

**ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ,
ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**КРИТЕРИИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ**

Москва, 1973

АКАДЕМИЯ НАУК
СССР

МИНИСТЕРСТВО
ГЕОЛОГИИ
СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ
И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

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

550.4+550.84

КРИТЕРИИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

1016

Москва, 1973



Главный редактор
член-корреспондент АН СССР
Л. Н. ОВЧИННИКОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С. В. ГРИГОРЯН (зам. гл. редактора)
А. М. ЗНАМЕНСКИЙ, М. Ф. КУЗИН,
И. Н. РЕЗНИКОВ, В. З. ФУРСОВ

**И. Р. БЕЛОУС, С. И. КИРИКИЛИЦА,
А. М. ЭДЕЛЬМАН**

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ СКРЫТОГО РУТУНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ДОНБАССЕ

[Связь геохимических ореолов с деформациями пород]

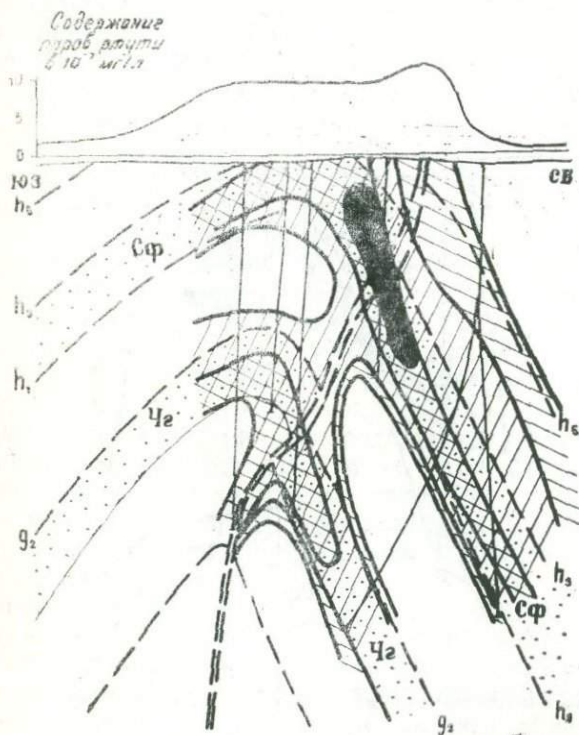
Для выявления скрытых рудных тел наибольшее развитие в Донбассе получили литогеохимические поиски по первичным ореолам. Глубинность поисков скрытых рудных месторождений по эндогенным ореолам здесь превышает 500 м и в принципе определяется глубиной их формирования. Рудные тела сопровождаются обычно ореолами ртути, мышьяка, сурьмы, свинца, цинка, бария. В случаях пространственного совмещения в единых рудоконтролирующих структурах свинцово-цинковой и рудной минерализации дополнительно появляются молибден, фтор, иногда никель и кобальт. Появление двух последних элементов обычно связано с наличием в стратиграфическом разрезе вулканогенных пород (Славянское рудопроявление) либо даек базитового состава (Амвросиевский район). Морфология ореолов рассеяния зависит от геолого-структурных особенностей рудных тел, характера трещиноватости и пористости пород. В зависимости от типа рудовмещающих структур, обуславливающих сложный рисунок зон проницаемости для гидротерм, выделяются два типа ореолов: а) в комбинированных структурах, обусловленные сочетанием брахискладок с сетью поперечных, кососекущих и межпластовых нарушений (никитовский тип) и б) связанные с крутопадающими зонами повышенной трещиноватости (чернокурганский тип). Для первого случая характерно преобладающее влияние складчатых деформаций на

размещение оруденения. Это отмечается в условиях сложной стратифицированной толщи Никитовского рудного поля с ее доминирующим развитием складчатых форм и избирательным дроблением отдельных горизонтов, сложенных более хрупкими породами (песчаниками). При разрядке тектонических напряжений в пористых и хрупких пластах песчаников, залегающих между пластичными аргиллитами, достигалось резкое понижение давления. Именно к этим участкам устремлялись эндогенные растворы. Наличие подстилающих аргиллитов обуславливало подпруживание растворов и возникновение еще большего перепада давления; это способствовало наиболее интенсивному образованию киновари и других минералов. В зависимости от количества таких горизонтов песчаников общий вид ореолов в разрезе имеет грибообразную двух- или трехярусную форму, симметричную или немного асимметричную относительно оси складки и рудораспределяющего надвига «Секущая». Ореолы в отмеченных горизонтах песчаников повторяют форму антиклинальной складки и как бы опускаются вниз по падению пластов, а в ниже- и вышележащих аргиллитах образуют узкие полосы вдоль зоны тектонического нарушения «Секущая» (фиг. 1). Таким образом, литологический контроль развития геохимических ореолов, наблюдаемый на верхних горизонтах, с глубиной исчезает, уступая место контролю разрывными нарушениями.

Иную форму имеют ореолы ртути на Чернокурганском участке, где руды представлены скоплениями киновари в виде прожилков, гнезд, вкрапленности в обломках терригенных пород и цементе брекчий тектонической зоны разлома «Секущая». Здесь новому для Никитовского рудного поля структурно-морфологическому типу оруденения соответствует резко отличная форма геохимических ореолов. В самом общем виде ореол имеет неправильную столбообразную форму, расширяющуюся кверху и выходящую на поверхность (фиг. 2). Ширина ореола у поверхности в 2—3 раза больше, чем на глубине, где он отчетливо контролируется рудовмещающим разломом «Секущая». Литологический контроль ореола проявляется лишь появлением ряда мелких апофиз по отдельным пачкам песчаников. Налицо преобладающее влияние разрывных нарушений на размещение оруденения. При этом благоприятность таких наруше-

ний для размещения рудных тел и связанных с ними первичных ореолов зависит от морфологических особенностей разломов и характера происходящих вдоль них перемещений, т. е. от деформаций, связанных с разрывной тектоникой.

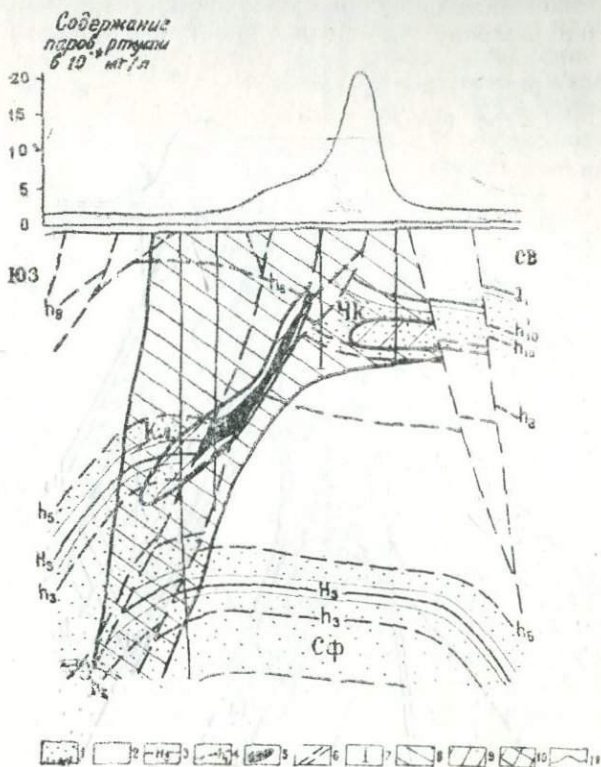
Протяженность первичных ореолов рассеяния определяется направлением и протяженностью рудоконтроли-



Фиг. 1. Никитовский тип ореолов вокруг рудных тел
Условные обозначения см. фиг. 2

рующих структур и оперяющих их зон дробления. Ширина ореолов рассеяния (содержания ртути более, чем $1 \cdot 10^{-4} \%$) в Никитовском рудном поле составляет около 1000 м, достигая по отдельным пересечениям 1600 м, что примерно в 10—20 раз больше ширины проекций рудных зон на дневную поверхность. Ширина ореолов

рассеяния ртути на глубине 500—700 м в 5—10 раз меньше, чем на дневной поверхности. По вертикали величина ореолов ограничивается глубиной опробования скважин и составляет на Софиевском участке более 1 км, на Чернокурганском — 600 м, на Чернобугорском — 500 м.



Фиг. 2. Чернокурганский тип ореолов вокруг рудных тел

1 — песчаники (Чк — чернокурганские, Кл — кладбищенские, Сф — софиевские, Чг — первые чегаринские); 2 — сланцы; 3 — известняки; 4 — угли; 5 — рудные тела; 6 — тектонические нарушения; 7 — разведочные скважины; 8 — первичные ореолы с содержаниями ртути 0,0001—0,001‰; 9 — то же с содержаниями 0,001—0,01‰; 10 — то же с содержаниями — 0,01‰; 11 — кривая распределения паров ртути в почвенном воздухе

На план-развертке софиевских песчаников ореол вытянут параллельно оси складки и значительно смещает-

ся к северу от последней. Это указывает на появление дополнительных рудоконтролирующих разрывов к северу от надвига «Секущая», что впоследствии и было подтверждено разведочным бурением. Максимальная ширина ореола приходится на Софиевский купол. К флангам рудного поля ширина ореола убывает до 100—800 м, что находится в прямой зависимости от масштабов проявления гидротермального процесса. Данные сопоставления площадей рудных зон и запасов с размерами ореолов более чем по 80 разведочным пересечениям показали, что увеличению площадей рудных зон соответствуют и наиболее широкие геохимические ореолы ртути. Что касается величины запасов, то они не соответствуют максимальным площадям и наиболее широким частям ореолов рассеяния. Эти особенности ореолов рассеяния, по нашему мнению, зависят от морфологических особенностей и характера перемещений вдоль разломов, а также от тектонического состояния ограниченных ими раздробленных блоков пород. Так, в разгруженных от тектонического сжатия гранях разломов и блоках пород достигается очень высокая степень концентрации металла, в то время как ширина ореола минимальна. Минерализация распределяется здесь в узко локализованных участках. В блоках, прилегающих к нагруженным граням разломов, достигается массовое дробление пород, распределение минерализации имеет экстенсивный характер, поэтому ширина ореолов здесь максимальна.

Для ореолов мышьяка и сурьмы характерны в основном те же особенности, что и для ртути. Ширина их обычно не превышает 300 м. Наиболее контрастно в пределах рудного поля проявлена продольная горизонтальная зональность относительно надвига «Секущая» [1, 3].

Геохимическая вертикальная зональность, наряду с минералогической, проявляется неконтрастно и обусловлена избирательным накоплением в верхних частях разреза мышьяка, сурьмы, на более глубоких горизонтах — свинца и цинка.

Из особенностей распределения элементов-индикаторов в геохимических ореолах других рудных полей отметим следующие.

На Дружковско-Константиновском рудном поле

мышьяк встречается как в надрудных ореолах (Суровское рудопроявление), так и в подрудных (Константиновское рудопроявление). На указанных рудопроявлениях мышьяк представлен различными минеральными формами: в первом случае реальгаром, во втором — арсенопиритом. Анализ структурной обстановки рудных тел и геохимических ореолов ртутных, сурьмяных и свинцово-цинковых рудопроявлений Донбасса свидетельствует о существенных различиях в поведении ртути и сурьмы, свинца и цинка. Появление свинца в ртутных рудопроявлениях всегда связано со структурами, доступными для вадозных вод. И, наоборот, там, где в рудоконтролирующих структурах создавались «застойные» условия, труднодоступные для окисления, относительное значение цинка резко возрастает, свидетельствуя об усилении восстановительной обстановки, которая в ртутных и свинцово-цинковых рудопроявлениях Северо-Западного Донбасса усиливалась интенсивной битуминизацией пород. Аналогично свинцу и цинку соответственно ведут себя сурьма и ртуть. Отмеченные особенности указанных элементов могут служить показателем условий формирования рудных тел и их геохимических ореолов.

Атмогеохимические методы поисков. В Донбассе проводилось опытно-методическое изучение распределения паров ртути в почвенном и атмосферном воздухе на известных месторождениях и рудопроявлениях. В последние годы проводятся производственные работы на новых поисковых участках. Установлено, что мощность аллохтонного покрова в 5—10 м, а в некоторых случаях 15—20 м не препятствует образованию и выявлению (чувствительность анализа $1 \cdot 10^{-7}$ мг/л) газовых ореолов рассеяния ртути в почвенном воздухе. Газовые ореолы ртути не были зафиксированы лишь на Славянском рудном поле при мощности осадочных покровных отложений 100—200 м. Фоновые содержания ртути в почвенном воздухе составляют при мощности аллохтонного покрова до 15—20 м $1,5-4 \cdot 10^{-7}$ мг/л, а при мощности его свыше 100—200 м — ниже порога чувствительности анализа.

Размеры газовых ореолов зависят от размеров рудных тел и их первичных ореолов, от типа рудовмещающих структур, а также от степени трещиноватости и пористости пород. Так, над структурами никитовского ти-

па обычно наблюдаются наиболее широкие (до 200—250, а в единичных случаях до 500 м) ореолы. Последние приурочены к пересекаемой многочисленными разнонаправленными нарушениями приосевой части антиклинальной складки (см. фиг. 1). Контрастность этих ореолов обычно не превышает 2—5. Кривая распределения паров ртути в почвенном воздухе на поперечных профилях характеризуется асимметричностью, которая является результатом влияния основного рудоконтролирующего надвига «Секущая». Максимальные содержания ртути наблюдаются над висячим крылом надвига. Падение концентрации ртути над южным крылом складки (по направлению падения надвига) происходит плавно. На северном крыле складки над лежачим крылом надвига содержания ртути в почвенном воздухе относительно резко падают, переходя в фоновые.

Над структурами чернокурганского типа ширина газовых ореолов обычно не превышает 50—150 м и только в редких случаях достигает 200—250 м. Контрастность этих ореолов достигает пределов десятков и сотен. Кривая распределения содержаний паров ртути на поперечных профилях характеризуется максимумом над тектоническими нарушениями и сопровождающими их зонами повышенной трещиноватости. Эти кривые нередко также характеризуются асимметричностью плавным уменьшением концентрации паров ртути над наиболее издробленными висячими крыльями надвигов и резким их снижением над лежачими крыльями или вблизи последних (см. фиг. 2). Это указывает на возможность использования в ряде случаев получаемых кривых для определения направления, а иногда и угла падения рудоконтролирующих разломов.

Газовые ореолы в плане прерывисты и вытянуты вдоль рудоконтролирующих нарушений. Прерывистость ореолов зависит, по нашему мнению, от тектонического состояния примыкающих к эрозионному срезу граней разломов и блоков пород. Так, в условиях всестороннего сжатия таких граней вероятность подтока через них паров ртути и образования над ними газовых ореолов в почвенном воздухе значительно меньше, чем при наличии приоткрытых систем.

Установлено влияние методических, техногенных, метеорологических и других факторов [5] на результаты

определения паров ртути в почвенном и атмосферном воздухе. В связи с наличием многочисленных техногенных аномалий и большим количеством ветренных дней газортутный метод поисков в Донбассе наиболее целесообразно проводить в варианте опробования почвенного, а не атмосферного воздуха.

Применение газортутного метода позволило выявить ряд новых минерализованных зон в пределах Дружковско-Константиновского рудного поля и на участке Первомайской антиклинали.

Кроме газортутного метода поисков, проводится изучение распределения паров ртути в свободных газовыделениях из скважин. Проведенные работы показали, что максимальные содержания ртути ($p \cdot 10^{-6}$ мг/л) встречаются в газах из скважин, расположенных в тектонически осложненных участках Дружковско-Константиновской и Главной антиклиналей, где известна ртутная минерализация [4].

Наконец, третье направление в атмогеохимии ртути, которое начало развиваться в тресте «Артемгеология», заключается в изучении распределения паров ртути в свободных и сорбированных газах угольных пластов. Хотя эти работы находятся в начальной стадии, уже получен ряд интересных данных. Так, в пробах из скважин, пробуренных в Центральном районе Донбасса, где известна ртутная минерализация, содержание паров ртути в свободно выделяющемся газе из кернагазонаборников достигает $p \cdot 10^{-4}$ мг/л, а в сорбированном газе, также извлеченном из кернагазонаборников, но путем термовакуумирования ($60-70^{\circ}\text{C}$ и $10-15$ мм рт. ст.) — $p \cdot 10^{-5}$ мг/л. Расчеты показали, что примерное соотношение масс ртути, находящихся в указанных двух газовых фазах и непосредственно в угле (твердая фаза), составляют соответственно 1 : 1 : 1000.

Все это показывает, что изучение распределения паров ртути в природных объектах может быть использовано для выявления перспективных участков при геохимических поисках ртутных месторождений. Кроме того, учитывая большие масштабы газовыделений в процессе разработки угольных месторождений в Донбассе, не следует исключать предположение, что изучение распределения ртути в свободных газовыделениях, а также в свободных и сорбированных газах угленосный толщи

может быть использовано при решении вопроса об утилизации этих газов и попутном извлечении из них ртути.

Изложенное позволяет констатировать, что повышение эффективности геохимических методов должно базироваться на всестороннем и углубленном изучении структурной обстановки.

С целью оценки новых площадей для постановки поисково-разведочного бурения необходимо проводить опережающую шлиховую и литогеохимическую съемку масштабов 1:10000 — 1:5000. В пределах выявленных аномальных участков при помощи газортутного метода выделяются узко локализованные зоны для изучения первичных ореолов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоус И. Р. О морфологии и вертикальной протяженности Никитовского ртутнорудного поля. — Труды СНИИГТИМС, 1969, вып. 104.

2. Белоус И. Р., Утехин Г. М., Кирикилица С. И. — К вопросу о закономерностях локализации оруденения в Никитовском рудном поле Геология рудных месторождений, 1967, № 3.

3. Утехин Г. М., Белоус И. Р. — Зоильное развитие сурьмяно-ртутной минерализации Записки Всес. мин. об-ва, 1966, № 6.

4. Эдельман А. М. О парах ртути в некоторых природных газопроявлениях Донбасса и Приазовья. В сб. «Четвертая геологическая конференция». Степановские чтения. Тезисы докл. Артемовск, 1970.

5. Эдельман А. М. Опыт проведения газортутных исследований в Донбассе — Геологический журнал, 1971, т. 31, вып. 1.

Э. Г. АБИСАЛОВ, В. А. БОРОДИН,
Е. Г. ГИРЯЕВ

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ НА РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕВЕРНОГО КAVКАЗА

В последнее время наметился значительный интерес к использованию элементов-спутников ртутного оруденения при геохимических поисках ртутных месторождений по вторичным ореолам. Особенно большое значение придается роли этих элементов при оценке и интерпретации выявленных геохимических аномалий ртути.

С 1965 по 1968 г. значительные объемы опытно-методических исследований в этом направлении выполнялись Северо-Кавказской геохимической партией Центрального геофизического треста. Получены интересные данные по поведению в рыхлых образованиях ведущего элемента — ртути а также отдельных элементов-спутников ртутного оруденения. Однако из-за слабой контрастности содержаний элементов в рыхлых отложениях и отсутствия в то время приемов усиления слабых сигналов эти работы не были завершены.

В настоящем сообщении приводятся результаты обработки первичных материалов партии при помощи мультипликативной методики. На их основе сделана попытка сопоставить первичные и вторичные ореолы элементов-спутников ртути.

Районы проведения опытно-методических работ выбирались с учетом ландшафтно-геохимических особенностей, типичных для всей ртутоносной провинции. Работы выполнялись на Перевальном, Сахалинском, а позднее и на Тибском ртутных месторождениях.

Участки первых двух месторождений характеризуются низкогорным и среднегорным однотипным ландшафтом со слабо эродированной и густозалесенной поверхностью. Основная часть площади перекрыта четвертичными отложениями, мощностью в среднем 2—3 м. Разрез представлен серыми и бурыми почвами,

слабо различающимися между собой. Для серых почв отмечается более четкое развитие почвообразующих горизонтов, довольно ясно выражен иллювиальный горизонт; в бурых почвах этот горизонт почти не выражен, так как он обычно маломощный и часто насыщен обломками пород. В бурых почвах отмечается также развитие оподзоливания в гумусовом горизонте.

На месторождениях было пройдено по два геохимических профиля протяженностью 300—320 м. В профиле с интервалом в 20 м проходились неглубокие шурфы, вскрывающие верхние горизонты рыхлых отложений, которые затем добуривались до коренных пород скважинами мелкометражного бурения (УПБ-25).

Район Тибского ртутного месторождения характеризуется высокогорным трансэлювиальным ландшафтом с крутыми выпуклыми склонами водоразделов. Мощность элювиально-делювиального слоя колеблется от 0,5 до 3,5 м. Общий разрез рыхлых образований следующий: гумусовый горизонт маломощный (5—10 см), рыхлый, изобилует неразложившимися органическими остатками; иллювиальный горизонт выражен слабо (15—20 см), состав суглинистый, сложение плотное, структура комковая; делювиальный горизонт является основным почвообразующим горизонтом (1,5—2 м), состоит из супеси с обломками щебня и глыбами вмещающих пород.

Через участок месторождения было пройдено пять геолого-геохимических профилей на расстоянии 100 м один от другого и с интервалами между скважинами в профиле 20 м.

Результаты всех перечисленных опытно-методических работ в основном свелись к следующему: а) ртутное оруденение сопровождается открытым остаточным ореолом ртути, который устанавливается на всех генетических горизонтах рыхлых отложений и по размерам значительно превышает первичный ореол; б) интенсивность вторичного ореола ртути закономерно убывает вверх по разрезу при наибольшей контрастности его в иллювиальном горизонте; в) значение коэффициента пропорциональности характеризуется величинами 1,4; 0,6; 0,4; г) делювиальный горизонт отражает накопление ртути; д) в распределении по фракциям крупности рыхлого материала отмечается увеличение содержания

ртути во фракциях — 0,5; +0,2 и — 0,2 мм; е) смещение вторичного ореола ртути по горизонтам при наклоне рельефа 20—30° для делювиального горизонта практически не происходит, для горизонтов гумусового и иллювиального оно составляет около 10 м; ж) элементный состав вторичного ореола соответствует составу его первичного ореола и фиксируется на всех генетических горизонтах рыхлых отложений аномальными содержаниями ртути и элементов-спутников: свинца, никеля, кобальта, меди, лития, мышьяка и бария; большинство элементов образуют слабоконтрастные ореолы с интенсивностью 1,5—2 геофона; з) корреляционные связи между ртутью и сопутствующими ей элементами в ореоле практически отсутствуют.

В дальнейшем исследования были направлены на установление возможности использования элементов-спутников ртути при оценке и интерпретации известных ртутных аномалий. На первом этапе эти исследования свелись к выявлению возможности оценки перспективности известных рудопроявлений ртути по вторичным ореолам. В связи с результатами исследований первичных ореолов, показавшими широкое развитие перераспределения элементов и возможность использования этого явления при оценке рудопроявлений ртути, была предпринята попытка проследить характер изменения этих закономерностей по разрезу рыхлых отложений.

В этой связи все первичные материалы по перечисленным геолого-геохимическим профилям были пересчитаны с выделением комплексов: надрудного (барий, свинец, цинк), подрудного (медь, кобальт, никель) и общего мультипликативного ореола, а также соотношения $Ba \cdot Pb \cdot Zn / Cu \cdot Co \cdot Ni$.

Анализ данных расчетов позволил установить следующее:

1. надрудный комплекс монотонно убывает вверх по разрезу от коренных пород и на различных генетических горизонтах характеризуется следующими значениями коэффициента пропорциональности: для элювиального — 0,6—0,8; делювиального — 0,4—0,5; иллювиального — 0,2—0,5 и гумусового — 0,03.

2. Подрудный комплекс также монотонно убывает вверх по разрезу от коренных пород, и его коэффициенты пропорциональности в горизонтах рыхлых отложе-

ний имеют величины: для элювиального — 1,4—1,5; делювиального — 0,7—0,8; иллювиального — 0,3—0,4 и гумусового — 0,06—0,3.

3. Отношение надрудных к подрудным элементам слабо колеблется (от 3 до 9) по разрезу рыхлых отложений, характеризуясь наибольшим сходством с коренными породами на уровнях иллювиального и гумусового горизонтов (коэффициент пропорциональности 1,0—1,4).

В поведении выделенных комплексов по различным горизонтам рыхлых отложений отмечается большое сходство, особенно на уровне верхней части иллювиального горизонта. Нижняя часть разреза отличается накоплением подрудного комплекса, что увязывается с особенностями поведения каждого из элементов, входящих в комплекс. В верхней же части разреза на уровне гумусового горизонта наблюдается неустойчивость содержаний всех элементов, что отражается в значительных колебаниях величины коэффициента пропорциональности.

Изучение графиков распределения указанных выше комплексов элементов и их соотношения показывают следующее:

1. Графики групп элементов вверх по разрезу значительно меняются в сторону сглаживания их особенностей, проявленных в коренных породах. Причем наиболее выдержанный характер они имеют на Перевальном месторождении, где отмечается пологий рельеф.

2. Графики надрудного и подрудного комплексов отражают различие в их поведении, возможно, обусловленное дифференциацией этих комплексов за счет перемещения по направлению падения склона. Это особенно резко выражается на крутосклонном рельефе участка Тибского месторождения, где отмечается значительное (60—80 м) смещение надрудного комплекса вниз по склону по отношению к подрудному комплексу и к ореолу ртути. Смещение графика отношения к графику ртути составляет около 160 м.

3. В связи с дифференцированным поведением надрудного и подрудного комплексов в зависимости от угла падения склона отмечается резкое ослабление контрастности отношения самих комплексов. Графики отношения надрудного и подрудного комплексов по профи-

лю через Тибское месторождение для разных генетических горизонтов достаточно четко отражают установленную в коренных породах закономерность. Кривые графиков на профиле через Перевальное месторождение имеют расплывчатый характер, что объясняется отсутствием данных по выработкам в восточной части профиля. Наиболее устойчивые и контрастные графики отношений надрудных и подрудных комплексов отмечаются в делювиальном горизонте (более 1000 на уровне 100; в среднем 50 раз). В направлении вверх по разрезу контрастность резко падает (более 100 на уровне 30—50), четкость графиков нарушается, а характер кривой ослабевает.

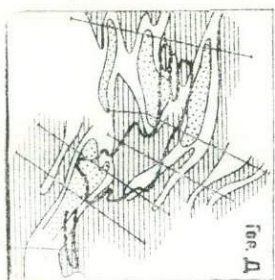
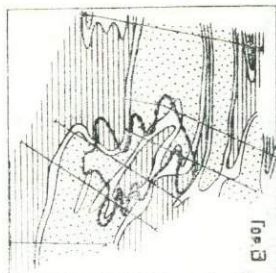
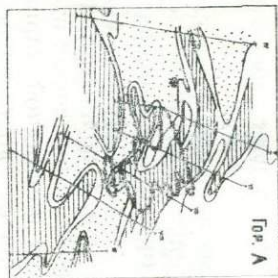
Наиболее убедительные материалы в пользу возможности использования вторичных ореолов при оценке известных рудопроявлений дают опытно-методические исследования, проведенные в Тибском ртутном месторождении, которые показывают, что характер распределения и взаимоотношения между ртутью и ее элементами-спутниками, установленные в первичном ореоле, сохраняются на всех генетических горизонтах рыхлых отложений. При этом наибольшее соответствие отмечается для элювиального горизонта, который не только сохраняет форму первичных ореолов, но и обеспечивает меньшее смещение комплексов элементов-спутников по отношению к эпицентру ртутного оруденения.

На чертеже изображены в плане мультипликативные ореолы отдельных групп элементов, принятых как надрудные (барий, свинец, цинк) и подрудные (медь, кобальт, никель).

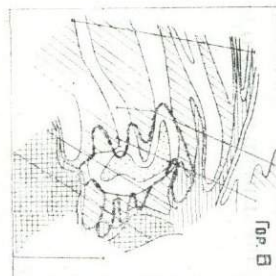
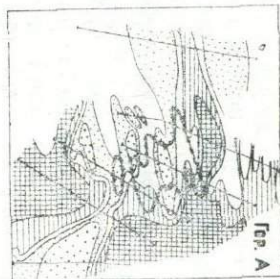
Если надрудный комплекс образует положительные аномальные поля, как совпадающие с ртутным ореолом, так и на некотором удалении от него, то для подрудного комплекса отмечается расположение положительных аномальных полей только на некотором удалении от ртутного ореола. Характер такого размещения этих комплексов отмечается на всех горизонтах рыхлых отложений. Вверх по их разрезу прослеживается увеличение смещения комплексных ореолов по отношению к ореолу ртути. Для последнего, как уже отмечалось, практически никакого смещения не устанавливается. