинных проницаемых разломов и как косвенных критериев прогноза эндогенного оруденения.

В. Н. БАШОРИН

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕЛИЕВОЙ СЪЕМКИ ПРИ ПРОГНОЗЕ И ПОИСКАХ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Исследованы закономерности распределения гелия в подземных водах и газах рудных месторождений Урала и Тургайского прогиба (более 100 объектов). На экзогенных месторождениях, не связанных с проницаемыми разломами, повышенных концентраций гелия не установлено. Среди генетических типов эндогенного оруденения аномальные концентрации гелия оказались не характерны только собственноматматическому типу. Наблюдается четкая приуроченность гелиевых аномалий к разрывным тектоническим нарушениям. Распределение аномальных концентраций гелия в подземных водах и газах рудных месторождений, отражает общую схему развития проницаемой трещиноватости в породах.

По результатам площадной гелиевой съемки построена схема проницаемых разрывных нарушений земной коры Урала и прилегающих территорий Русской платформы и Зауралья. Гелиевая съемка позволила выделить зоны дизъюнктивных дислокаций и дифференцировать тектонические структуры по степени их проницаемости,

На основании анализа полученных материалов показана общая приуроченность и гелиевых аномалий и эндогенных месторождений к узлам пересечения долгоживущих глубинных разломов. Аномальные концентрации гелия в подземных водах и газах являются признаком прошедшей тектонической деятельности, а следовательно, важным дополнительным признаком эндогенного оруденения.

На стадии прогнозных мелкомасштабных исследований практическое значение гелиевой съемки заключается в картировании скрытых, не проявляющихся на поверхность погребенных долгоживущих глубинных разломов и выделении в пределах их наиболее проницаемых участков земной коры. Комплексное использование гелиевой съемки с другими методами повысит достоверность прогноза новых зон и поясов рудных месторождений.

На стадии поисковых работ применение гелиевой съемки целесообразно для изучения тектонического строения рудных полей, выявления структурных рудоконтролирующих факторов, локализации поисковых работ на перспективных площадях. Это особенно важно при поисках глубокозалегающих скрыто-перекрытых месторождений.

В. И. ФЛЕШЛЕР

ВОЗМОЖНОСТИ ГЕЛИЕВОЙ СЪЕМКИ КАК КАРТИРОВОЧНОГО И ПОИСКОВОГО МЕТОДА (на примере изучения гелиеносности Забайкалья)

Большинством исследователей признается факт наличия пространственной и генетической связи гидротермального оруденения с широко развитыми в пределах Забайкалья глубинными структурными разломами и швами, имеющими большую глубину заложения и длительное время существования. Эти структуры должны являться зонами предпочтительной миграции легколетучих компонентов, к которым, в первую очередь, относится гелий.

Таким образом, гелиевая съемка в пределах активизированной каледонской складчатой зоны может быть применена

в качестве метода дополнительного картирования разрывных рудокорреспондирующих структур.

К настоящему времени автором исследовано содержание гелия в растворенных и смонтанных газах более двух тысяч водопунктов. Точки опробования располагаются на значительной территории, в пределах развития осадочно-вулканогенных образований мезозойских депрессий и гранитоидов Западного и Центрального Забайкалья, и, отчасти, в пределах Байкальской рифтовой зоны.

Распределение содержания гелия в водах региона, достаточно хорошо аппроксимируется логнормальной кривой с четкой асимметрией правой части. Указанная стохастическая однородность выборки является, на наш взгляд, следствием реальной генетической однородности поля концентрации гелия, формирующегося в результате локального наложения восходящих газовых эксгаляций на среду преимущественно атмосферного состава.

На корреляционной схеме гелиеносности региона (масштаб 1:1000000) точки с аномально высокими концентрациями гелия группируются, как правило, в аномальные участки, приуроченные к межгорным впадинам, тектоническими аналогами которых в большинстве случаев являются депрессии, выполненные верхнемезозойскими эффузивами и эффузивно-осадочными образованиями различного состава. Полученная информация позволяет интерпретировать участки аномально высокой гелиеносности как участки интенсивного проявления трещинной тектоники, связанной с разломами глубокого заложения.

Предпринята попытка увязать наблюдаемые интенсивные аномалии с определенными направлениями (осями), соответствующими предполагаемым глубинным разломам, прорывающим базальтовый слой или затухающим в нем.

Сопоставление пространственного распределения гелиеносности и эндогенной (флюоритовой и ртутной) минерализации свидетельствует о приуроченности полей максимальной гелиеносности и рудопроявлений к одним и тем же площадям и направлениям. В то же время, четко проявленная тенденция к разобщению (в плане) центров аномальной гелиеносности и максимумов флюоритовой и есторождений к структурам, оперяющим крупные разломы.

Рассмотренные факты позволяют рекомендовать экспрессный и недорогостоящий гелиевый метод для уточнения тектонической характеристики и сравнительных перспектив ру-

доносности площадей на этапе рекогносцировочной оценки и мелкомасштабного прогнозирования.

Преимуществом гелиевого метода, наряду с высокой проникающей способностью гелия, является незначительный уровень информационных помех, объясняющийся отсутствием в приповерхностной части гелийпродуцирующих объектов и весьма ограниченным числом факторов, способных исказить гелиевый поток.

В. В. ПИМЕНОВ

НОВЫЙ МЕТОД И АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕЛИЯ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Проведенный нами анализ процесса неактивизированной молекулярной диффузии газа через сплошное твердое вещество показал, что для обычных условий, когда коэффициент диффузии газа в жидкости много больше, чем коэффициент диффузии в твердом веществе, скорость диффузии газа через твердое вещество и характер ее изменения во времени, полностью идентичны для случаев диффузии из газовой фазы или из равновесной с ней жидкости. Это означает, что при одинаковых концентрациях газа в газовой смеси и в жидкости, слабо растворяющей газ, диффузия его в твердое тело из жидкости должна происходить во много раз интенсивнее, чем из газовой смеси.

Отмеченный эффект был проверен экспериментально и надежно подтвержден для случаев диффузии гелия через кварцевое стекло при его контакте с гелиево-воздушными смесями и различными жидкостями, содержащими растворенный гелий.

