

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ
И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**НОВОЕ
В МЕТОДИКЕ
ЛИТОХИМИЧЕСКИХ
ПОИСКОВ**

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ „НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ“
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

550.84

2506

НОВОЕ
В МЕТОДИКЕ
ЛИТОХИМИЧЕСКИХ
ПОИСКОВ



МОСКВА-1977



Ответственные редакторы

С. В. ГРИГОРЯН

М. Ф. КУЗИН



ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ
И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, 1977 г.

С.В.Григорян, В.И.Натурин,
К.М.Норузбаев, И.Д.Турдукеев

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ
ЗОНАЛЬНОСТЬ РТУТНОГО ОРУДЕНЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧОНКОЙ (ЮЖНАЯ КИРГИЗИЯ)

Месторождение Чонкой является типичным представителем телетермальных ртутных месторождений ливственитового типа, который в последние годы приобретает ведущее положение среди промышленных ртутно-рудных объектов (5). К тому же типу относятся некоторые рудопоявления Алайского (Бешбулак, Карачатыр, Калача, Катар), Атбашинского и Уланского (Акбеит и др.) хребтов в Киргизии, месторождения Чаган-Узун и Акташ на Алтае, Нью-Альмаден, Нью-Идриа и Ноксвилл в США и др.

Чонкойское месторождение, составляющее вместе с одноименным рудным полем наиболее крупный объект Улуттау-Араванского рудного района, изучалось в различных аспектах многочисленными геологами (М.А.Андреевым, Д.Боркоевым, И.И.Бочкаревым, М.Г.Зариковым, А.В.Кришталь, К.К.Курманалиевым, Н.А.Никифоровым, И.Л.Тесленко, В.П.Турчинским, В.П.Федорчуком и др.). Тем не менее геохимические особенности ртутного оруденения остаются еще далеко не раскрытыми, что отрицательно сказывается на прогнозировании скрытого и глубокозалегающего оруденения. Особенно это относится к первичным геохимическим ореолам, как известно, представляющим источник ценной поисково-оценочной информации об эндогенных сульфидных месторождениях. При этом наиболее эффективную информацию и практический выход дает изучение зональности первичных геохимических ореолов; она и явилась предметом наших исследований.

Месторождение Чонкой расположено в южной части крупного субширотного краевого разлома, трассируемого офиолитами (гипербазитами, серпентинитами и вулканитами основного состава). Вмещающие породы — мощные толщи вулканогенно-карбонатных отложений нижнего и среднего палеозоя.

Ртутное монометальное оруденение тяготеет к крутопадающим зонам лиственитизации, формирующимся вдоль разломов-контактов серпентинитовых тел и вмещающих их карбонатно-терригенно-вулканогенных пород преимущественно кембрийского возраста.

Морфогенетическими особенностями рудных тел являются крутопадающие столбы, линзо- и плащеобразные залежи лиственитов, реже-секущие кварц-карбонатные жилы. Промышленное оруденение развивается главным образом в зонах крутопадающих разломов.

Основные компоненты рудовмещающих лиственитовых тел - кварц, магнезиальные и железистые карбонаты (магнезит, доломит, анкерит, сидерит), меньше - кальцит. Рудные минералы - киноварь, в меньшей степени - метациннабарит, пирит, редко - арсенопирит, халькопирит, и очень редко - антимонит, галенит, сфалерит, реальгар и аурипигмент. В гипербазитах и их гидратированных разностях (серпентинитах) отмечаются магнетит, гематит, хромшпинелиды и другие типичные для них рудные и нерудные минералы, не имеющие отношения к ртутному рудообразованию.

Минеральная зональность описываемого месторождения практически не установлена, хотя замечено, что в нижних горизонтах и зонах максимального проявления ртутного оруденения чаще наблюдается сонахождение киновари с кремнеземом (кварцем). Здесь же отмечены редкие находки арсенопирита и антимонита. В верхнерудных и надрудных частях киноварь охотнее ассоциирует с карбонатами (кальцитом). Здесь зафиксированы очень редкие находки халькопирита, сфалерита, галенита и реальгара-аурипигмента. Однако отмечаются и обратные взаимоотношения минералов, сопутствующих ртутному рудообразованию.

Как видно, информация о минеральной зональности месторождения Чонкой весьма скудна и практически не позволяет судить о критериях прогнозирования и поисков скрытого оруденения, поэтому мы обратились к выявлению геохимической (элементной) зональности ртутного оруденения месторождения.

Для решения поставленной задачи был статистически обработан большой фактический материал (около 1000 проб), полученный при геохимическом опробовании околорудных пространств и рудных участков месторождения Чонкой. Преобладающую часть этого фактического материала составили результаты опробования керна скважин, пробуренных на участках основных рудоносных зон месторождения. Пробы отбирались методом пунктирной борозды с последующей их группиро-

вкой. Статистическая обработка результатов спектрального анализа геохимических проб выполнялась с применением ЭВМ "Минск-22" по программе, составленной В.К.Паламарчуком и Т.И.Кониховой в соответствии с известными инструкциями и руководствами по этому вопросу (1).

Месторождение Чонкой по своим структурно-морфологическим особенностям является благоприятным объектом для изучения вертикальной геохимической зональности. К тому же субвертикальные рудные зоны месторождения разведаны скважинами и подземными горными выработками.

Вертикальная зональность первичных геохимических ореолов диагностирует различные уровни рудоносных зон и помогает прогнозированию и поискам скрытого оруденения. Основными параметрами, определяющими изменение оруденения с глубиной, являются коэффициент зональности (контрастности) K_z и корреляционные связи элементов-индикаторов. В работе Л.Н.Овчинникова, С.В.Григоряна(3) предложена следующая геохимическая зональность первичных ореолов телетермальных рудных месторождений:

вертикальная (сверху вниз): $Ba-As-Ag-Pb-Zn-Cu-W-Co-Ni$;

горизонтальная (примерный ряд от наибольших ореолов к наименьшим): $Hg-As_1-Ba-Cu-Pb-Zn-Ni-As_2-Co$.

Ряд вертикальной геохимической зональности ртутных месторождений Киргизии, предложенный К.К.Курманалиевым и др.(4), мало отличается от приведенных выше.

В ходе наших исследований вначале определялись коэффициенты многомерной корреляции. В дальнейшем вычислялись мультипликативные отношения (т.е. отношений произведений) средних содержаний элементов-индикаторов. Полученные данные позволяют сделать следующие предварительные выводы.

1. Элементами-индикаторами ртутного оруденения являются свинец, цинк, медь, мышьяк, молибден, вольфрам, олово, никель, кобальт и барий, что в определенной мере согласуется с данными геохимических исследований И.И.Бочкарева по Улугтау-Араванскому рудному району (2). Положительную и существенно значимую корреляционную связь обнаруживают между собой ртуть, мышьяк, свинец, цинк и медь. Существенно отрицательную или несущественно положительную корреляционную связь названные элементы имеют с никелем, кобальтом, молибденом, оловом и вольфрамом, хотя между собой последние элементы коррелируются положительно (табл.1). В таблице,

согласно критерию Стьюдента (I), значимыми будут коэффициенты корреляции, большие или равные 0,35 при числе проб $n = 30+40$.

Т а б л и ц а I
Коэффициенты корреляции элементов-индикаторов
ртутного месторождения Чонкой

Эле- менты	<u>Hg</u>	Ni	Co	<u>Pb</u>	Mo	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	Sn	W	<u>As</u>
<u>Hg</u>	<u>1.0</u>	-0,2	0,15	<u>0.65</u>	-0,6	<u>0.4</u>	<u>0.56</u>	-0,8	0,25	<u>0.7</u>
Ni	-0,2	1,0	0,9	0,2	0,45	-0,3	0,1	0,45	0,6	-0,6
Co	0,15	0,9	1,0	-0,1	0,7	0,25	0,3	0,62	0,25	-0,4
<u>Pb</u>	<u>0.65</u>	0,2	-0,1	<u>1.0</u>	-0,8	<u>0.65</u>	<u>0.4</u>	-0,2	0,2	<u>0.9</u>
Mo	-0,6	0,45	0,7	-0,8	1,0	0,1	0,2	0,6	0,45	0,5
<u>Zn</u>	<u>0.4</u>	-0,3	0,25	<u>0.65</u>	0,1	<u>1.0</u>	<u>0.45</u>	-0,5	-0,8	<u>0.38</u>
<u>Cu</u>	<u>0.56</u>	0,1	0,3	<u>0.4</u>	0,2	<u>0.45</u>	<u>1.0</u>	-0,4	0,4	<u>0.46</u>
Sn	-0,8	0,45	0,62	-0,2	0,6	-0,5	-0,4	1,0	0,62	-0,7
W	0,25	0,6	0,25	0,2	0,45	-0,8	0,4	0,62	1,0	0,2
<u>As</u>	<u>0.7</u>	-0,6	-0,4	<u>0.9</u>	-0,3	<u>0.38</u>	<u>0.46</u>	-0,7	0,2	<u>1.0</u>

Примечание. Подчеркнуты элементы, имеющие существенно значимую положительную корреляционную связь с ртутью и между собой.

2. Такие элементы-индикаторы ртутного оруденения, как свинец и медь, образуют повышенные концентрации в верхних и центральных частях рудных зон, а молибден и олово - в центральных и нижних.

3. По результатам корреляционного анализа и закономерностям распределения типоморфных элементов рудовмещающих зон выявлены комплексы элементов-индикаторов: надрудный (Hg)-As-Pb-Zn-Cu и подрудный Ni-Co-Mo-Sn-(W).

Ряд вертикальной геохимической зональности для месторождения Чонкой представляется в таком виде (снизу вверх):

(W)-Sn-Mo-Co-Ni-As₁-Cu-Zn-Pb-(Hg)-As₂.

Двойственное положение мышьяка объясняется, по-видимому, проявлением его концентраций в рудных и надрудных горизонтах месторождения в виде сингенетичных вмещающим породам арсенопирита и мышьяковистого пирита, давших в результате гидротермального метаморфизма свои эпигенетические проявления в надрудной части месторождения, где мышьяк представлен в основном безминеральной формой и редкими вкраплениями реальгара и аурипигмента.

4. Наиболее отчетливо и стабильно зональность проявляется при построении мультипликативных геохимических ореолов (рис.1). Мультипликативные ореолы отмечают практически все крутопадающие рудоносные и разрывные зоны, но не распространяются в подстилающие оруденение сланцы. Протяженность их составляет несколько сотен, иногда до 900-1000 м и более при ширине от нескольких десятков до 100 м. Морфология и строение мультипликативных ореолов зависит от морфогенетических особенностей рудоконтролирующих структур. Определяющее влияние оказывают крутопадающие нарушения, обуславливая линейную форму ореолов и их значительную вертикальную протяженность.

5. Выявленная зональность в строении первичных геохимических ореолов ртутного месторождения Чонкой позволяет произвести оценку эрозийного среза или вскрытой части его рудных зон. Для этого наиболее надежным параметром является коэффициент зональности K_z , который определяется по отношению линейных продуктивностей или отношению произведения средних содержаний надрудных элементов-индикаторов (рис.2, табл.2).

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициентов вертикальной геохимической зональности K_z ртутного оруденения месторождения Чонкой

Ртутно-рудные зоны	Уровень среза зоны	$K_z = \frac{As \cdot Pb \cdot Zn \cdot Cu}{Mn \cdot Co \cdot Mo \cdot Sr}$
А	надрудный	500-6700
Б	"	625-1300
В	"	1000-27000
Г { верхнерудная	рудный	45000
{ нижнерудная	"	100-200
Д	подрудный	1,25-50

Из рис.2 и табл.2 видно, что значения K_z для различных уровней рудоносных зон месторождения Чонкой различны. Особенно контрастны эти значения для подрудных, рудных и наиболее удаленных надрудных зон.

Таким образом, соотношения типоморфных элементов рудоносных зон Чонкой на различных горизонтах отличаются определенной числовой характеристикой, позволяющей определить интервалы вертика-

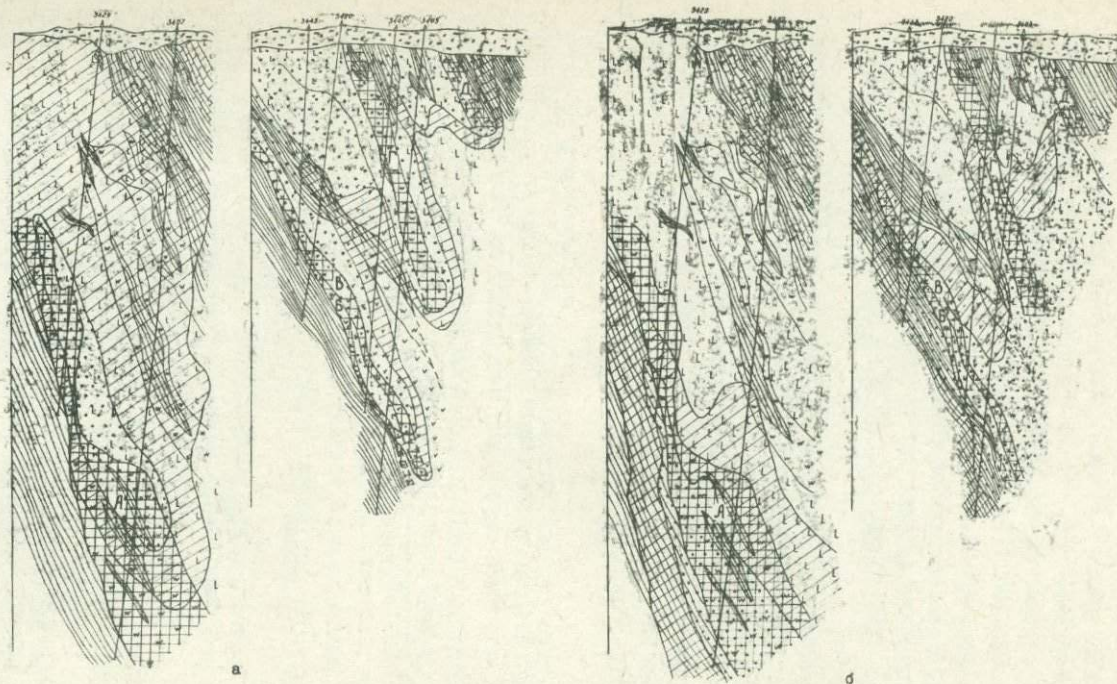


Рис.1. Геологические разрезы месторождения Чонкой с мультипликативными ореолами

а - надрудиты: I - четвертичные отложения; палеозойские отложения; 2 - сланцы углисто-глинисто-кремнистые; 3 - карбонатные породы; 4 - эффузивы; 5 - серпентиниты; 6 - листовиты; 7 - ртутно-рудные зоны; А - главная окисная, Б - третья окисная, В - вторая окисная, Г - первая окисная, Д - северная; 8 - скважина и ее номер; контрастность ореолов: 9 - $1-3 \cdot 10^{-3}\%$, 10 - $< 1 \cdot 10^{-3}\%$; **б - подрудиты:** I-8 - те же; контрастность ореолов: 9 - $0,5-1,5 \cdot 10^{-13}\%$, 10 - $< 0,5 \cdot 10^{-13}\%$.

льного среза рудоносных зон. В практическом аспекте контрастные ореолы мышьяка, свинца, цинка, меди и ртути указывают на вскрытие надрудных частей рудного тела, а никеля, кобальта, молибдена, олова и вольфрама — подрудных (естественно, в обоих случаях надо учитывать возможность проявления сингенетичных ореолов элементов, особенно меди, никеля и кобальта, являющихся типоморфными для рудовмещающих лиственитов и гиперобазитов). Очень высокие значения (десятки тысяч) K_z указывают на верхнерудные и ближайшие надрудные зоны, а низкие (не более 100) — на нижнерудные и подрудные части рудных тел.

Таким образом, пользуясь коэффициентом зональности при отсутствии или плохо выраженной минеральной зональности, можно в ходе поисково-разведочных работ определять принадлежность вскрытой зоны к определенному интервалу вертикального среза месторождения.

Установленные закономерности распределения типоморфных элементов ртутного месторождения Чонкой могут быть использованы для целей прогнозирования скрытого ртутного оруденения и корректировки направления разведочных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беус А.А., Григорян С.В. Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. М., "Наука", 1965.

2. Бочкарев И.И. Геохимические особенности Улугтау-Араванского рудного района. — В кн.: Геология и полезные ископаемые Киргизии. Фрунзе, "Илим", 1974.

3. Овчинников Л.Н., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегających рудных месторождений. Ч. I. Иркутск, 1970.

4. Результаты изучения первичных геохимических ореолов ртутных месторождений. — В кн.: Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Фрунзе, "Илим", 1975. Авт.: К.К. Курманалиев, И.Д. Турдукеев, В.И. Натуриш и др.

5. Федорчук В.П. Промышленные типы ртутных месторождений. — "Советская геология", 1974, № 8.

Т.А.Гаврилов

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ИЗВЕСТНОМ РУДНОМ РАЙОНЕ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

В настоящее время в производственной практике поисков полезных ископаемых применяется большой комплекс методов: геологических, геохимических, геофизических и др. В ряду проблем, связанных с повышением эффективности геолого-поисковых работ, особенно в хорошо освоенных рудных районах, рациональное комплексирование поисковых методов на различных стадиях играет очень важную роль.

Поскольку территория рудных районов Южного Приморья практически полностью покрыта в масштабе 1:50 000 геологическими, металлогическими, шлиховыми и геофизическими съемками, фонд легкооткрываемых месторождений резко сократился. Поэтому со всей остротой встал вопрос о разработке простой, высокопроизводительной и достаточно эффективной методики дополнительного геохимического исследования для выявления пропущенных прежними работами глубокозалегающих и "замаскированных" месторождений.

С начала шестидесятых годов в Приморье начали проводиться гидрогеохимические поиски масштаба 1:50 000 в комплексе с литохимическими поисками по потокам рассеяния. Успешному применению данных методов благоприятствует сильно расчлененный горный рельеф и хорошо развитая гидросеть.

Проведение этого комплекса геохимических работ позволило в пятилетний срок оценить значительные площади (около 3000 км²) и выделить двадцать новых перспективных аномалий. К сожалению, проверка многих аномалий по ряду причин затянулась.

В данной статье на примере участка Встречного Октябрьского рудного района, выявленного гидрогеохимическим методом в комплексе с опробованием донных осадков, рассматривается этапность дополнительных геохимических работ и их результаты.

При гидрогеохимических поисках масштаба 1:50000 расстояние между точками опробования в среднем составляло 500 м, а средняя плотность — 2 точки на 1 км². Поисковое значение имели определения в природных водах следующих компонентов: суммы тяжелых металлов (титриметрический метод); сульфат-иона, гидрокарбонат-иона (турбидиметрический метод); широкого комплекса рудных элементов из концентратов на основе сульфида кадмия (метод ВИТР-ЛТИ); а также величины рН.

Участок Встречный был выделен по ряду гидрогеохимических поисковых признаков. В водах ключей участка были установлены аномальные содержания суммы тяжелых металлов (до 3 мкг/л) и сульфат-иона (4–8 мг/л при фоне менее 2 мг/л), а также водные потоки рассеяния свинца, олова, серебра (0,3–1 мкг/л) и цинка (10–30 мкг/л), превышающие фоновые значения в 3–10 раз.

С комплексной гидрогеохимической аномалией площадью 2 км² хорошо коррелируют данные литохимического опробования русловых отложений. В донных осадках гидросети были выявлены протяженные и достаточно контрастные потоки рассеяния олова, свинца, цинка, меди, в единичных пробах встречены мышьяк и висмут.

На перспективность данной аномалии указывала и благоприятная структурно-тектоническая обстановка, так как участок располагается на северо-восточном продолжении структуры известного Смирновского оловянно-полиметаллического месторождения, в 6 км от последнего.

На участке распространены песчаники и алевролиты нижней-средней кря, прорванные единичными маломощными дайками кварцевых порфиров, диоритовых и андезитовых порфиров, т.е. породы химически неактивные.

В 1972–1974 гг. на участке Встречном с учетом результатов гидрогеохимических поисков на площади 3,9 км² были проведены детализационные работы, включавшие литохимическую съемку по вторичным ореолам масштаба 1:10000, геофизические работы (МПП, ВП, ВП, магнитометрическую съемку) и проходку в небольшом объеме горных выработок¹.

В результате литохимической съемки были получены слабоконтрастные комплексные ореолы рассеяния свинца, олова, серебра, цинка и других элементов. Геофизическими работами был выявлен ряд аномалий, пространственно совпадающих со вторичными ореолами. Уровень эрозияного среза геохимических аномалий определялся как надрудный-верхнерудный, что позволило высоко оценить перспективность участка.

С мая 1975 г. началась стадия поисково-оценочных работ, включавшая проходку в значительных объемах поверхностных горных вы-

¹ Строение вторичных ореолов рассеяния и перспективы участка Малиновое (Приморье). – В кн.: Геохимические методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток, 1975. Авт.: И.М.Съедин, В.К.Фадин, В.А.Головня и др.

работок (расчисток, магистральных канав) через эпицентры аномалий и бурение скважин. В результате этих работ за 5 месяцев была выявлена мощная (400 м) жильная серия, состоящая из 14 жил, из которых 4 характеризовались как перспективные в промышленном отношении.

Расстояние между жилами 30-40 м. Жильные тела состоят из серии облеженных прожилков, линз, сложенных карбонатно-кварцевым агрегатом с вкрапленностью и гнездами пирита, галенита, пирротина, в меньших количествах сфалерита, арсенопирита, халькопирита, реже отмечается касситерит в виде тонкокристаллического агрегата.

Мощность зоны окисления руд обычно не превышает 15-20 м. По падению зоны прослежены на 140-360 м, при этом рудные тела не выклиниваются и характеристики их не ухудшаются.

Из результатов поисково-оценочных работ видно, что объект, несомненно, представляет промышленный интерес. Данное месторождение сульфидно-касситеритовой формации с очень тонкой вкрапленностью касситерита не образует значительных шлиховых ореолов в русловых отложениях гидросети, но дает довольно контрастные потоки рассеяния олова и сопутствующих ему элементов смешанного состава (механические+солевые).

При металлометрической съемке масштаба 1:50000, проведенной в 1958г., месторождение было пропущено по двум причинам. Во-первых, опробовался верхний слой рыхлых делювиальных отложений (глубина отбора проб составляла 15-20 см), который в условиях гумидного климата значительно обеднен элементами из-за процессов выщелачивания. Во-вторых, из-за низкой чувствительности полуквантитативного спектрального анализа на олово, свинец, серебро и другие элементы были пропущены слабоконтрастные вторичные ореолы, характерные для данного месторождения.

Повторение сплошной литохимической съемки масштаба 1:50000 требует слишком больших затрат времени, средств и, в свете приведенного нами примера, по-видимому, не вызывается необходимостью.

Приведенный пример также показывает, что при поисках масштаба 1:200000 - 1:50000, целью которых является выделение перспективных участков (рудного поля, месторождения), особенно в районах с расчлененным рельефом и развитой гидросетью, предпочтение должно отдаваться гидрогеохимическим методам в компи-

лекс с литохимическими поисками по потокам рассеяния.

Перспективные участки, выявленные таким комплексом работ, должны далее детализироваться литохимической съемкой по вторичным ореолам рассеяния и методами разведочной геофизики масштаба 1:10000 - 1:5000.

После выявления и оконтуривания ореолов рассеяния и локальных геофизических аномалий необходимо переходить к детальным поискам с целью вскрытия рудных выходов, а в случае глубоководных рудных тел - первичных ореолов.

Такая последовательность работ обеспечивает выявление всех месторождений, находящихся то или иное отражение в современной гидросети, в наиболее сжатые сроки и с минимальными затратами.

Н.И.Разенкова, И.Ф.Мясников,
Ю.С.Самойлова, Т.В.Филиппова

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ ВО ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛАХ КРИЧКОВСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Рудный Алтай)

Поиски глубокопогребенных месторождений требуют применения различных методов исследований, среди которых наиболее эффективными являются геохимические. Успешное использование последних основано, в частности, на знании форм нахождения элементов-индикаторов оруденения в ореолах рассеяния. В настоящее время имеются работы, посвященные изучению минеральных форм в продуктах разрушения рудных тел месторождений Рудного Алтая, выходящих на современный эрозионный срез (1,6,8, и др.). Погребенные месторождения в этом отношении изучены недостаточно.

Кричковское месторождение находится в пределах Золотушинского рудного района Рудного Алтая и приурочено к зоне степных ландшафтов с мелкохолмистым рельефом.

В геологическом строении месторождения (3) принимают участие нижнепалеозойские метаморфические сланцы, среднедевонские вулканогенно-осадочные породы и интрузивные образования. Палеозойские породы перекрыты рыхлыми отложениями мощностью 10-100 м. Руд-

ные тела приурочены к контакту осадочных пород (алевролитов, песчаников) шипуновской свиты и эффузивов кислого состава (дак и туфов) давидовской свиты среднего девона. Основные запасы месторождения сконцентрированы в двух рудных телах — Южном и Северном, имеющих юго-западное падение под углом $15-20^{\circ}$ и северо-западное простирание.

По минеральному составу и структурно-текстурным особенностям выделяются следующие типы руд: 1) окисленные массивные и вкрапленные, 2) окисленные вторичные, 3) неокисленные массивные и прожилково-вкрапленные. Зона окисления развита до глубины 75 м от современной поверхности. В окисленных рудах в количественном отношении преобладает свинец, во вторичных — медь, а в неокисленных — цинк.

Геохимическим опробованием установлено, что в рудах описываемого месторождения, кроме свинца, цинка и меди, в повышенных по сравнению с вмещающими породами количествах содержатся серебро, мышьяк, сурьма, барий, молибден, ртуть, висмут, таллий и кадмий. Содержания этих элементов по мере удаления от рудных тел закономерно уменьшаются, и вокруг рудных тел отчетливо фиксируются их первичные ореолы (5). Полную вертикальную протяженность, а также ширину ореолов установить не удалось, т.к. имеющиеся скважины не вышли за пределы ореолов большинства элементов (рис. I).

По палеозойским породам развита кора выветривания мед-палеогенового возраста, а по сульфидным рудам — образования зоны окисления. Верхняя часть коры выветривания частично смыта и перестроена. Выше залегают кирпично-красные глины павлодарской свиты с бурым железистым пигментом и с железо-марганцевыми конкрециями. Мощность их 10–30 м. Глины перекрыты нерасчлененными нижне-среднечетвертичными суглинками, песками и глинами мощностью 10–12 м. В целом современная и древняя поверхность наклонена в юго-западном направлении под углом $5-7^{\circ}$. В этом же направлении происходит движение грунтовых и трещинных вод.

Спектральным анализом в образованиях коры выветривания в аномальных концентрациях установлены те же элементы, что и в окисленных рудах, а в перекрывающих рыхлых отложениях — медь, свинец, цинк, серебро, таллий, мышьяк, сурьма и ртуть. На современной поверхности фиксируются ореолы серебра, свинца, мышьяка, сурьмы и ртути.

Таким образом, на Крючковском месторождении геохимическим опробованием выявлены первичные, вторичные остаточные и наложен-

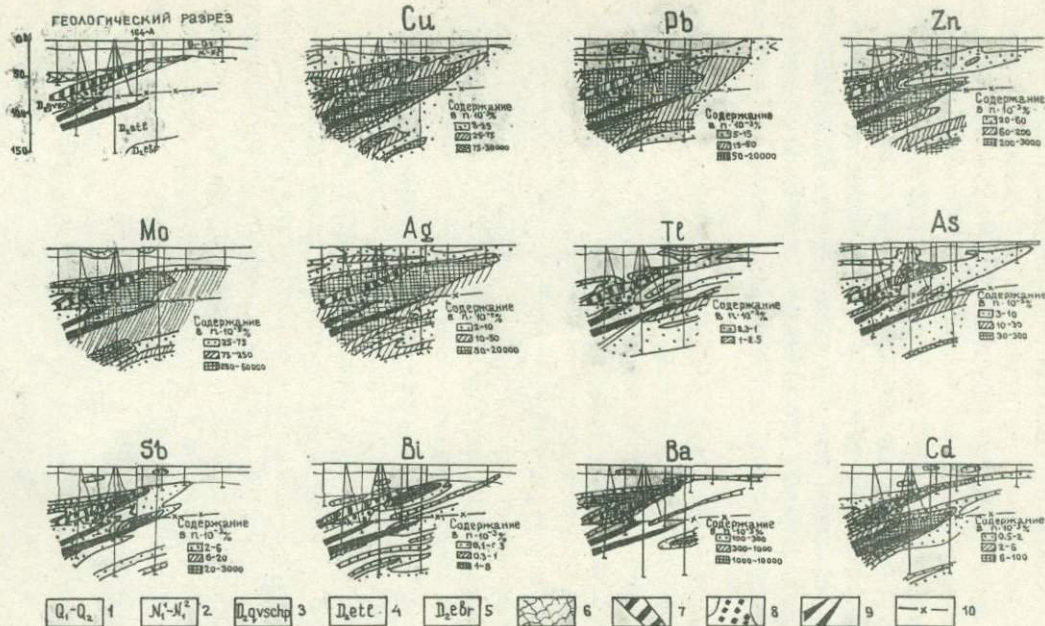


Рис.1. Результаты геохимического опробования по разведочной линии У1^а на Кречковском полиметаллическом месторождении

1 - нижне-среднечетвертичные отложения; 2 - павлодарская свита; 4 - таловская свита; 5 - березовская свита; 6 - древняя кора выветривания мед-палеогенового возраста; 7 - окисленные полиметаллические руды; 8 - вторичные медные руды; 9 - сульфидные руды; 10 - древний уровень грунтовых вод

ные ореолы ряда элементов-индикаторов полиметаллического оруденения.

Формы нахождения основных элементов в ореолах изучались по скв. 164-А, вскрывшей как зону окисления, так и вторичные окисленные руды. Определялись формы нахождения свинца, меди, цинка, серебра и молибдена в первичном ореоле, рудном теле и во вторичных остаточных и наложенных ореолах рассеяния (рис. 2). Для выяснения форм нахождения основных элементов-индикаторов и их спутников во вторичных ореолах Кривцовского полиметаллического месторождения нами использовался фазовый химический анализ, который осуществлялся по известным химическим методикам (1, 4, 7), приспособленным Л. В. Антроповой (2) и нами для микросодержаний элементов в ореольных пробах. Валовое содержание их в изученных пробах приведено в таблице.

Результаты химического анализа проб
Кривцовского месторождения

Номер пробы	Характеристика материала	Содержание элемента, %				
		Pb	Cu	Zn	Mo	Ag
II530	Темные карбонатизированные глины	0,324	0,049	0,061	0,006	0,0031
II531	Каолинит с обломками кварцитов	0,206	0,047	0,064	0,006	0,0041
II533	Каолинит интенсивно обокисленный (зона окисления)	3,830	0,132	0,070	0,031	0,0250
II534	То же	0,239	0,085	0,082	0,015	0,0020
II535	"	0,397	0,310	0,113	0,030	0,0332
0501	Вторичная окисленная руда	0,650	21,31	0,055	0,0311	0,0025
0502	Вторичный кварцит	0,109	0,830	0,039	0,0055	0,0035
0503	То же	0,232	0,064	0,019	0,0036	0,0027
0505	"	0,263	0,035	0,028	0,0045	0,0033

Приведенные данные показывают, что в окисленных рудах резко преобладает медь, а в коре выветривания - свинец, серебро и молибден. Распределение цинка по всему разрезу почти равномерное; в породах лежащего бока содержание его несколько уменьшается, достигая фоновых значений (проба 0503).

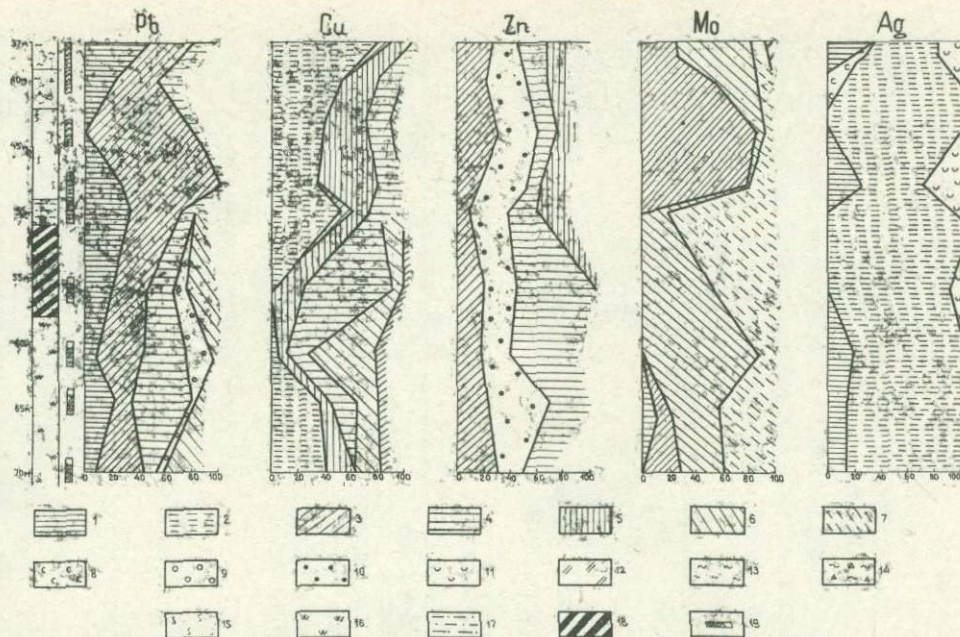


Рис.2. Распределение форм нахождения химических элементов по скв. I64-A

I - сульфидная; 2 - вторичная сульфидная; 3 - сложная окисленная; 4 - карбонатная; 5 - силикатная; 6 - окисная; 7 - ферриформа; 8 - металлическая; 9 - сульфатная; 10 - ванадатная; 11 - хлоридная; 12 - водорастворимая; 13 - глины павлодарской свиты; 14 - перестроенная кора выветривания; 15 - остаточная кора выветривания; 16 - кварц-серицитовые породы и вторичные кварциты; 17 - алевролиты шицуновской свиты; 18 - рудное тело; 19 - интервал опробования и номер пробы

Отмеченная приуроченность максимальных концентраций свинца и серебра к коре выветривания, видимо, свидетельствует о первоначальном положении рудного тела, а современная существенно медная промышленная руда является вторичной, перестроенной с верхних горизонтов в нижние (зона вторичного сульфидного обогащения пологопадающего рудного тела).

В процессе изучения форм нахождения элементов установлено следующее.

С в и н е ц. Выявлен довольно широкий спектр форм нахождения свинца в изученных пробах. Галенит развит по всему разрезу в количествах, не превышающих 36% общего содержания свинца; лишь в глинах павлодарской свиты эта величина достигает 47%. В том интервале верхней части коры выветривания, где содержание свинца максимальное, сульфидная его форма не отмечена. Объединенные количества сложных окисленных соединений свинца и форм, связанных с окислами и гидроокислами железа (плимбоярозит, плимбоярозит-биверит, плимбоярозит-брошантит, а также соосажденные с ними), в нижней части разреза составляют примерно 30%, а в коре выветривания и перекрывающих глинах являются основной формой (39-84%). Карбонаты (церуссит), сульфаты (англезит) и окисные формы (коронадит) характерны для вторичных окисленных руд и вмещающих пород, в верхней части разреза количество карбонатов незначительно (до 17,7%).

Таким образом, довольно четко устанавливается преимущественная распространенность сложных окисленных и связанных с гидроокислами железа форм и, частично, сульфидов в образованиях коры выветривания и перекрывающих глинах, а остальных — во вторичных окисленных рудах и подвергнутых сульфатному выветриванию коренных породах.

М е д ь. Наиболее распространенными формами являются вторичные сульфиды и самородная медь, карбонаты, силикаты и окислы. Первая форма встречается как в коре выветривания и перекрывающих глинах (основная форма, ее количество достигает 81%), так и во вмещающих коренных породах (до 41%); во вторичных окисленных рудах она не обнаружена. Карбонаты (малахит, азурит) и силикаты (хризоколла) образуют вторичные окисленные руды, хотя они характерны и для верхних, и для нижних горизонтов. Окисная форма (куприт) выделена лишь во вторичных рудах и ниже их.

Таким образом, отмечается наиболее широкое развитие вторич-

ных сульфидов, самородной меди, силикатов и, в меньшей степени, карбонатов в образованиях коры выветривания и перекрывающих глинах. Карбонаты, окислы, силикаты развиты во вторичных окисленных рудах; вторичные сульфиды, окислы и, в меньшей степени, карбонаты и силикаты — в нижних горизонтах. Первичные сульфиды и водорастворимые формы меди не установлены совсем.

Ц и н к . Минеральные формы цинка сравнительно немногочисленны. По всему разрезу выявлены окисная форма, ванадатная (декдуазит), цинк, связанный с окислами и гидроокислами железа (на графике нанесена как сложная окисленная форма), карбонаты и окислы (перуссит и цинкит). Силикат-арсенатная форма (каламин-адамин) установлена лишь в образованиях коры выветривания и перекрывающих их глинах. Следует отметить, что во вторичных рудах и в коренных породах относительно часто встречаются окисная и карбонатная формы (до 62,5%), а выше — силикат-арсенатная (до 21,4% при почти полном отсутствии в низах изученного разреза).

М о л и б д е н . Наиболее распространенными формами молибдена являются связанная с окислами и гидроокислами железа, повеллит-вульфенитовая и ферримолибдитовая. Молибденит встречается лишь в кварц-серицитовых породах в незначительных количествах (до 10%). Водорастворимые соединения отмечены лишь в перекрывающих глинах (до 3%). В образованиях коры выветривания и в аллохтонных глинах широко распространен молибден, связанный с окислами и гидроокислами железа (28,4–87,9%), а ниже эта форма практически отсутствует или отмечается в слабо измененных кварц-серицитовых породах (до 29%). Повеллит-вульфенитовая форма характерна для вторичных окисленных руд, кварц-серицитовых пород (до 87,8%) и павлодарских глин. Ферримолибдит широко развит во вторичных окисленных рудах и вмещающих коренных породах (до 66%) и лишь незначительно в образованиях коры выветривания и перекрывающих их глинах.

С е р е б р о . Самая распространенная форма его — сульфидная. Содержание элемента в ней по всему изученному разрезу — от 46 до 96,6% общего количества. Лишь в верхней части коры выветривания (максимальные концентрации его приурочены именно к этому горизонту) и в перекрывающих павлодарских глинах его относительное количество уменьшается, здесь появляются самородное серебро, хлориды (кераргирит) и, возможно, сульфосоли и блеклые руды (они принятой методикой фазового анализа не отмечаются и вычислены как ра-

зность между общим количеством и выделенными формами). Сульфиды серебра следует рассматривать как вторичные из-за их распространения как в рудах и вмещающих породах, так и в более молодых перекрывающих глинах павлодарской свиты. Попадание в перекрывающие отложения первичных сульфидов из-за их аллохтонного характера практически исключается.

Таким образом, отмечается исключительно бедный спектр минеральных форм серебра по всему изученному разрезу, лишь в верхней части он несколько обогащается.

В целом в распределении минеральных форм свинца, меди, цинка, молибдена и серебра в изученном разрезе отмечаются следующие общие закономерности.

В кварц-серицитовых породах в лежачем боку рудной зоны в незначительном количестве сохранились первичные сульфиды свинца и, возможно, серебра. Наибольшее распространение здесь получили вторичные сульфиды меди и серебра, карбонаты меди, свинца и цинка, ванадаты цинка, вульфенит и повеллит, ферримолибдит, реже окиси свинца и меди, сульфаты свинца, силикаты меди.

Во вторичных существенно медных рудах больше всего развиты карбонаты свинца, меди и цинка, силикаты меди, ферримолибдит, вторичные сульфаты серебра и сложные окисные и связанные с гидроокислами железа свинец и цинк.

В образованиях коры выветривания (остаточный вторичный ореол рассеяния) отмечается существенное преобладание свинца и молибдена, связанного с гидроокислами железа, довольно широко развиты вторичные сульфиды серебра и меди, сульфиды и сульфосоли свинца и серебра, силикаты меди, хлориды серебра и — очень незначительно — карбонаты свинца, меди и цинка.

В глинах павлодарской свиты (наложенные вторичные ореолы рассеяния) в отличие от вышеописанного интервала выявлено относительное увеличение вторичных сульфидов меди, вульфенита и повеллита и отмечено появление самородного серебра. Количество сульфидов свинца и серебра также увеличивается.

Минералогическим анализом установлены почти все названные минеральные формы (без установления их относительного распространения), что свидетельствует о хорошо увязывающихся результатах фазового химического анализа и минералого-геохимических исследований.

Многообразие минеральных форм ряда элементов-индикаторов в

ореолах Крючковского месторождения, по-видимому, связано с длительной историей формирования и сложным строением рыхлых образований. Как в остаточных, так и в наложенных вторичных ореолах рассеяния установлены одни и те же минеральные формы, но их соотношения меняются при переходе "окисленные руды - остаточные ореолы". Преобладающей является солевая составляющая ореолов при практическом отсутствии легкоподвижных форм в ней.

Полученные данные свидетельствуют о том, что при поисках глубокопогребенных месторождений Рудного Алтая наиболее перспективны физико-химические методы анализов, позволяющие определять прочно связанные соединения свинца, меди, цинка, молибдена, серебра и других элементов, а не методы, основанные на изучении легкоизвлекаемых форм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов С.М., Запевалов Г.Г. Рациональный анализ свинцовых соединений в свинцовых окисленных рудах. - "Цветные металлы", 1934, № 10.
2. Антропова Л.В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. "Недра", 1975.
3. Дмитриев В.П. Крючковское месторождение полиметаллических руд на Алтае. Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири. Томск, изд-во ТГУ, 1967.
4. Мерлина Ф.Е., Будникова Н.В. Фазовый химический анализ медных минералов в присутствии сульфидных. - "Обогащение руд", 1965, № 4 (58), (Механообр. Научно-технич. информ. бюл.).
5. Мясников И.Ф. Вторичные ореолы рассеяния погребенных полиметаллических месторождений Рудного Алтая. - В кн.: Геохимические методы прогнозирования и разведки рудных месторождений, 1975.
6. Распределение и формы нахождения меди, свинца и цинка в ореолах рассеяния сульфидных месторождений Западного Алтая. - В кн.: Геология и геохимия рудных месторождений Сибири. 1965. Авт.: Н.А. Росляков, Б.А. Воротников, Л.К. Павлова и др.
7. Тимебулатова М.И., Антипина А.А. Метод определения форм вхождения серебра в руды Зыряновского месторождения. - "Изв. АН КазССР. Сер. геол.", 1971, № 2.
8. Цыкунова Н.А., Ульянов Н.К. Формы нахождения металлов в элювиально-делювиальных образованиях на некоторых рудных месторождениях Центрального Казахстана. (Информ. сборник). ВСЕГЕИ, 1961.

**ОБНАРУЖЕНИЕ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ РУДНЫХ ТЕЛ
В ПРЕДЕЛАХ КАФАНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
ПО ДАННЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ**

Кафанское рудное поле расположено в пределах одноименного рудного района Малого Кавказа. Оно сложено вулканогенно-осадочными породами всех трех отделов вры, образующих брахиантиклинальную складку общекавказского простирания. Промышленное медноколчеданное и полиметаллическое оруденение локализовано в породах средней вры, представленных в основном плагиоклазовыми, кварц-плагиоклазовыми и кварцевыми порфиритами, их туфами и туфобрекчиями. Рудные тела, представленные жилами и штоковерковыми зонами преимущественно близширотного простирания, четко контролируются дорудными разрывными нарушениями северо-восточного и северо-западного простирания. Широким развитием здесь пользуются слепые рудные тела (I).

Рудное поле находится в пределах аридной зоны лесных ландшафтов с хорошо расчлененным горным рельефом, где интенсивно протекают процессы глубинной речной эрозии и денудации. Механическая миграция резко преобладает над физико-химическим изменением горных пород и рудных минералов, что подтверждается практическим отсутствием зоны окисления, слабокислой, близкой к нейтральной, реакцией грунтовых вод, низким содержанием рудных элементов в них и сравнительно небольшими значениями коэффициентов их водной миграции (табл. I).

Эндогенные надрудные ореолы большинства слепых рудных тел обнажены на дневной поверхности, что приводит к образованию вторичных ореолов рассеяния в зоне гипергенеза. Постоянным интенсивным обновлением верхних горизонтов рыхлых новообразований обусловлено развитие здесь открытых вторичных ореолов и потоков рассеяния нормальной интенсивности.

В 1961-1964 гг. в пределах рудного поля были проведены геохимические поиски путем изучения эндогенных и вторичных ореолов, а также потоков рассеяния. Изучение эндогенных ореолов проводилось в пределах центральной, а также северо-восточной части (на участке Бадаларт) рудного поля. Для отбора проб из рудовмещающих пород на поверхности брались 5-10 штучков с площади 2 x 2 км с расстоянием между пробами 10-20 м. В горных выработках пробы весом

150-200 г отбирались методом пунктирной борозды (5-10 кусков) через 5 м.

Вторичные ореолы рассеяния изучались в северной части рудного поля на площади 15 км², где промышленные рудные тела к этому времени не были известны. При изучении соблюдалась равномерная сеть опробования с расстоянием между профилями 100 м и шагом опробования по профилю 20 м. В пробу отбиралась мелкая фракция рыхлых новообразований с глубины 5-10 см. Изучение потоков рассеяния проводилось в северо-западной части рудного поля, на площади, где к моменту проведения наших исследований горно-буровые работы не были начаты. Опробовалась мелкая фракция донных отложений рек. Расстояние между пробами составляло 100 м.

Наличие разветвленной сети горных выработок, подсекающих рудные тела на различных уровнях в центральной части рудного поля, позволило выявить закономерности локализации эндогенных ореолов и проследить их зональность по вертикали. Учитывая блоковое строение рудного поля и возможную изолированность друг от друга отдельных тектонических блоков при рудообразовании, зональность эндогенных ореолов была изучена раздельно по каждому крупному тектоническому блоку (табл. 2).

В целом зональность эндогенных ореолов выражается увеличением относительной роли свинца, серебра, молибдена и мышьяка на уровнях верхних горизонтов рудных тел.

Путем изучения геохимических особенностей пород зон разломов установлено, что на участках локализации слепых рудных тел в породах этих зон проявляются отчетливые геохимические аномалии меди, цинка, свинца, серебра, молибдена, мышьяка, ртути, кобальта (3). Качественный состав этих аномалий зависит от глубины залегания и минерального состава рудных тел.

Изучение вторичных ореолов рассеяния на сравнительно большой площади, различные участки которой отличаются друг от друга глубиной эрозионного вскрытия, позволило выявить их горизонтальную зональность. Поскольку горизонтальная зональность минерализации на месторождениях, связанных с субвулканическими и гипабиссальными телами, является результатом различной эродированности месторождений в разных их участках, то своеобразная горизонтальная зональность этих месторождений является "горизонтальным отражением вертикальной рудной зональности" (2).

Юго-восточная часть площади, в пределах которой проводилось

Таблица 1

Коэффициенты водной миграции меди, свинца и серебра в трещинно-грунтовых водах
различных литолого-петрографических комплексов рудного поля

Породы	Число проб	Сухой остаток, мг/л	pH	Содержание в воде, мг/л			Содержание в породах, $10^{-3}\%$			Коэффициент водной миграции		
				Cu	Pb	Ag	Cu	Pb	Ag	Cu	Pb	Ag
Эпидотизированные платиноклазовые и авгитовые порфириды, J_1 (?)	6	602	6,4	1,64	8	4	14,6	1,1	0,3	1,9	1,2	2,2
Платиноклазовые и кварц-платиноклазовые порфириды, J_2	8	473	6,6	0,12	7	2,4	2,1	1,65	0,5	1,2	0,09	1
Кварцевые порфириды, J_2	18	862	6,6	0,21	3	4	2,1	2,4	0,6	1,17	0,15	0,8
Туфопесчаники и туфоконгломераты верхней осадочной серии, J_2	8	505	6,6	0,2	2	3	2,1	1,3	0,3	1,9	0,3	2
Туфоконгломераты, J_3	26	265	6,7	0,05	1,5	1,6	1,4	1,0	-	1,35	0,57	-
Среднее взвешенное										1,39	0,42	1,29

Таблица 2

Отношение количества элементов на различных горизонтах эндогенных ореолов

Рудное тело	Горизонт, относительная отметка, м	Zn/Cu	Pb/Cu	Ag/Cu	Mo/Cu	As/Cu	Mo/As
Прожилково-вкрапленная зона халькопирит-пиритового состава	308	$177 \cdot 10^{-3}$	$26 \cdot 10^{-4}$	$36 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-5}$	-	-
	258	$51 \cdot 10^{-3}$	$11 \cdot 10^{-4}$	$16 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-5}$	-	-
	177	$49 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-5}$	-	-
Прожилково-вкрапленная зона борнит-халькозин-энергитового состава	200	$338 \cdot 10^{-2}$	$246 \cdot 10^{-3}$	$94 \cdot 10^{-4}$	$116 \cdot 10^{-4}$	$1420 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
	173	$106 \cdot 10^{-2}$	$52 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-4}$	$64 \cdot 10^{-4}$	$689 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$
	75	$44 \cdot 10^{-2}$	$39 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$70 \cdot 10^{-4}$	$345 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$
	26	$204 \cdot 10^{-2}$	$26 \cdot 10^{-3}$	-	$6 \cdot 10^{-4}$	$29 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$
Жильные тела халькопиритового состава	200	$220 \cdot 10^{-3}$	$181 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$376 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
	173	$176 \cdot 10^{-3}$	$400 \cdot 10^{-3}$	$105 \cdot 10^{-4}$	$47 \cdot 10^{-3}$	$3500 \cdot 10^{-3}$	-
	75	$76 \cdot 10^{-3}$	$19 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	-	$46 \cdot 10^{-3}$	-
	26	$644 \cdot 10^{-3}$	$220 \cdot 10^{-3}$	-	$4 \cdot 10^{-3}$	$254 \cdot 10^{-3}$	-
	0	$249 \cdot 10^{-3}$	$448 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-

изучение вторичных ореолов рассеяния, значительно глубже вскрыта эрозией, чем северо-западная. Это приводит к тому, что вторичные ореолы в различных частях изученной площади образуются за счет различных зон первичных ореолов рудных тел.

В связи с этим удалось, учитывая однозначно интерпретируемые геологические критерии, выделить участки с различным положением современного эрозионного среза с характерными для них количественными ассоциациями элементов во вторичных ореолах рассеяния. Намечены три типа площадей:

1) с наиболее глубоким (на изученной территории) современным эрозионным срезом, проявленным широким развитием пород нижних горизонтов средней вры, а именно плагиоклазовых порфиров;

2) среднего эрозионного среза; здесь распространены кварц-плагиоклазовые порфиры средней вры;

3) наиболее высокого эрозионного среза с широким развитием пород верхних горизонтов средней вры (туфопесчаники и туфоконгломераты).

Горизонтальная зональность вторичных ореолов рассеяния проявилась в том, что по направлению от участков более глубокого к участкам более высокого эрозионного среза отношения цинка, серебра и молибдена к меди возрастают в несколько раз, иногда на целый порядок (табл.3). Отношение свинца к меди достигает максимального значения на участках среднего эрозионного среза, а вторичные ореолы рассеяния мышьяка выявлены только на участках с высоким эрозионным срезом.

Интерпретация результатов геохимических поисков проводилась с учетом комплекса геолого-структурных, литолого-петрографических, стратиграфических, геоморфологических факторов, а также выявленных закономерностей вертикальной зональности эндогенных и горизонтальной зональности вторичных ореолов рассеяния. Учитывались также результаты геофизических работ методом вызванной поляризации.

В качестве наиболее перспективного был выделен участок Бадаларт с указанием точек заложения скважин для подсечения слепых рудных тел. На этом участке было прогнозировано на глубине не более 100-150 м медноколчеданное жильное оруденение с преобладанием халькопирита над пиритом. Морфологический тип рудного тела был предсказан, исходя из морфологии вторичных ореолов рассеяния, литолого-петрографического состава и характера тектонической трещиноватости пород.

Т а б л и ц а 3

Зональность вторичных ореолов рассеяния

Относительная глубина эрозионного среза и название участка	Соотношение количества элементов (продуктивности ореолов)			
	Zn/Cu	Pb/Cu	Ag/Cu	Mo/Cu
Высший срез; участок Охтар	6,9	0,0624	0,00164	0,0344
Средний срез; участки Норашеник и Бадаларт	3,23	0,384	0,00093	0,0118
Глубокий срез; участок Хлатах	2,68	0,222	0,000405	0,000328

Наличие аномалий ртути в породах зоны Башкентского разлома (который является рудоконтролирующим в центральной части рудного поля), пересекающего участок, было интерпретировано как указание на относительно низкотемпературное оруденение, т.е. возможное преобладание в рудах халькопирита над пиритом. Отсутствие же здесь аномалий мышьяка в породах зоны рудоконтролирующего разлома было рассмотрено как фактор, указывающий на относительно небольшую глубину залегания рудного тела (не более 100–150 м), так как ореолы мышьяка проявляются в этих зонах в случае залегания рудных тел на глубине 200–250 м от дневной поверхности. При этом ореолы других элементов (меди, свинца, цинка и т.д.) занимают вполне определенное положение относительно ореолов мышьяка.

Контрастность и показатели зональности ореолов также свидетельствуют о возможности наличия на этом участке слепого колчеданного оруденения. Для уточнения мест заложения первых скважин несколькими профилями были изучены также эндогенные ореолы участка, проявленные на дневной поверхности.

Первые буровые скважины (1964 г) подтвердили наши рекомендации. На глубине 60 м была вскрыта халькопиритовая жила мощностью I, I м (скв. 593). Другая скважина (655) на глубине 70,5 м обнаружила прожилково-вкрапленные руды мощностью 3,8 м со средним содержанием меди I, 25%.

На другом участке (Норашеник) было прогнозировано наличие на глубине 100–150 м штокверковой зоны пирит-халькопиритового состава с возможным преобладанием пирита над халькопиритом. Скважина 656, пробуренная на этом участке в 1964 г, на глубине 132,5 м обнаружила непромышленную пирит-халькопиритовую минерализацию.

Достаточно высокая точность прогнозирования местонахождения, глубины залегания и минерального состава рудных тел стала возможной благодаря совместной интерпретации данных геологических, геохимических и геофизических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванишпин С.С., Лейс Ю.А., Малхасян Э.Г. Кафанское медное месторождение. Ереван, 1957.

2. Козеренко В.Н. О первичной горизонтальной зональности эндогенных месторождений. — В кн.: Проблемы постмагматического рудообразования. Прага, 1963.

3. Оганесян Л.В., Лейс Ю.А. К геохимии пород зон разломов Кафанского рудного поля. — Бюллетень НТИ, ГТК СССР, 1965, № 63.

Н.П. Чибисов, И.И. Силин, Т.И. Нюппенен,
И.Н. Крипук, И.С. Бортников

ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ЖИЛ ЯКУТИИ

Математический аппарат, используемый при геохимических поисках месторождений по вторичным литохимическим ореолам рассеяния, основан на представлениях об остаточных механических или наложенных солевых ореолах крутопадающих (вертикальных) рудных жил в условиях пологого рельефа (4). График распределения концентраций элементов в рыхлых образованиях вкост простирания такого рудного тела в общем виде имеет вид симметричной кривой с максимумом над рудным телом. В разрезе вторичный ореол имеет форму веера, основание которого расположено в коренном источнике. Количество металла в ореоле коррелируется с запасами его в рудном теле через коэффициент пропорциональности. Согласно описанной модели, на плоских водоразделах эпицентры вторичных ореолов фиксируют выходы руд под элюво-делювием. Такой подход к интерпретации вторичных ореолов привел в Якутии к открытию золотого, сурьмяного и золото-сурьмяного рудопроявлений.

Однако литохимические съемки и детальные исследования на территории с широким развитием гипергенного изменения руд в условиях прерывистого распространения многолетней мерзлоты позво-

лили установить существенно иные особенности строения вторичных ореолов рассеяния, которые не позволяют использовать для интерпретации результатов опробования обычный математический аппарат.

Район исследований располагается в Якутии. В его разрезе выделяются два структурных этажа, из которых нижний сложен дислоцированными кристаллическими породами архея, а верхний, мощностью не более 250 м, — горизонтально залегающими карбонатными образованиями нижнего кембрия. Широко распространены в виде лакколлитов, даек и пластовых интрузий различные по составу щелочные магматические породы мезозойского возраста.

В результате перемещения отдельных блоков в верхнем структурном этаже сформировались крутопадающие трещины и межпластовые срывы, вместившие золоторудные тела. По минеральному составу руды относятся к умеренно сульфидной формации (2). Главные гипогенные минералы — кварц, анкерит, пирит, гематит, халькопирит, кальцит; второстепенные — галенит, сфалерит, пирротин; редкие — тремолит, адуляр, доломит, молибденит. Протяженность и мощность рудных тел варьирует в самых широких пределах.

Зона окисления первичных руд прослеживается на глубину, превышающую 80 м. Степень окисления неравномерная: участки окисленных и первичных руд зачастую соприкасаются. При окислении происходит интенсивный вынос элементов, ряд гипергенной подвижности которых следующий¹: Ni (0,25) — Bi , Co (0,4) — Ti , Au , Zn , Cu (0,5) — Mn (0,6) — As , Pb (0,7) — W , Ag , V , Mo (0,9).

Многолетняя мерзлота сохранилась на отдельных участках речных долин, на склонах и площадях, занятых куполовидными выходами интрузий. На территории района развиты дерново-карбонатные почвы сравнительно небольшой мощности (менее 1 м), обладающие нейтральной реакцией ($pH=6,5-8,0$). Содержание гумуса в них достигает 15%, в верхней части они обогащены фосфором, серой, марганцем, кобальтом. На глубинах до 0,5 м в почвах встречаются обломки карбонатных пород, иногда отмечаются суглинистые горизонты с реликтовой структурой тех же пород. Кора выветривания относится к кальциевому типу, грунтовые воды гидрокарбонатно-кальциевые. Низкие

¹ Коэффициенты, заключенные в скобки, рассчитывались как отношения количеств элементов в окисленных плотных рудах к количествам таковых в первичных рудах одного и того же рудного тела.

температуры вод определяют значительные концентрации свободной углекислоты и ненасыщенность CaCO_3 .

Литохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния проводилось в различное время и с разной плотностью (от 100×40 до 50×10 м) на участках окисленных и полукислых с поверхности рудных жил. По результатам опробования установлено, что вторичные ореолы меди, свинца, цинка, серебра, золота неоднозначно и нечетко фиксируют известные рудные тела. Аномальные концентрации элементов-индикаторов обнаруживаются лишь над отдельными интервалами жил в виде изолированных пятен или образуют изометричные в плане ореолы с участками низких концентраций непосредственно над жилой. Пространственное совпадение ореолов золота и других элементов, характерных для руд, отмечается довольно редко.

При детальном опробовании картина рассеяния элементов-индикаторов над окисленными жилами становится более однозначной. Вторичные ореолы произведений концентрации меди, свинца и серебра (мультипликативные ореолы) над рудным телом имеют грубо симметричное строение, при этом осью симметрии служит линия выхода рудного тела на поверхность (рис. I, а). Вдоль оси устойчиво фик-

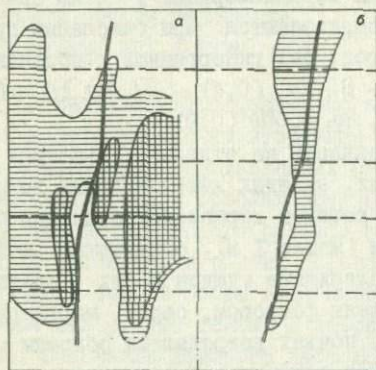


Рис. I. Мультипликативные вторичные ореолы произведения концентраций меди, свинца и серебра (а) и частного от деления произведения концентраций молибдена, ванадия, серебра на произведение концентраций меди, кобальта, никеля (б) над окисленной сульфидной жилой

□ - карбонатные породы; 2 - рудное тело; 3 - профили литохимического опробования; 4 - среднеаномальные значения произведений концентраций и частного ($C.E^2$); 5 - максимально-аномальные значения произведения концентраций ($C.E^3$)

сируется сниженная интенсивность ореола. Параллельное опробование более глубоких горизонтов рыхлых образований (0,8-1,2 м) по-

казало подобное распределение аномальных количеств металлов. Вместе с тем, распространение отношений произведения концентраций элементов, устойчивых в зоне окисления (молибден, ванадий, серебро — см. выше), к таковому элементов, подвижных в ней (медь, кобальт, никель), указывает на наличие локальной аномальной зоны, вытянутой в направлении простираения рудной жилы и совпадающей с ней в плане (рис. 1, б).

Детальное послойное опробование почв и рыхлых образований вкрест простираения рудной жилы подтверждает объективность необычной морфологии ее вторичного ореола. Мощность рудного тела на участке опробования не превышает 1 м; на отдельных интервалах жила сопровождается дайкой сиенит-порфиров. Характерна интенсивная трещиноватость боковых пород, которая обусловлена пострудными подвижками. Первичных сульфидов в рудах нет, рудная зона заполнена рыхлым кварц-анкерит-лимонитовым материалом. Интенсивное окисление руд обусловило бурую окраску околорудных известняков, а также их частичное разложение, что в свою очередь существенно (в 2 раза) увеличило почвенно-грунтовый покров над рудным выходом.

Опробование рыхлых образований показало, что непосредственно над рудным телом фиксируется область пониженных содержаний элементов-индикаторов. Их максимальные и средние концентрации распространены в виде грубо симметричных "крыльев" шириной до двадцати и более метров; подобным образом, но более отчетливо распределены суммы концентраций металлов (рис. 2).

Схема формирования установленных вторичных ореолов представляется следующей.

Рудоотложение в крутопадающих открытых трещинах скола и зонах трещиноватости сопровождалось образованием околорудных первичных ореолов — зон измененных известняков и доломитов с вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией и аномально-высокими содержаниями золота и его спутников.

Существование выровненного рельефа и теплого влажного климата в миоцен-раннеплейстоценовое время способствовало интенсивному окислению золото-сульфидных руд, локализованных в верхней части осадочного чехла, формированию коры выветривания карбонатных пород (3). Окисление сопровождалось активной дезинтеграцией околорудных пород, что в свою очередь способствовало усилению нисходящего движения осадков, выносу и переотложению рудных ком-

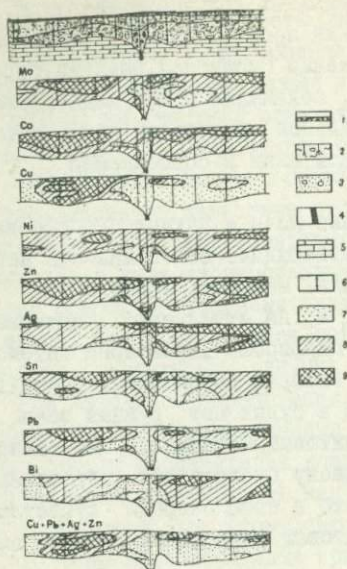


Рис. 2. Распределение элементов-индикаторов в разрезе почв вкрест рудной жилы

I-3 - генетические горизонты почвенного профиля: I - органо-генный (А); 2 - вымывания (В); 3 - переходный (BC); 4 - рудное тело; 5 - карбонатные породы; 6 - почвенные разрезы и интервалы опробования; 7, 8, 9 - соответственно минимальные, средние, максимальные изоконцентрации элементов

показателей на более глубоких горизонтах, где формировалась зона вторичного обогащения.

Воздымание территории в после-раннеплейстоценовое время усилило денудацию и вывело к поверхности неокисленные и полуокисленные интервалы рудных жил. Общее похолодание и развитие многолетней мерзлоты не снизили интенсивности окислительных процессов, а лишь локализовали их в пределах рудоносных зон, поскольку повышенная трещиноватость последних, наличие карста и продолжающееся окисление способствовали сохранению талых пород на участках рудных тел. Талики явились своеобразными "воронками", сквозь которые проходила и происходит в настоящее время инфильтрация холодных агрессивных природных вод. При этом на участках крутопадающих рудоносных разрывов сохранились благоприятные условия для полного окисления сульфидов рудных жил.

В тех же условиях слабоизмененные боковые породы (первичные геохимические ореолы) представляли собой участки, малопроницаемые для природных вод. Отсутствие или слабое проявление инфильтрации вод на участке первичного ореола обусловило незначительное окисление и сохранность рудного вещества при гипергенезе. Здесь ха-

ктерна идентичность корреляционных связей элементов-индикаторов первичных и вторичных литохимических ореолов (5) и их пространственное соответствие в плане.

Итак, при формировании современного рельефа и четвертичной коры выветривания на выровненных водоразделах образовались остаточные вторичные литохимические ореолы рассеяния, эпицентры которых включают полностью или почти полностью выщелоченные продукты окисления рудных жил и характеризуются выдержанным минимумом содержаний элементов, подвижных в условиях окислительной обстановки. В почвах и современной коре выветривания непосредственно над рудными жилами сохраняются линейно вытянутые локальные зоны с кислой средой на фоне общей нейтральной обстановки (I), т.е. в эпицентре ореола сохраняются благоприятные условия для разложения реликтов первичных сульфидов и полного выщелачивания металлов. Наличие проницаемой для вод зоны окисления и приконтактных зон трещиноватости пород обеспечивает постоянный вынос из центральных частей вторичных ореолов элементов, подвижных в зоне гипергенеза. Изучение состава природных вод района показало, что на участках разгрузки подземных вод по долинам рек, дренирующих водоразделы с рудными телами, фиксируются аномально высокие содержания цинка, серебра, меди, свинца, молибдена, часто отмечаются олово, никель. Динамика формирования вторичных ореолов рассеяния иллюстрируется рис.3.

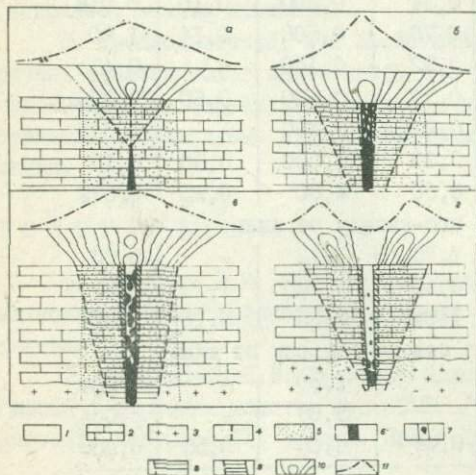


Рис.3.Динамика формирования прерывистых вторичных ореолов рассеяния

I - почвы; 2 - карбонатные породы; 3 - кристаллические породы; 4- интервал выклинивания рудного тела; 5 - первичный геохимический ореол; 6-неокисленное рудное тело; 7-окисленное рудное тело с фрагментом первичных руд; 8 - слабо дезинтегрированные боковые породы; 9 - интенсивно трещиноватая, лимонитизированная около-

рудная зона боковых пород; 10 - изоконцентрации металлов; II - кривая распределения металлов на поверхности

Активным агентом выщелачивания металлов выступают слабоминерализованные воды (атмосферные осадки) с большим количеством свободной углекислоты, кислорода, а также агрессивные гуминовые и фульвокислоты в гумусовом горизонте почв.

Вывод металлов из почв и коры выветривания современными метеорными водами подтверждается анализами водных вытяжек из материка почвенных разрезов. Анализы показали, что доля водорастворимой составляющей от валового содержания элемента в почве невелика и колеблется от сотых долей до единиц процентов; тем не менее количество водорастворимого вещества несколько увеличивается сверху вниз по разрезу и к выходу рудного тела на поверхность, что еще раз подтверждает возможность некоторого растворения и выщелачивания металлов из центральной части вторичного ореола (см. таблицу).

Анализы водных вытяжек

Интервал опробова- ний, см	Доля водорастворимой части элементов, % валового содержания					
	Co	Cu	Zn	Mo	Ag	Pb
Разрез над жилой						
0-9	-	-	0,15	0,046	-	0,1
9-24	0,03	0,05	0,34	0,300	0,10	0,018
24-39	1,00	0,20	0,70	0,500	0,14	1,00
39-55	0,11	-	0,32	0,440	-	0,43.
55-70	1,00	0,09	0,27	0,600	0,60	0,025
70-85	0,50	0,05	0,21	0,350	-	0,013
85-100	1,50	2,88	0,60	17,000	0,30	0,15
100-116	0,75	0,13	0,50	4,00	0,35	0,079
Разрез в 6 м к юго-западу от жилы						
2-5	1,25	0,20	1,75	1,12	-	0,05
35-50	1,15	0,33	0,50	1,30	1,19	0,27
50-70	0,94	0,17	1,04	0,25	0,18	2,00
Разрез в 30 м к северо-востоку от жилы						
0-12	-	-	-	1,50	-	0,004
12-22	-	-	-	3,00	-	0,004
37-52	-	0,27	0,72	0,16	0,55	0,009

ВЫВОДЫ

1. В пределах некоторых рудных полей Якутии с близкими ландшафтно-геохимическими условиями отсутствует возможность однозначного определения местоположения окисленных золото-сульфидных жил по результатам литохимических съемок и их предварительной оценке по геохимическим данным с использованием традиционных методов интерпретации.

2. Устанавливаемые при поисках вторичные ореолы рассеяния образуются в основном за счет первичных литохимических ореолов крутопадающих жил.

3. В условиях несплошной мерзлой зоны на участках сульфидных жил, локализованных в карбонатных породах, образуются прерывистые вторичные ореолы рассеяния с минимальными концентрациями элементов-индикаторов над выходом рудного тела на поверхность.

4. Причиной формирования прерывистых ореолов в данных условиях является длительное интенсивное окисление сульфидных жил, дезинтеграция околорудных пород, образование линейных вертикальных талых зон вокруг рудовмещающих трещин и направленное выщелачивание металлов из почв и коры выветривания метеорными водами.

5. Одним из приемов интерпретации подобного поля рассеяния может служить построение изолиний коэффициентов окисления. Возможным методом установления местоположения рудных тел по геохимическим данным является селективное извлечение металлов из почв (например, анализ вытяжек).

6. Предполагается, что аналогичный процесс образования вторичных ореолов может происходить и в "немерзлотных" районах, где рудовмещающими структурами являются крутопадающие тектонические трещины, а сульфидные руды выщелочены в верхней части зоны окисления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург И.И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.

2. Петровская Н.В. Характер золотоносных минеральных ассоциаций и формации золотых руд СССР. Госгеолтехиздат, 1960. (Международ. геол. конгресс, XXI сессия. Пробл. 16. Генет. пробл. руд).

3. Русанов Б.С. и др. Геоморфология Восточной Якутии. Якутск, 1967.

4. Соловов А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, 1959.

5. Чибисов Н.П. Особенности геохимических ореолов скрытого золото-сульфидного оруденения на Юге Якутии. - "Геология рудных месторождений", 1974, № 4.

Э.А. Хачатурян,
Св.С. Мкртчян

ПОВЕДЕНИЕ СВИНЦА И ЦИНКА
В РУДАХ И ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛАХ
КОЛЧЕДАНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
АЛАВЕРДИ-КАФАНСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ

Изучение первичных ореолов на медных и полиметаллических месторождениях Алаверди-Кафанской рудной зоны имело целью выявление новых поисковых критериев и выяснение их значения для поисков скрытых рудных тел; стоял вопрос о расширении перспектив медных и полиметаллических руд в зоне. В результате изучения были выявлены общие и частные закономерности строения ореолов и даны некоторые рекомендации.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования миграции свинца и цинка в рудах и первичных ореолах.

Четко установлено различие миграционной способности этих элементов, что выразилось прежде всего в обратной зональности их распределения в рудах и ореолах.

На всех исследованных месторождениях (Ахтала, Шамлуг, Кафан, Шаумян) наблюдается два вида зональности: стадийная и зональность отложения. Первая выражается в закономерном распределении разновозрастных минеральных ассоциаций установленных стадий минерализации, вторая - в аналогичном распределении минералов в пределах одной ассоциации, связанном с последовательным выделением их на соответствующей стадии минерализации.

Зональность отложения особенно хорошо выражена в пределах продуктивной галенит-сфалеритовой ассоциации. В рудах всех месторождений она заключается в преобладании сфалеритовых руд на

нижних, а галенитовых – на верхних горизонтах. Отношение Pb/Zn с глубиной уменьшается. Повсеместное замещение сфалерита галенитом также свидетельствует о более раннем образовании сфалерита по сравнению с галенитом. Следовательно, в процессе отложения подвижность цинка была ниже, чем подвижность свинца.

В ореолах наблюдается обратная картина: цинк проявляет гораздо большую подвижность, чем свинец. Чтобы объяснить наблюдаемое явление, попытаемся рассмотреть руды и первичные ореолы как отдельные физико-химические системы, в которых действуют определенные комплексы факторов.

Руды названных месторождений образовались преимущественно путем выполнения пустот и полостей. В этих условиях решающую роль в миграции элементов, в том числе свинца и цинка, играли физико-химические условия среды: температура, давление, кислотность-щелочность, состав и концентрация раствора, режим серы и кислорода в нем. Все эти факторы (назовем их внутренними) определяли форму переноса и условия отложения элементов в форме собственных минералов.

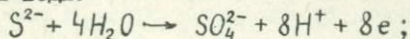
С целью определения химической природы рудообразующих растворов был изучен химический состав жидких включений в галенитах и сфалеритах с помощью водных вытяжек (табл. I).

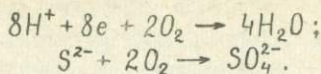
Т а б л и ц а I

Химический состав водных вытяжек галенитов и сфалеритов месторождений Алаверди-Кафанской рудной зоны

Минерал	Содержание компонентов, мг-экв/100 г пробы							
	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
Сфалерит	5,7	0,06	0,01	1,8	0,33	0,015	–	–
Галенит	5,6	0,08	–	3,7	–	0,032	0,39	–

Последовательность выделения сфалеритов и галенитов на месторождениях позволяет проследить изменение в составе рудоносных растворов. Значительную роль в них играли хлориды; в процессе рудообразования происходило уменьшение содержаний Na^+ и Mg^{2+} и увеличение содержаний Ca^{2+} и SO_4^{2-} ; при замещении сфалерита галенитом нарушалось равновесие в растворе вследствие повышения концентрации серы, вместе с которым увеличивалось количество сульфат-иона SO_4^{2-} за счет воды:





Как видно, растворы, переносившие свинец и цинк, были слабоокисными, значительная роль в их составе принадлежала хлоридам, их температура составляла 450–500°C, о чем свидетельствуют структуры распада твердых растворов борнит-халькопирит.

Полученные данные о природных сфалеритах и галенитах были проверены путем непосредственного наблюдения при помощи экспериментальных исследований в области гидротермального синтеза. Этот метод имеет широкие возможности для вывода закономерностей в связи с точным знанием физико-химических условий кристаллообразующей среды.

Синтез сульфидов цинка и свинца проводился гидротермальным методом, в основе которого лежит метод температурного перепада. Физико-химические параметры, выбранные для синтеза, предусматривали данные, привлеченные из литературных источников, и данные о составе растворов, приведенные выше. На описании экспериментов мы останавливаться не будем в силу ограниченного объема статьи, отметим лишь, что во всех случаях кристаллизации ZnS и PbS , независимо от их первоначальной концентрации в шихте, сначала образуется сфалерит (ZnS), затем уже галенит (PbS).

Таким образом, отмеченная в природе зональность отложения сфалеритов и галенитов, подкрепленная экспериментальным материалом, позволила более определенно говорить о закономерности миграции этих элементов в процессе рудоотложения. Наши данные подтверждают тот факт, что последовательность отложения рудных минералов, сфалерита и галенита, является функцией кристаллохимических факторов, которые определяются физико-химическими условиями среды.

Рассмотрим факторы, влияющие на миграцию свинца и цинка в процессе образования первичных ореолов.

Как известно, Д.С. Коржинский считает главным фактором образования первичных ореолов инфильтрацию, которая способна создать ореолы элементов в результате просачивания растворов по трещинам и порам пород. При этом важную роль играет фильтрационный эффект, представляющий собой задержку и отставание растворенного вещества от растворителя. Влияние фильтрационного эффекта находит подтверждение в следующих особенностях распределения элементов. В ю-

родах одного и того же состава концентрация элементов возрастает в обратной зависимости от общей пористости, в прямой зависимости от степени гидротермального изменения и величины эффективной пористости. Такое кажущееся противоречие объясняется Л.Н.Овчинни - ковым, который исследовал фильтрационный эффект и доказал сле - дующее:

1) в процессе гидротермального изменения пород происходит, как правило, увеличение количества ультра- и микропор;

2) величина фильтрационного эффекта прямо пропорциональна эффективной пористости пород и величине радиуса элемента, играю - щего в данном случае роль объемного фактора, и обратно пропорци - ональна общей пористости пород и температуре (табл.2).

Т а б л и ц а 2

Концентрация свинца и цинка в породах, измененных в разной степени (месторождение Ахтала)

Фации гидротермально измененных пород	Пористость		Содержание элементов, %	
	истин - ная	эффе - ктивная	Pb	Zn
Неизмененные рудовмещающие кварцевые дацитовые порфиры	5,2	3,7	0,003	0,01
Кварц-серицит-альбитовая фация	6,8	4,55	0,003	0,03
Кварц-серицитовая фация (интенсивно измененная)	5,9	5,75	0,006	0,065
Окварцованная разность пород	5,2	5,5	0,3	0,1

Одним из основных факторов миграции элементов в породах яв - ляется сочетание радиуса иона с величиной пор пород. По мнению Л.Н.Овчинникова, влияние этого фактора объясняет зональное рас - положение металлов по мере удаления движущихся растворов от их очага: чем больше радиус элемента или гидратированного иона, тем ближе он расположен к очагу.

Радиус гидратированного иона γ гидратир. может быть опреде - лен с помощью подвижности иона. Подвижность иона U зависит от его валентности n_e ; радиуса γ и K (константы):

$$U = \frac{n_e}{\gamma} K,$$

отсюда

$$\gamma \text{ гидратир.} = \frac{n_e}{U}.$$

Если в уравнение подставить реально измеренные подвижности ионов, то получим размеры их гидродинамических радиусов. Вычис - ленные величины радиуса составляют для свинца 2,58, а для цинка 3,42.

Согласно экспериментальным данным, концентрация на природных фильтрах металлов, в частности свинца (4), происходит вследствие ионно-обменной адсорбции. Поэтому не исключено, что ионно-адсорбционные процессы влияют на миграцию элементов в породах. Основанием для такого предположения послужило то, что распределение элементов в ореоле увязывается с их положением в сорбционных рядах катионов, определенных А.И.Краевой опытным путем: в сорбционном ряду свинец идет одним из первых, а цинк — одним из последних; в ореоле свинец тяготеет к внутренней, а цинк — к внешней зоне. Поскольку зональное распределение элементов в ореолах не имеет резких границ, то последние определяются в основном количественным соотношением элементов $Ag > Pb > Zn > Cu$.

Наблюдаемая последовательность выделения свинца и цинка в ореолах изученных месторождений полностью согласуется с последовательностью их выделения на полиметаллических месторождениях Центрального Казахстана (3), Рудного Алтая (5) и ряда других районов (1,2).

Из сказанного можно заключить, что первичные ореолы и рудные тела являются по существу проявлениями единого геохимического процесса, связанного с рудообразованием. Между ореолами и рудными телами существует тесная генетическая связь. Вместе с тем нам представляется, что ореолы так же, как и руды и гидротермально измененные породы, являются отдельными звеньями в общей цепи. В каждом из этих звеньев действуют определенные комплексы факторов, определяющие условия образования каждого из звеньев в отдельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вартанян С.У. Некоторые вопросы условий образования рудных тел колчеданных месторождений Северной Армении. — "Труды МГРИ", т. XXXIX, 1962.
2. Герман Г.Д. Геохимическая зональность на месторождении Баяна на западном склоне Ю.Урала. — "Геохимия", 1958, № 4.
3. Муканов К.М. Опыт изучения полей минерализации и первичных ореолов рассеяния на полиметаллических месторождениях Казахстана. Госгеолтехиздат, 1957.
4. Рожкова Е.В., Серебрякова М.Б. Возможная роль сорбции в образовании ореолов рассеяния. — "Сов. геология", 1958, № 4.

5. Россман Г.И. Опыт изучения первичных ореолов рассеяния на Рудном Алтае. Геохимические поиски рудных месторождений. - Матер. Первого Всес. совещания по геохим. методам поисков. Госгестехиздат, 1957.

В.И. Натурин,
К.С. Супамбаев

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗОНАЛЬНОСТИ НА РТУТНЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ ЧАКРЫК (КИРГИЗИЯ) И ИХ РОЛЬ ПРИ ПОИСКАХ СКРЫТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Рудопроявления Чакрык расположены на границе каледонид Северного и герцинид Срединного Тянь-Шаня в каменноугольном передовом прогибе, который с юга ограничен Южно-Кавказским надвигом, входящим в систему тектонических нарушений "линии Николаева". Ртутное оруденение приурочено к тектонической зоне, вытянутой в субширотном направлении между чамындинской свитой среднего карбона и дунгурминской свитой нижнего карбона, представленных окварцованными и осветленными песчаниками, алевролитами и алевролитовыми песчаниками, обладающими повышенной пористостью и кавернозностью. Оруденение выявлено также в баритовых жилах, выполняющих трещины в указанных породах.

Вертикальная геохимическая зональность ртутного оруденения исследовалась нами на основании анализа геохимических проб и протолочек, отобранных из двух шурфов.

Геохимическая зональность имеет важное значение для поисков рудных месторождений, так как определение ее позволяет по соотношениям содержаний элементов-индикаторов, по силе корреляционных связей между ними судить об изменении оруденения с глубиной (3).

Обобщенный ряд вертикальной зональности первичных ореолов на сульфидных месторождениях выглядит так:

$Sb - As - Ba - Ag - Pb - Zn - Cu - Bi - Mo - W - Sn - Co - Ni - Be.$

Зональность ореолов в своей совокупности совпадает с обобщенной схемой зональности рудных тел и месторождений В.Эммонса.

Для ртутных месторождений характерен следующий обобщенный ряд зональности (2):

$Ba - Sb - As - Hg - Ag - Pb - Zn - Cu - Mo - Bi - Co - Ni - W - Sn.$

Основным параметром, определяющим изменение оруденения с глубиной, является коэффициент зональности (контрастности). Вертикальная зональность рудных тел и их первичных ореолов проявляется также в изменении с глубиной силы и характера корреляционной связи содержаний элементов-индикаторов. В надрудных ореолах, а также на уровне верхних частей рудных тел между содержаниями соответствующих индикаторов устанавливается положительная (существенная) корреляционная связь. На уровне корневых частей рудных тел корреляционная связь становится несущественной, а в подрудных ореолах даже существенно отрицательной. Характер корреляционной связи помогает определить комплекс надрудных и подрудных элементов-индикаторов.

Наши исследования полностью подтверждают указанные положения (табл. I).

Существенно положительную связь^I (от 0,26 до 0,49) ртуть — главный рудообразующий элемент — имеет с серебром, цинком, барием, и малосущественную со свинцом. Свинец имеет положительную и весьма существенную связь (от 0,35 до 0,8) с серебром, цинком и барием. Существенно отрицательную или несущественную корреляционную связь (от 0,03 до -0,97) ртуть, барий, свинец, серебро, цинк обнаруживают с никелем, кобальтом, молибденом, оловом. Между собой эти элементы, т.е. никель, кобальт, молибден и олово, имеют существенную положительную связь.

Особое положение занимают сурьма, мышьяк и висмут. С большинством элементов они обнаруживают отрицательную или несущественную положительную связь (от 0,09 до -0,7), между собой они коррелируются положительно и имеют относительно высокие коэффициенты корреляции (от 0,II до I,0). Это объясняется тем, что минералом-носителем для этих элементов является блеклая руда. По нашим данным, блеклые руды не содержат ртути, следовательно, не имеют генетической связи с ней. В таких случаях надо осторожно подходить к данному явлению, лучше всего исключить названные элементы из ряда зональности.

Таким образом, достаточно четко вырисовываются надрудный (Ba-Hg-Ag-Pb-Zn) и подрудный (Mo-Co-Ni-W-Sn) комплексы элемен-

^I В нашем случае значимые коэффициенты корреляции будут 0,25 по t -критерию Стьюдента, при количестве проб $N=63$ и $q=0,05\%$ (1).

Т а б л и ц а I

Коэффициенты корреляции между содержаниями элементов на верхних
уровнях рудопроявления Чакрык-I

Элемент	Hg	Ni	Co	Mo	Cu	Pb	Ag	Sb	As	Zn	Sn	Ba	Bi
Hg	1,0	-0,59	-0,53	-0,29	-0,42	0,13	0,31	-0,70	0,10	0,49	-0,18	0,26	-0,24
Ni	0,59	1,0	0,76	0,26	0,09	-0,77	-0,75	-0,29	0,07	-0,87	0,35	0,09	0,22
Co	-0,53	0,76	1,0	0,78	-0,10	-0,4	-0,62	-0,62	0	0,37	-0,21	-0,64	-0,11
Mo	-0,29	0,26	0,78	1,0	-0,44	-0,15	0,03	-0,49	-0,36	-0,19	0,65	-0,97	-0,25
Cu	-0,42	0,09	-0,10	-0,44	1,0	0,66	0,56	0,11	0,42	0,16	0,71	-0,59	0,09
Pb	0,13	-0,77	-0,4	-0,15	0,66	1,0	0,8	-	0,17	0,79	-0,79	0,35	-0,14
Ag	0,31	-0,75	-0,62	0,03	0,56	0,8	1,0	-0,44	0,61	0,63	-0,40	0,16	0,37
Sb	-0,7	-0,29	-0,62	-0,49	0,11	0	-0,44	1,0	0,39	-	0,44	-0,44	1,0
As	0,10	0,07		-0,36	0,42	0,17	0,61	0,39	1,0	0,13	0,08	-0,43	0,31
Zn	0,49	-0,87	0,37	-0,19	0,16	0,79	0,63		0,13	1,0	-0,63	0,33	0,05
Sn	-0,18	0,35	-0,21	0,65	0,71	-0,79	-0,40	0,44	0,08	-0,63	1,0	-0,77	0,55
Ba	0,26	0,09	-0,64	-0,97	-0,59	0,35	0,16	-0,44	-0,43	0,33	-0,77	1,0	-0,71
Bi	-0,24	0,22	-0,11	-0,25	0,09	-0,14	0,37	1,0	0,31	0,05	0,55	-0,71	1,0

тов-индикаторов ртутного оруденения.

Обращают на себя внимание необычные корреляционные связи меди. Она имеет различные по значимости коэффициенты корреляции и с надрудными, и с подрудными комплексами, а также с сурьмой, мышьяком и висмутом. Наши исследования показывают, что медь на рудопроявлении представлена в форме: а) блеклых руд; б) халькопирита, т.е. является сквозным элементом, поэтому мы решили не включать ее в ряд зональности.

Для определения фоновых содержаний элементов был пройден геохимический профиль и отобрано 132 пробы.

О развитии надрудного комплекса элементов-индикаторов в рудоносной зоне свидетельствуют повышенные содержания ртути — до 0,45% при фоне $9 \cdot 10^{-6}\%$, бария — до 1,5% при фоне $8 \cdot 10^{-3}\%$, свинца — до $1 \cdot 10^{-2}\%$ при фоне $1 \cdot 10^{-3}\%$; цинка до $3 \cdot 10^{-2}\%$ при фоне $5 \cdot 10^{-3}\%$; серебра до $2 \cdot 10^{-4}\%$ I.

Содержания элементов подрудного комплекса повышены незначительно и амплитуда колебаний их небольшая: молибден — от $5 \cdot 10^{-5}$ до $10 \cdot 10^{-4}\%$, кобальт — от $5 \cdot 10^{-4}$ до $10 \cdot 10^{-4}\%$ при фоне $2 \cdot 10^{-4}\%$, никель — от $3 \cdot 10^{-3}$ до $7 \cdot 10^{-3}\%$ при фоне $5 \cdot 10^{-4}\%$, вольфрам — от $10 \cdot 10^{-4}$ до $15 \cdot 10^{-4}\%$; олово — от $4 \cdot 10^{-3}$ до $6 \cdot 10^{-3}\%$.

Окончательный ряд вертикальной геохимической зональности ртутных рудопоявлений Чакрык следующий: Ba-Hg-Ag-Pb-Zn-Mo-Co-Ni-W-Sn. В основном он совпадает с обобщенным универсальным рядом зональности С.В.Григоряна, хотя в нем отсутствуют некоторые элементы. Это, по-видимому, объясняется спецификой минеральных форм нахождения элементов на рудопоявлениях и геолого-структурными особенностями данного региона.

Коэффициент зональности (контрастности — К), определяемый по С.В.Григоряну по отношению линейных продуктивностей или средних содержаний надрудных элементов-индикаторов к подрудным монотонно и контрастно (в сотни и тысячи раз) изменяется от верхнерудных горизонтов оруденения к подрудным. По многочисленным литературным данным было установлено, что для надрудных и верхнерудных частей оруденения числовые значения К обычно больше первых десятков.

Во избежание случайных ошибок, которые иногда бывают при

¹ Для некоторых элементов фон не был вычислен из-за низких содержаний, хотя чувствительность анализа была достаточно высокой.

Т а б л и ц а 2

Коэффициент зональности рудопоявления Чакрык-I

Номер пробы ^I	Коэффициент зональности К	Номер пробы	Коэффициент зональности К
53a	536	83a	20408
54a	703	81	1607
55a	300	79a	1029
56a	450	46	24866
57a	14283	49	18047
59a	2000	52	22178
60a	1000	70	22291
61a	1286	73a	16072
63	500	73	15000
64a	19650	75a	30000
66	14190	77a	37500
86	41	78a	428143
84a	1778		

^I В порядке отбора их из шурфов.

спектральном анализе, мы пользовались мультипликативными отношениями средних содержаний элементов-индикаторов:

$$K = \frac{Ba \cdot Hg \cdot Ag \cdot Pb \cdot Zn}{Mo \cdot Co \cdot Ni \cdot W \cdot Sn}$$

Значения коэффициентов зональности, приведенные на рис.1 и в табл.2 (от $5 \cdot 10^2$ до $48 \cdot 10^3$), свидетельствуют о том, что рудопоявление Чакрык-I соответствует верхним горизонтам ртутного оруденения. Кроме того, с увеличением глубины коэффициенты контрастности также увеличиваются, и максимумы их (до сотен тысяч) находятся на глубине 30-35 м. Этот факт свидетельствует о продолжении оруденения на глубину по крайней мере еще на 35-40 м. Результаты бороздового опробования и отбора протоочек (рис.2) подтверждают увеличение содержания ртути с глубиной.

Таким образом, анализ геологических, минералогических и геохимических данных рудопоявления Чакрык позволил установить верхнерудную природу ртутного оруденения и увеличение содержания ртути с глубиной. Поэтому мы считаем, что без проверки оруденения на глубину нельзя сделать окончательного вывода о промышлен-

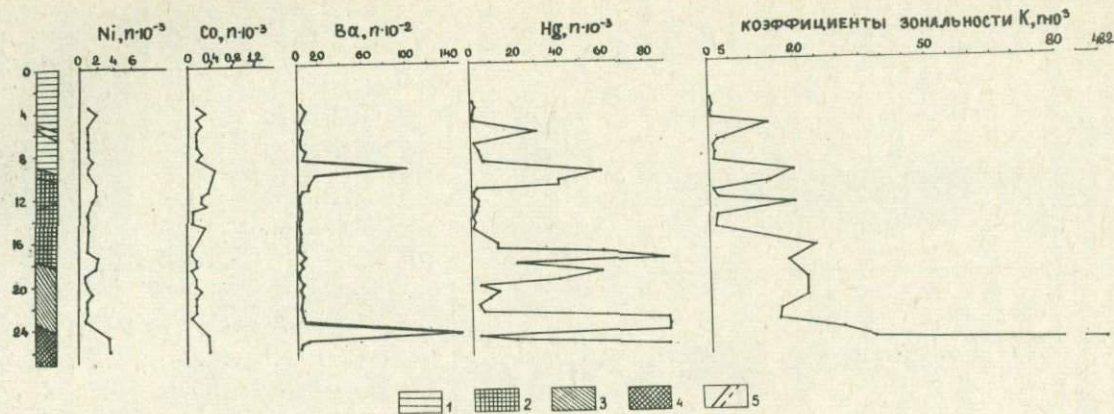


Рис. I. Изменение содержаний элементов и коэффициентов зональности с глубиной на барит-киноварном рудопроявлении Чакрык-I

I - известковистые алевролиты, 2 - первая рудная зона, 3 - алевролиты, 4 - вторая рудная зона, 5 - тектонические нарушения

ШТ-255



ШТ-250

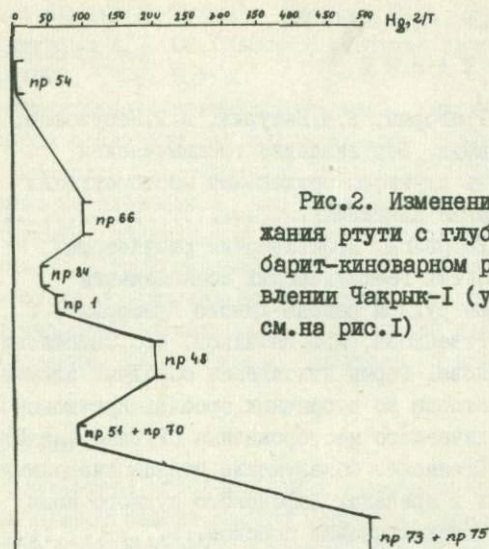


Рис.2. Изменение содержания ртути с глубиной на барит-киноварном рудопроявлении Чакрык-I (усл. обозн. см. на рис. I)

ной ценности этих рудопроявлений, в связи с чем нами предлагается провести оценочные работы на более глубокие горизонты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беус А.А., Григорян С.В. и др. Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. М., "Недра", 1965.

2. Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений. - "Сов. геология", 1973, № 1.

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

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
С.В.Григорян, В.И.Натурин, К.М.Норузбаев, И.Д.Турдукеев. Вертикальная геохимическая зональность ртутного оруденения месторождения Чонкой (Южная Киргизия).....	3
Т.А.Гаврилов. Практические результаты дополнительных геохимических исследований в известном рудном районе Южного Приморья.....	II
Н.И.Разенкова, И.Ф.Мясников, Ю.С.Самойлова, Т.В.Филиппова. Формы нахождения основных элемен- тов-индикаторов во вторичных ореолах Кречковского полиметаллического месторождения (Рудный Алтай).....	I4
Л.В.Оганесян. Обнаружение медноколчеданных рудных тел в пределах Кафанского рудного поля по данным геохимических поисков.....	23
Н.П.Чибисов, И.И.Силин, Т.И.Нюппенен, И.Н.Крицук, И.С.Бортников. Вторичные ореолы рассеяния золоторудных жил Якутии.....	28
Э.А.Хачатурян, Св.С.Мкртчян. Поведение свинца и цинка в рудах и первичных ореолах колчеданно- полиметаллических месторождений Алаверди- Кафанской рудной зоны.....	36
В.И.Натурин, К.С.Супамбаев. Геохимические показатели зональности на ртутных рудопроявлениях Чакрык (Киргизия) и их роль при поисках скрытого оруденения.....	4I

Вертикальная геохимическая зональность ртутного оруденения месторождения Чонкой (Южная Киргизия). Григорян С.В., Натурин В.И., Норузбаев К.М., Турдукеев И.Д. Сб. "Новое в методике литохимических поисков". Изд. ИМПРЭ, 1976, с. 3-10.

Для ртутного оруденения лиственитового типа месторождения Чонкой устанавливается следующий ряд вертикальной геохимической зональности (снизу вверх): $(W)-Sn-Mo-Co-Ni-Cu-Zn-Pb-(Hg)-As$. Определены коэффициенты зональности K_z для различных уровней рудовмещающих зон. Надрудным, подрудным и рудным зонам свойственны контрастные значения K_z . Установленные особенности распределения типоморфных элементов месторождения Чонкой рекомендуется использовать в ходе поисково-разведочных работ и для целей прогнозирования скрытого оруденения. Ил. 2, табл. 2, библиогр. 5 назв.

Практические результаты дополнительных геохимических исследований в известном рудном районе Южного Приморья. Гаврилов Т.А. Сб. "Новое в методике литохимических поисков". Изд. ИМПРЭ, 1976, с. 11-14.

В результате комплексных гидрогеохимических и литохимических (по потокам рассеяния) поисков на флангах известного оловянно-полиметаллического рудного поля выявлено новое месторождение. Библиогр. 1 назв.

Формы нахождения основных элементов-индикаторов во вторичных ореолах Кривчиковского полиметаллического месторождения (Рудный Алтай). Разенкова Н.И., Мясников И.Ф., Самойлова Ю.С., Филиппова Т.В. Сб. "Новое в методике литохимических поисков". Изд. ИМПРЭ, 1976, с. 14-22.

При поисках глубокопогребенных месторождений Рудного Алтая наиболее перспективны по сравнению с методами, основанными на изучении легкоизвлекаемых форм, физико-химические методы анализов, позволяющие определять прочносвязанные соединения свинца, меди, цинка, молибдена, серебра и других элементов. Ил. 2, табл. I, библиогр. 8 назв.

УДК 550.84:553.435(479.25)

Обнаружение медноколчеданных рудных тел в пределах Кафанского рудного поля по данным геохимических поисков. Оганесян Л.В. Сб. "Новое в методике литохимических поисков". Изд. ИМГРЭ, 1976, с.23-28

Благодаря совместной интерпретации данных геологических, геохимических и геофизических работ удалось дать точный прогноз месторождения, глубины залегания и минерального состава ряда рудных тел в пределах Кафанского рудного поля. Табл.3, библиогр. 3 назв.

УДК 550.84.092.2(571.56)

Вторичные ореолы рассеяния золоторудных жил Якутии. Чибисов Н.П., Силян И.И., Ниппенен Т.И., Крипук И.Н., Бортников И.С. "Новое в методике литохимических поисков". Изд. ИМГРЭ, 1976, с.28-36.

В ландшафтно-геохимических условиях Якутии традиционные методы интерпретации геохимических данных должны быть дополнены построением изолиний коэффициентов окисления. Перспективно применение селективного извлечения металлов из почв, анализ вытяжек. Ил.3, табл.1, библиогр.5 назв.

УДК 553.44:550.84.092(479.25)

Поведение свинца и цинка в рудах и первичных ореолах колчеданно-полиметаллических месторождений Алаверди-Кафанской рудной зоны. Хачатурян Э.А., Мкртчян Св.С. Сб. "Новое в методике литохимических поисков". Изд. ИМГРЭ, 1976, с.36-41.

Первичные ореолы и рудные тела являются проявлениями единого геохимического процесса; вместе с тем ореолы, руды и гидротермально измененные породы в своем образовании отдельно зависят от определенного комплекса факторов. Табл.2, библиогр.5 назв.

УДК 553.499:550.84.092(575.2)

Геохимические показатели зональности на ртутных рудопроявлениях Чакрык (Киргизия) и их роль при поисках скрытого оруденения. Натурин В.И., Супамбаев К.С. Сб. "Новое в методике литохимических поисков". Изд. ИМГРЭ, 1976, с.41-47.

На основе изучения геохимической зональности установлен верхнерудный уровень известного рудопроявления и сделан вывод о необходимости разведки его глубоких горизонтов. Ил.2, табл.2, библиогр.3 назв.

НОВОЕ В МЕТОДИКЕ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Утверждено к печати
Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов

Редакторы: Т.И.Нефелова, И.Л.Дзюба

Подписано к печати 30.03.1977 г.
Т-02731. Заказ 14. Тираж 600. 3 л.
Формат 60х90 1/16. Цена 21 коп.

Ротапринт ИМГРЭ

Имеются в продаже следующие издания ИМГРЭ:

1. Опыт разработки критериев интерпретации геохимических аномалий. Сб. научных трудов. 3 л., т. 600. Ц. 40 коп.
2. Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Сб. научных трудов. 3 л., т. 600. Ц. 40 коп.
3. Исследование в области технологии редкометалльного сырья. Сб. научных трудов. 5 л., т. 300. Ц. 50 коп.
4. Прикладная геохимия и минералогия. Сб. научных трудов. 7 л., т. 600. Ц. 70 коп.
5. Геохимические поиски перекрытых сульфидных месторождений по наложенным ореолам. Методические рекомендации. Составители: Н.И. Несвижская, Ю.Е. Саеа. 5 л., т. 400. Ц. 35 коп.

Выходят в свет следующие издания ИМГРЭ:

1. Интерпретации литохимических аномалий. Сб. научных трудов. 3 л., т. 600. Ц. 30 коп.
2. Методы обработки цифровой информации геохимических поисков. Сб. научных трудов. 5 л., т. 600. Ц. 50 коп.
3. Комплексирование геохимических методов при поисках и разведке эндогенных месторождений. Сб. научных трудов. 3 л., т. 600. Ц. 30 коп.
4. Организация и результаты геохимических поисков в различных районах страны. Сб. научных трудов. 3 л., т. 600. Ц. 30 коп.

Заявки просим присылать по адресу:

ИИ3127. Москва, Садовническая наб., д. 71, ИМГРЭ. Редбюро

2I коп.

2506