На основе этих работ и изучения свойств магниторазрядных (ионных) насосов, широко применяемых для получения сверхвысокого вакуума, нами создан простой портативный газоанализатор ИНГЕМ-1, диффузионного типа, для количественного определения гелия в газовых смесях и водных пробах. Прибор уверенно фиксирует вариации содержания гелия в газовых смесях — до $(1-2) \cdot 10^{-4}$ объемных %, в воде до $(1-2) \cdot 10^{-5}$ мл/л, что соответствует пороговой чувствительности масспектрометрических газоанализаторов при ис-

пользовании дегазаторной методики извлечения гелия (в случае прибора ИНГЕМ-1 определение гелия в воде производится прямым замером). Показания прибора линейно зависят от концентрации гелия. Относительная воспроизводимость показаний составляет $\pm 5\%$; верхний предел измерения — 15 объемных % и 1,5 мл/л для газовых и водных проб, соответственно. Время анализа в обоих случаях не превышает 3 мин., время подготовки прибора к работе — 30 мин. Потребляемая мощность 1,5 вт, питание — батарейное. Вес прибора (с батареей) — 6—7 кг.

В результате двухлетней эксплуатации опытных образцов приборов ИНГЕМ-1 в различных геологических организациях подтверждены их хорошие метрические свойства, простота в обращении и высокая эффективность, особенно в условиях полевой гелиевой съемки. Применение приборов ИНГЕМ-1 позволило существенно упростить методы отбора проб и их анализ, производить анализ проб непосредственно на точках опробования и оперативно детализировать съемку площадей аномальной гелиеносности. Благодаря этому, возросло количество полезной информации, получаемой в течение полевого сезона, повысилась ее достоверность, снизились затраты на проведение съемки.

Отмеченные выше особенности диффузионных процессов, в пределах оговоренных ограничений, носят общий характер и могут послужить основой для создания высокочувствительных методов и приборов для определения не только гелия, но и других газов, растворенных в природных жидкостях. Эти особенности должны также учитываться при рассмотрении некоторых природных процессов, связанных с перераспределением газов между жидкими и твердыми веществами.

III. РАЗДЕЛ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Р. И. ДУБОВ, В. З. ФУРСОВ

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ПОИСКОВОЙ ГЕОХИМИИ

Необходимость поисков все более труднооткрываемых месторождений полезных ископаемых требует применения в

поисковой геохимии прогрессивных математических методов.

Современное состояние этого вопроса было отражено в докладах и решении специального семинара, организованного по линии СГПМ в декабре 1973 г. в Свердловске Уральским ТГУ и ИМГРЭ.

Математические методы в поисковой геохимии сейчас быстро развиваются. Имеются примеры успешных решений задач, подтверждающие теоретические возможности этих методов, хотя еще многочисленны ошибки, характерные для периода интенсивного освоения новых областей знаний.

Наибольшее развитие получили методы статистических оценок и классификации (распознавания образов) геохимических аномалий при малом числе выделяемых классов. Эти методы дают возможность делать автоматически первый шаг в интерпретации аномалий. Число таких методов быстро растет. Они обычно рекомендуются авторами для широкого применения без строгих обоснований и учета возможностей других методов. Возникла необходимость в теории выбора оптимальных методов в зависимости от конкретных условий. На семинаре были высказаны принципы возможного варианта такой теории, требующие апробации и дальнейшего уточнения.

В нескольких выступлениях рассматривались погрешности геохимических исследований. Рост внимания к этому вопросу свидетельствует о переходе поисковой геохимии в ряд объективных «точных» наук.

За последние несколько лет нет существенного увеличения числа исследователей, занимающихся решением так называемых прямых задач геохимии — математическим описанием причинно-определенных геохимических процессов. Такие исследования необходимы для интерпретации аномалий, относящейся к решениям обратных задач. Слабо развивается математическое планирование геохимических исследований, в частности, разработки по обоснованию оптимального вида съемок в комплексе с геофизическими и другими работами.

Усиление разработок в упомянутых направлениях обещает существенно повысить эффективность геохимических поисков. В частности, развитие методов математического моделирования с отображением не только случайных, но и казуальных зависимостей, расширит возможности количественных характеристик объектов по их геохимическим аномалиям, а также позволит оптимизировать методику полевых и лабораторных работ.

Выбор методов математической обработки геохимических

данных сейчас производится геохимиком, который, как правило, не может изучить все методы, и потому счетная техника используется зачастую не оптимально.

Теория выбора оптимальных методов, в зависимости от конкретных условий, обещает дать возможность производить этот выбор автоматически из большой совокупности методов, недоступной для детального изучения одним человеком.

Применение оптимальных методов позволит значительно увеличить извлечение полезных сведений из геохимических данных и задавать рациональную последовательность геохимических работ.

В одном из вычислительных центров целесообразно создать постоянно совершенствуемую типовую систему обработки геохимических данных. Такой центр мог бы апробировать новые методы и давать рекомендации по их применению.

Для координации исследований и скорейшего использования их результатов, целесообразно создать при СГПМ специальную комиссию из представителей научно-исследовательских и производственных организаций.

Б. В. АНДРЮШИН, А. Г. МИХАЙЛОВ, Ю. А. САДОВСКИЙ

РАЗЛИЧИЕ НАДРУДНЫХ, РУДНЫХ И ПОДРУДНЫХ ГОРИЗОНТОВ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

1. Конечной задачей прикладного изучения геохимических ореолов редкометальных гранитных пегматитов, является выявление надежных минералого-геохимических и физических критериев для распознавания подрудных, рудных, надрудных и фланговых зон пегматитовых полей, свит и отдельных жил, в том числе их сечений, расположенных на 50—100 м выше и ниже выклинивания рудных жил по восстанию и падению.

2. Это предопределяет решение следующих задач:

а) выявление зональности для различных типов и масштабов пегматитовых образований;

б) изучение зональности их эндогенных и экзогенных ореолов;

в) исследование ореолов различных безрудных и слабо оруденелых объектов (двуслюдяные граниты, простые пегматиты, рудопроявления, точки минерализации);

г) познание природы образования ореолов и аномалий.

3. Из всего разнообразия эрозионных срезов пегматитовых образований, при прочих равных условиях, можно выделить две группы: 1 — перспективные (надрудные, рудные зоны; 2 — бесперспективные (подрудные зоны, безрудные пегматиты и др.).

4. Задачи эти нами решаются на большом фактическом материале одного из редкометальных районов. В настоящее время получены данные по сравнению рядов распределения, монотонно изменяющимся отношениям элементов, корреляционным связям между содержаниями компонентов. Результаты опробированы пока на небольшом числе объектов и будут проверены летом 1974 года.

5. Использование содержаний рудных элементов (тантала, ниобия, олова, бериллия, лития, рубидия и цезия) не дало положительных результатов. Как и следовало ожидать, содержания их меняются с глубиной по синусоиде, различие надрудной зоны от подрудной сделать невозможно. Из других элементов можно использовать мышьяк, фосфор, титан и барий, концентрации которых монотонно убывают с глубиной.

6. Для определения степени эрозионного среза пегматитовых тел, был использован метод отношения содержаний по программе «062 МГУ» (отыскание монотонных геохимических показателей зональности) на материале рыхлых отложений по трем уровням (надрудный, рудные и подрудный). В одной задаче в программу было включено 6 элементов («традиционных» редких элементов). Обработка была произведена до показателей 4-го порядка. Количество монотонно изменяющихся показателей около 50%, а их количество, случайно изменяющихся монотонно, равно 50% (при трех уровнях), что указывает на малую надежность метода в наших условиях. Аналогичные данные получены и в задаче, на основе полукорреляционного анализа на 17 элементов: из числа рассмотренных отношений, например, 1-го порядка, равного 136, монотонно изменяются лишь 54 отношения, что составляет около 40% от их общего числа, т. е. надежность такая же, что и в предыдущем случае.

Таким образом, использование содержаний для поставленной цели, не дает надежных результатов.

Классификация объектов по дискриминантной функции, т. е. рассмотрение признаков в совокупности, с учетом их взаимосвязей, дает обнадеживающие результаты. Однако ошибка классификации значительна (Бугаец, 1970).

7. Для отнесения объекта по геохимическим данным к одной из указанных зон, было использовано возможное различие в величине линейной связи между парами элементов (материал геохимического профилирования по рыхлым отложениям масштаба 1:10000 по 8 участкам). Коэффициент ранговой корреляции определяется для 26 элементов: Ta, Nb, Sn, Be, Zr, Rb, Cs, K, Na, Ba, As, P, Mn, Pb, Cr, Ga, Ti, Mo, Ge, Ni, Y, Cu, Zn, Zr, Ag, Co. Монотонно изменяющиеся с глубиной коэффициенты были разбиты на две выборки, убывающие и возрастающие (рассматривались только связи, значимость которых для убывающих и возрастающих соответственно в надрудной и подрудной зонах доказан для 1% уровня и данного числа степеней свободы). В каждой группе оценки выборочных коэффициентов связи ранжировались по разрешающей силе (R), с учетом ее более значительной величины между надрудной и рудной зонами, с одной стороны, и подрудной — с другой. В результате, в каждую выборку было включено по 5 коэффициентов корреляции с максимальной разрешающей силой (таблица 1).

Таблица 1

Оценки коэффициентов ранговой корреляции по зонам пегматитов

Коэффициент	Оценки r по зонам			
	Надрудная	Рудная	Подрудная	
1. Убывающие				
Ni—Zn	0,582	0,226	—0,392	0,971
Pb—Zn	0,654	0,357	—0,003	0,657
Mo—V	0,616	0,484	—0,041	0,657
Mo—Cu	0,612	0,338	0,00	0,660
V—Zn	0,594	0,339	0,016	0,578
r' ср.	0,612	0,349	—0,084	0,696
2. Возрастающие				
Rb—Pb	0,022	0,190	0,634	0,612
Ge—Zn	0,00	0,151	0,601	0,601
Be—P	—0,024	0,056	0,575	0,599
Nb—Ti	0,024	0,251	0,590	0,566
Nb—Cr	0,150	0,150	0,675	0,525
r'' ср.	0,034	0,160	0,615	0,581
ГИЭС	18,0	2,2	—0,13	

Далее вычислялись средние значения величины линейной связи для каждой группы (r' гр. и r'' ср., Мак-Кеммон, 1973), отношение которых принималось за величину для оценки эрозионного среза, рудного тела (геохимический индикатор эрозионного среза, сокращенно ГИЭС). Учитывая монотонно убывающий характер индикатора ГИЭС (в принятом изображении), за критическое значение его принималась величина, средняя для рудной и подрудной зон, т. е. 1,0. Значения, превышающие величину 1,0, указывают на выход надрудной или рудной зоны пегматитового тела, а соответственно меньше единицы — на надрудную его часть.

Указанный метод дает хорошие результаты, но требует проверки на большем числе объектов.

М. И. ВОИН, В. В. ПОЛИЕНКО

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕНД-АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЯХ

1. Строение геохимических полей на золоторудных полях отличается особой сложностью. Здесь нередко требуется установить пространственные взаимоотношения между фоновыми участками и аномалиями. Тех и других обычно бывает по несколько: для минимально измененных пород, для пород, затронутых региональным метаморфизмом, для околорудно-измененных пород, для полей слабозолотоносной минерализации, для полей проявления продуктивной минерализации. Особенно сложно выявить и разделить общепринятыми геохимическими и статистическими приемами аномалии, отвечающие рудным столбам, рудным телам и месторождениям в целом. Для этого необходимо использовать такой прием обработки данных геохимического опробования, который был бы одинаково применим ко всем уровням концентрации золота и элементов-спутников. Этим требованиям удовлетворяет тренд-анализ.

2. Тренд-анализ, в известной степени смыкается с процедурой регрессионного анализа, который предъявляет все те же требования к исходному материалу, что и корреляционный анализ. Одно из наиболее жестких требований — требование многомерного нормального распределения. Несоблюдение его

делает бессмысленными все рассуждения о величине коэффициента корреляции. Оценка близости аппроксимации в тренд-анализе сводится, по существу, к этому же требованию.

3. Распределение Вейбулла (Шиманский, Базанов, 1966) хорошо аппроксимирует выборочные данные как для правотак и для левосторонних распределений, что особенно удобно при изучении сложно построенных геохимических полей, в том числе с золотым оруденением. Нами установлен алгоритм преобразования распределения Вейбулла в Гауссово распределение:

$$\rho = 0,3069 \cdot m$$

$$Z_i = x_i^{\rho} (i = 1, 2, \dots, N),$$

где m — параметр формы распределения Вейбулла. Распределение Z_i приближенно нормально, так как $A_z = 0$, $E_z = 0$. При помощи этой же процедуры можно легко прийти к алгоритму преобразования n -мерных распределений к форме нормального распределения.

4. На примере одного из близповерхностных золото-серебряных месторождений (Вонн, 1971) с помощью тренд-анализа удалось наметить новые рудоносные тела в стороне от известной рудоносной зоны в малоизученной части рудовмещающей толщи. При использовании неполного полинома 5-ой степени (программа А. С. Жданова) получены наиболее четкие регрессионные поверхности для трендовых концентрации золота, серебра и мышьяка. Все они фиксируют устойчивое нарастание трендовых концентраций примерно по нормали к известной рудоносной зоне ниже ее по размеру рудовмещающей толщи на расстоянии в несколько десятков метров. Это позволяет предполагать существование еще одной или несколько рудоносных зон ниже известной по разрезу.

5. По результатам тренд-анализа была однозначно пересмотрена структурная приуроченность обогащенного золотом интервала по сравнению с трактовкой, существовавшей в ГРП. Выявленный одним из авторов интервал с высокой золотоносностью ниже по разрезу разведанных рудных столбов был интерпретирован как новое рудоносное тело. При проверке рекомендации разведочная рассечка пересекла рудоносное тело с обычным для месторождения пологим падением. Ось его оказалась в первых метрах от положения оси, намеченного с учетом результатов тренд-анализа. Содержания всех основных рудообразующих элементов, кроме золота, оказались в новом теле не ниже, чем в известном рудном теле с интенсивным оруденением.

По данным тренд-анализа была намечена также и новая рудоносная зона. Ось ее проведена через середину расстояния между точками с максимальными трендовыми концентрациями золота и серебра. Заверочная скважина пересекла новую рудоносную зону на удалении в 10 м от положения ее оси, намеченного по данным тренд-анализа. В этом интервале встречена рудная минерализация, но без проявления основных продуктивных ассоциаций. Таким образом, с помощью тренд-анализа удалось выявить с достаточной точностью два новых рудоносных тел с оруденением различной интенсивности.

6. Близкие результаты были получены и при проведении корреляционного и регрессионного анализов по преобразованным данным. Однако применение процедуры преобразования позволило определить доверительный интервал прогноза. Последнее особенно важно при оценке надежности тенденций изменения концентраций ореолообразующих элементов. Это позволяет считать тренд-анализ удобным статистическим приемом обработки геохимических данных, при условии соблюдения требования нормальности совместного выборочного распределения.

Н. Н. СОЧЕВАНОВ, Е. К. ГОРЕЛОВА

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ РУДНЫХ ТЕЛ

Геохимическая зональность рудных тел и окаймляющих их ореолов имеет важное теоретическое и практическое значение, особенно при поисках скрытых рудных тел и оценке их эрозионного среза.

Наиболее широко известна методика расчетов рядов зональности, предложенная С. В. Григорьяном с использованием коэффициента контрастности и показателя зональности. Программа расчета зональности, предложенная А. П. Солововым и А. В. Гараниным, предусматривает перебор на ЭВМ отношений содержаний или продуктивностей всех элементов с выдачей на печать только монотонно меняющихся отношений. Авторами предлагается новая методика расчета геохимиче-

ской зональности с использованием центров тяжести запасов каждого элемента и взаимного сопоставления их отметок.

Рекомендуется построение графиков изменения продуктивности элементов по вертикали или падению рудного тела, по которым определяется:

1. Протяженность ореола по падению.
2. Контрастность изменения продуктивности.
3. Отметка центра тяжести запасов данного элемента,

а при наличии двух центров концентрации элементов отметки обоих с определением удельного веса запасов в каждом из них.

4. Последовательность элементов в геохимическом ряду зональности по положению центров тяжести запасов.

5. Установление устойчивых и неустойчивых элементов ряда зональности (при наличии не менее шести горизонтов опробования с расчетами центров тяжести по четным и нечетным горизонтам).

Ряд зональности иллюстрируется диаграммой геохимической зональности, на которой по вертикали отложены глубины опробованных горизонтов, а по горизонтам на каждом горизонте откладывается величина продуктивности элемента с построением контуров, характеризующих интенсивность ореолообразования. Элементы на диаграмме располагаются в последовательности понижения центров тяжести запасов. По диаграмме зональности устанавливается группа надрудных, рудных и подрудных элементов и отметки, ограничивающие горизонты развития каждой из этих групп элементов. Применение авторами на ряде месторождений предлагаемой методики расчета зональности позволило сформулировать требования к элементам, используемым при расчете индикаторных отношений.

Элементы-индикаторы должны быть:

1. Наиболее удаленные элементы ряда. Это совпадает с ранее сделанным выводом С. В. Григоряна. Средние элементы ряда, в том числе и рудный элемент, к использованию не рекомендуются.

2. Определены с достаточной чувствительностью и охарактеризованы цифрой содержания.

3. Достаточно контрастными. Средние содержания на разных горизонтах должны меняться не менее, чем в пять раз.

4. Устойчивы в ряду геохимической зональности. Центр тяжести запасов должен оставаться в одной геохимической зоне, независимо от горизонта опробования. Анализ предлага-

емой авторами методики позволяет сделать следующие выводы:

1. Геохимические ряды, вычисленные по предлагаемой методике, весьма близки к рядам, полученным по ранее предложенным методикам.

2. Предлагаемая методика позволяет оценивать положение каждого элемента в ряду зональности, причем исключение одного или нескольких элементов не требует повторных расчетов. При двух или более центрах накопления элемента устанавливается процент запаса, приуроченного к каждому центру. По отметкам центров тяжести запасов уверенно устанавливаются границы между верхними, средними и нижними элементами ряда.

3. Требования к элементам, используемым в индикаторных отношениях, сформулированные выше, резко ограничивают число возможных индикаторных отношений и делают нецелесообразным перебор всех элементов друг с другом.

4. При неполной разведанности рудоносной структуры по падению расчет геохимической зональности может привести к ошибочным выводам о порядке элементов в геохимическом ряду.

IV. РАЗДЕЛ *НОВОЕ В МЕТОДИКЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ*

Б. З. ЛИТВИН, Л. П. ТИГУНОВ

О ПЕРВЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АНГАРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

В последние годы в Иркутской области усилились геологоразведочные работы на железные руды, основной объем которых выполняется на магнетитовых месторождениях Ангарской провинции. Задача повышения эффективности геологоразведочных работ может быть решена только на основе применения рационального комплекса геологических, геофизических методов. Последние имеют решающее значение при изучении вещественного состава железных руд, оценки уровня эрозионного среза месторождений, проверке геофизических аномалий, поисках «слепых» рудных тел и новых сульфидных

и редкометальных месторождений, пространственно связанных с магнетитовыми.

Применение шлихо-геохимических и литохимических поисков в Ангаро-Катском районе (1970—73 г.) показало, что железорудные месторождения характеризуются развитием вторичных ореолов рассеяния ртути, сурьмы, мышьяка, меди, свинца, цинка, бария, стронция, серебра, молибдена, олова, марганца, титана, ванадия, бора, лития, никеля, кобальта, и др. элементов. В шлиховых пробах обнаружены киноварь, золото, молибденит, касситерит, галенит, барит и др. минералы. Сложная структура железорудных месторождений (Нерюндинское, Капаевское, Поливское, Катское и др.) Ангаро-Катского района, наличие пострудных разрывных нарушений, многоэтапная минерализация привели к сложной картине первичных и вторичных ореолов рассеяния цветных и редких элементов.

Изучение вторичных ореолов рассеяния (Капаевское м-ние и др.) проводилось в м 1:10000 с детализацией небольших участков (1—2 км²) в м 1:2000. Эпицентры аномалий проверялись канавами. Первичные ореолы изучались по керну скважин и путем опробования полотна канав, забоя и стенок шурфов. По результатам спектрального анализа металлометрических проб строились моноэлементные карты и карты мультипликативных ореолов (по методике С. В. Григоряна) — как для вторичных, так и для первичных ореолов.

Моноэлементные ореолы, как правило, прерывистые (для Hg, Cu, Ag, Pb, Zn, Ba — на Капаевском м-нии), с большим количеством аномальных проб. В результате построения мультипликативных ореолов (Hg·Ba·Ag), (Cu·Pb·Zn), (Hg·Ba·Ag·Cu·Pb·Zn) увеличились их размеры, исчезла прерывистость, возросла в 2—3 раза контрастность, эпицентры обозначились более ярко и приобрели определенный геологический смысл. В одном из эпицентров на Капаевском м-нии было вскрыто медное оруденение в коренном залегании кальцит-магнетитовых руд. Аналогичное медное оруденение было обнаружено на Октябрьском и Нерюндинском железорудных месторождениях в основании своеобразных «чашечных» структур: мощность оруденелых горизонтов достигает 5—25 м, содержание меди 0,1—2%, сопутствующими являются цинк, свинец, стронций,

На Капаевском м-нии были выявлены первичные ореолы ртути при содержании до п. 10⁻³%. С удалением от скарноворудной зоны во вмещающие осадочные породы содержание ртути снижается до п. 10⁻⁶%.

В результате спектрального каротажа скважин Капаевского месторождения установлено избирательное накопление некоторых элементов в окolorудном пространстве: Ba, As, Ag, Pb, Zn, Cu, тяготеющих к скарново-рудной зоне. Наблюдается общее увеличение размеров ореолов их интенсивности по направлению к дневной поверхности. Ga, Sr, Cr, V, Mo, Sn, Mn образуют обширные ореолы вокруг скарново-рудной зоны.

В результате мультипликативного суммирования (Ba·Ag·Hg), (Pb·Zn·Cu), (Ba·Ag·Hg·Pb·Zn·Cu) во всех случаях получены большие по размерам, контрастные суммарные ореолы (по сравнению с моноэлементными). Отношение (Ba·Ag·Hg):(Pb·Zn·Cu) достигает 10000, что по данным С. В. Григоряна характерно для слабоэродированных полиметаллических месторождений. Анализ материалов геофизических работ указывает на присутствие проводящих зон, которые могут быть вызваны сульфидными рудами. Сульфидная минерализация обнаружена в магнетитовых рудах, в дайках долеритов, в архиллитах, песчаниках и сланцах рудовмещающей толщи. Анализ геохимических материалов свидетельствует о наличии вертикального ряда зональности, использование которого может оказать существенную помощь при поисках и разведке железорудных и др. месторождений, локализующихся в осадочной толще и траппах юга Сибирской платформы.

А. Н. СУТУРИН, Р. С. ЗАМАЛЕТДИНОВ, Г. В. БУРМАКИНА

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ НЕФРИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ НЕФРИТА

Коренные месторождения нефрита относятся к контактово-метасоматическому генетическому типу, образовавшемуся в результате циркуляции горячих растворов, привносящих химические соединения как из глубинных магматических очагов, так и из контактирующих пород на путях движения этих растворов.

Общим для всех известных промышленных месторождений нефрита является постоянная их связь с гипербазитовыми массивами. В нефритах обнаруживаются незамещенные участки серпентинитов, а также реликтовые зерна хромшпинелидов. Химический состав нефритов, в особенности концентрации в них элементов-примесей группы железа, указывают на апосерпентинитовый генезис нефритов.

Выделяются 3 основных промышленных типа месторождений нефрита, различающихся составом даек и положением нефритовых жил относительно контактов: 1) связанные с апогаббровыми родингитами, 2) ассоциирующие с гранитоидами, 3) залегающие среди основных пород.

Нефритовые жилы сопровождаются ореольной зоной, которая выражается в повышенной серпентинизации вмещающих гипербазитов, карбонатизации и отальковании серпентинитов, появлении зон нефритоподобных метасоматических серпентинитов.

Родингиты характеризуются специфическим химическим составом и отличаются повышенными концентрациями кальция. Повышение концентраций Ca и Na в габброидах и гранитоидах наряду с увеличением концентрации в них Mg указывает на возможность нефритообразования в контактирующих с ними серпентинитах.

Нефритовые жилы сопровождаются ореолами ряда элементов во вмещающих серпентинитах. В первую очередь отмечается контрастное увеличение концентраций кальция. Повышаются также концентрации титана, стронция и бария. Размеры ореольных зон превышают в 2—3 раза мощности жил. Кроме того ореолы фиксируются и выше нефритовых жил, что позволяет прогнозировать поиски на глубину.

Увеличение концентраций кальция в серпентинитах и в метасоматически измененных габброидах и гранитоидах — наиболее простой признак установления контактового кальциевого метасоматоза, поскольку визуально и в шлифах начальные стадии тремолитизации и родингитизации диагностируются с трудом. При оценке перспектив на нефрит нового района наряду с геологическими факторами необходимо учитывать и специфическое изменение химизма контактирующих пород. Впервые геохимические данные для оценки перспективной нефритоносности были нами использованы при обосновании постановки работ на Куртушибинском массиве в Западном Саяне. Открытие здесь в 1973 году нового месторождения подтвердило перспективность метода.

Использование геохимических методов при поисках нефрита весьма перспективно как для изучения на глубину известных нефритоносных зон, так и для оценки перспектив новых массивов.

Л. Н. ХЕТЧИКОВ, Р. В. ВЯЗОВОВА, И. Л. КОМОВ, Л. В. ОГАНЕСЯН

О ПРИМЕНЕНИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ

Проведено изучение зональности хрусталеносных месторождений различных структурно-морфологических типов Восточной Сибири и Памира.

Хрусталеносные кварцевые жилы и гнезда горного хрусталя сопровождаются ореолами калия, натрия, ртути фтора, бора, хлора и других элементов.

В направлении снизу вверх наблюдается уменьшение среднего содержания калия, натрия, ртути, фтора, бора в эндогенных ореолах. В этом же направлении резко уменьшается линейная продуктивность ореолов ртути и фтора. Содержание хлора в эндогенных ореолах практически не меняется в пределах всего вертикального интервала оруденения. Основной причиной появления зональности является местное перераспределение фонового содержания элементов под действием гидротермальных растворов. Характерно резкое увеличение содержаний перечисленных выше элементов в близконтактных частях жил и гнезд, в то время как в самих жильных телах их содержания обычно понижаются до уровня отрицательных аномалий.

Установлено отчетливое изменение силы и характера корреляционной связи между отдельными элементами-индикаторами для месторождений различных зон глубинности. В качестве оценочного критерия заслуживает внимания исследование связи между элементами Рb—Сг и Рb—Мо. Для штоковерковых зон связь между этими элементами отрицательная, большой силы: для жильных зон сложной конфигурации — тоже большой силы, но положительная: для линейных жильных

зон связь Pb—Сг не обнаруживается, а Pb—Мо очень слабая.

Намечены парагенетические ассоциации элементов для различных структурно-морфологических типов месторождений.

Установление геохимической зональности на месторождениях различных зон глубинности, строение и вещественный состав ореолов, а также сила и характер корреляционной связи между элементами-индикаторами являются критериями для оценки перспектив хрусталеносности глубоких горизонтов и ближайших флангов действующих месторождений; для оценки эрозионного среза хрусталепооявлений и их перспектив на слепое оруденение; для переоценки кварцевых развалов на возможность выявления новых хрусталеносных объектов.

Результаты проведенных исследований подтверждены последующими работами на нескольких объектах.

В. А. ТИМЧЕНКО, Н. П. ЧИБИСОВ

ПОИСКИ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ

Опытные геохимические исследования, проведенные в последние годы в двух алмазонасных районах, были направлены на решение следующих основных задач: определение элементов-индикаторов кимберлитов; формы и размеров ореолов рассеяния трубок, выходящих на поверхность в поле распространения карбонатных пород нижнего палеозоя, а также формы и размеры ореолов трубок, расположенных в непосредственной близости или частично перекрытых терригенными породами верхнего палеозоя, нижнего мезозоя и траппами. Помимо этого обрабатывалась методика поисков кимберлитовых тел по вторичным ореолам рассеяния в м-бах 1:10000—1:25000, выяснялись возможности геохимических поисков погребенных кимберлитовых трубок, проводилась проверка геофизических аномалий.

По данным собственных работ и с учетом результатов предыдущих исследователей (Литинский, 1961, 63; Соколов, 1966) установлены основные информативные элементы ким-

берлитового магматизма — хром, никель, кобальт, ниобий, иттрий. В кимберлитах содержатся повышенные по отношению к карбонатным породам концентрации марганца, титана, бора, меди, молибдена. В то же время микроэлементный состав кимберлитов, траппов и терригенных осадков близок, но в кимберлитах количества хрома, никеля, ниобия, реже бора и бария в 1,5—3,0 раза выше, нежели в траппах и терригенных породах.

Кимберлитовые трубки, выходящие на поверхность в поле карбонатных пород образуют вторичные ореолы рассеяния хрома, никеля, кобальта, менее отчетливые — титана и марганца. Площадь ореолов более площади выходов кимберлитов в 2—7 раз, контрастность моноэлементных ореолов невысока (1,5—6,5). Применение комплексных показателей (мультипликативные ореолы отношения произведения концентраций хрома и никеля на свинец) увеличивает контраст литохимических аномалий в десятки раз. Объективность подобной методики обработки данных и информативность комплекса элементов подтвердилась в самое последнее время открытием кимберлитовой трубки при проверке выявленного мультипликативного ореола, в пределах участка опытных работ.

Использование мультипликативных характеристик позволяет также достаточно надежно оценить кимберлитовую природу литохимических аномалий в условиях непосредственной близости от трубок пластовых интрузий или даже частично перекрытия последними кимберлитов. Подобный подход к интерпретации литохимической информации позволяет также разбраковывать геофизические аномалии на «трубочные» и трапповые.

Подобные приемы усиления литохимических аномалий и оценки их природы позволяют эффективно использовать при поисках литохимическое опробование в м-бе 1:10000—1:25000, причем наиболее рационально применение квадратных сеток опробования (соответственно 100×100 м и 50×50 м). По результатам поисков выделяются перспективные участки, реже линейные зоны повышенных концентраций элементов-индикаторов. Последние предположительно связываются с зонами тектонических нарушений.

Учитывая высокую информативность литохимического опробования при поисках открытых и частично перекрытых кимберлитовых трубок, геохимические методы могут быть с успехом применены также и при поисках кимберлитов, перекрытых траппами и терригенными породами нижнего мезозоя. Литохи-

мическое опробование базальных горизонтов нижнеюрских терригенных осадков и кор выветривания нижеордовикских терригенно-карбонатных пород показало наличие наложенных вторичных ореолов хрома и никеля в базальных горизонтах и остаточных ореолов тех же элементов в древних корях выветривания вокруг известной кимберлитовой трубки. Скрытые вторичные ореолы имеют относительно локальные размеры и четко фиксируют местоположение трубки. Использование литохимического опробования в процессе поисков перекрытых кимберлитовых трубок в значительной степени повысит эффективность горно-буровых работ.

Ю. А. БУРМИН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ (на примере Мугоджар)

1. Значительное число установленных гипергенных, геохимических аномалий (ореолов) Nb, Ta и других редких элементов в корях выветривания Мугоджар и очень небольшое количество открытых по ним месторождений свидетельствует о многообразии природы аномалий и неоднозначности механизма формирования этих аномалий.

2. Типы редкометальных аномалий в коре выветривания:

а) Ореолы «ложные», образовавшиеся за счет высвобождения элементов-гидролизатов из выветрившихся породобразующих минералов кислых и щелочных интрузивных пород и сорбированных гидрослюдами, глинистыми минералами и гидроокислами железа и марганца.

б) Вторичные ореолы рассеивания над слепыми и вскрытыми рудными телами (грейзены, карбонатиты, альбититы и др.), полезные минералы которых неустойчивы в зоне выветривания.

в) Ореолы механические, характерные для кор выветривания, содержащих минералы, устойчивые в зоне выветривания (колумбит-танталит, циркон, касситерит, вольфрамит и др.)

3. Разбровка ореолов (аномалий) возможна:

а) путем выявления повышенных концентраций редко-металльных минералов в шлихах,

б) при изучении характерных парагенетических ассоциаций элементов:

рубидий	—	цезий
калий	—	цезий
тантал	—	ниобий
цирконий	—	гафний
ниобий	—	титан

редкие земли (J) — редкие земли (Ce)

Изучение ассоциаций элементов позволяют сделать выводы не только о наличии россыпей, но и о характере материнских коренных пород,

в) при помощи спектрохимического анализа монофракций глин. Примерно равное содержание полезных элементов в глинах и в материале исходной пробы говорит об отсутствии россыпи.

4. Применение комплекса перечисленных методов исследований в Мугоджарах позволило дать положительную оценку элювиальным россыпям на щелочном массиве «Карасыр», на некоторых участках Верхне-Мргизского пегматитового поля, на Актастинском гранитном массиве. Преобладающее большинство других изученных аномалий получило отрицательную оценку, что в некоторых случаях было подтверждено последующими картировочными буровыми работами.

Е. И. ЗАЙЦЕВ, В. И. МИЛЬЧАКОВ

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ОТОБРАННЫХ ПРОБ НА Zn, Pb, As, Ba, Sr И ОПРОБОВАНИЕ ПОРОД В ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ НА СУММУ Zn, Pb, As ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ

Показана возможность массового анализа геохимических проб рентгенорадиометрическим методом на Zn, Pb, As, Ba, Sr с целью выявления эндогенных и экзогенных ореолов. Чувствительность определений 0,002% по сумме Zn, Pb, As; 0,002 —

по Sg и 0,008% — по Ва. Точность 10—20% относительных, производительность — до 100 проб в смену.

Методика опробована в условиях полевой (нестационарной) лаборатории на одном из полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья при совместных работах с сотрудниками С. В. Григоряна.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности уверенного выявления ореолов с аномальным содержанием суммы Zn, Pb, As от $1 \cdot 10^{-2}\%$ и выше.

Выявлены три площадных гипергенных аномалии суммы Zn, Pb, As две из которых связаны с известными рудными телами, природа третьей выясняется.

По результатам измерений проб керна установлены повышенные содержания Ва и Sg в надрудной части эндогенных ореолов Zn, Pb, As и пониженные — в подрудной; по уровню содержания Zn, Pb, As, а также Ва и Sg вмещающие оруденение карбонатные породы существенно отличаются от изверженных.

Установлена возможность выявления геохимических аномалий суммы Zn, Pb, As при измерениях в естественном залегании пород и при опробовании керна без разрушения. Чувствительность 0,01—0,02%, производительность 2 мин. на точку опробования.

Показана возможность дальнейшего повышения чувствительности экспресс-анализа геохимических проб и расширения круга определяемых элементов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I Раздел

Теоретические аспекты миграции элементов-индикаторов рудных месторождений

Л. Н. Овчинников. Механизм формирования первичных геохимических ореолов и рудных тел	3
А. К. Авгитов, Ю. А. Лейе. Энергетические показатели геохимической зональности эндогенного оруденения и их количественная оценка	9
Э. Н. Баранов. Единая зональность эндогенных геохимических ореолов сульфидных гидротермальных месторождений как проявление основного закона геохимии	10
В. Л. Лось, В. А. Нарсеев. Полимеризационный механизм гидротермального минералообразования и геохимическая зональность	11
Э. Н. Баранов, В. С. Голубев. Морфогенетические типы эндогенных геохимических ореолов рудных месторождений и физико-химические модели их образования	13
Н. А. Солодов. Об особенностях геохимических ореолов редкометалльных пегматитов	15
С. С. Мецераков, Н. И. Сафронов. Использование первичных ореолов и расчетов энергии рудообразования при оценке оловорудных объектов	18
Л. А. Арутюнян, В. И. Скиба, Х. Б. Авсарагов, В. Н. Макаров. Экспериментальное исследование миграционной способности кобальта в плотных породах в гидротермальных условиях	20
Э. А. Хачатурян, Св. С. Мкртчян. К вопросу о поведении свинца и цинка в рудах и эндогенных ореолах на примере колчеданно-полиметаллических месторождений Алаверди-Кафанской рудноносной зоны	21
Б. А. Судов. Некоторые вопросы образования первичных ореолов йода и брома на гидротермальных рудных месторождениях	22
В. В. Поликарпочкин. Теория вторичных ореолов рассеяния на дефлюкционных склонах	25
Г. А. Голева. О геохимической взаимосвязи зональностей экзогенных ореолов	29
Б. А. Досанова. Ряды гипергенной подвижности элементов и их значение для методики геохимических поисков	30
М. И. Андреев, А. М. Черняев. Теоретическая миграционная способность металлов в зоне гипергенеза сульфидных месторождений	32
Г. Б. Аракелян. Формы миграции меди, цинка, кадмия, свинца и серебра в подземных водах сульфидных месторождений северной части Арм. ССР (на примере месторождений Ахтала и Шамлуг)	34

Т. Н. Кюреглян. Некоторые особенности выявления гидрогеохимических аномалий на Дастакертском рудном поле	35
А. Л. Ковалевский. К теории формирования рудных биогеохимических аномалий в растениях	36
Г. А. Голева, С. В. Григорян. Геохимическая природа зональности эндогенных ореолов рудных месторождений	39
А. А. Маракушев, А. А. Гармаш. К теории первичной зональности колчеданно-полиметаллического оруденения (на примере Рудного Алтая)	40
М. А. Абагурова. Особенности миграции рудоносных растворов на примере некоторых золоторудных месторождений	42
М. П. Глебов, Л. Г. Кузнецова, Ф. М. Ройзенман, Б. М. Шмакин. Механизм формирования ореолов редкометалльных пегматитов и некоторые следствия из их петрографо-геохимического изучения	45
Л. Н. Хетчиков, И. Л. Комов, С. Ф. Носов, Е. П. Верхотуров. Вертикальная зональность эндогенных ореолов на месторождениях горного хрусталя	47
Н. Ф. Челушев. О роли ионного обмена при формировании первичных геохимических ореолов	49

II Раздел

Поиски рудных месторождений по газовым ореолам рассеяния элементов

М. А. Карасик, С. И. Кирикилица, А. М. Эдельман. Об условиях формирования и методике интерпретации газорудных аномалий	51
А. И. Фридман. Основные закономерности образования газовых ореолов в рудных месторождениях и использование метода газовой съемки при проведении геолого-съёмочных и поисковых работ в закрытых районах	54
Г. А. Долгих, А. Е. Ермекбаев. К вопросу теоретического объяснения различных твердых форм ртути и их распространение в рудной зоне	55
В. З. Фурсов. Закономерности распределения ртути в некоторых природных средах	58
Л. И. Фердман. Геохимические аномалии и неотектоника	61
А. В. Нетреба, А. И. Фридман, М. Л. Хурин, И. А. Плотников. Значение геохимического метода газовой съемки по подпочвенному воздуху при оценке перспектив рудных полей (на примере рудных месторождений Северо-Западного Кавказа)	63
И. Н. Яницкий, В. М. Коробейник, В. Н. Стадник, В. В. Пименов. Структура атмосферических ореолов рассеяния и использование газовых индикаторов для прогноза эндогенного оруденения	65
В. Н. Башорин. К вопросу использования результатов гелиевой съемки при прогнозе и поисках эндогенного оруденения	67
В. И. Флешлер. Возможность гелиевой съемки как картировочного и поискового метода (на примере изучения гелиеносности Забайкалья)	68
В. В. Пименов. Новый метод и аппаратура для определения гелия при геохимических исследованиях	70

III Раздел

Математические методы обработки геохимической информации

- Р. И. Дубов, В. З. Фурсов.* Состояние и перспективы применения математических методов в поисковой геохимии 71
- В. В. Андрюшин, А. Г. Михайлов, Ю. А. Садовский.* Различия надрудных, рудных и подрудных горизонтов редкометалльных гранитных пегматитов по геохимическим данным 73
- М. И. Воин, В. В. Полиенко.* Возможности применения тренд-анализа для выявления геохимических аномалий на золоторудных полях 76
- Н. Н. Сочеванов, Е. К. Горелова.* Новый метод расчета геохимической зональности рудных тел 78

IV Раздел

Новое в методике геохимических поисков

- Б. З. Литвин, Л. П. Тигунов.* О первых результатах геохимического изучения железорудных месторождений Ангарской провинции 80
- А. Н. Сутурин, Р. С. Замалетдинов, Г. В. Бурмакина.* Первичные ореолы нефритовых месторождений при поисках нефрита 82
- Л. Н. Хетчиков, Р. В. Вязовова, И. Л. Комов, Л. В. Оганесян.* О применении геохимических методов для поисков месторождений горного хрусталя 84
- В. А. Тимченко, Н. П. Чибисов.* Поиски коренных месторождений алмазов по вторичным ореолам рассеяния 85
- Ю. А. Бурмин.* Некоторые особенности геохимических поисков редкометалльных элювиальных россыпей (на примере Мугуджар). 87
- Е. И. Зайцев, В. И. Мильчаков.* Экспресс-анализ отобранных проб на Zn, Pb, As, Ba, Sr и опробование пород в естественном залегании на сумму Zn, Pb, As при геохимических поисках 88

Утверждено к печати

Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов

Т-16237 Подписано к печати 30/IX—1974 г. Формат бум. 60×90¹/₁₆ Объем 5³/₄ п. л.
Тираж 600 экз. Заказ № 2166 Цена 40 коп.

1021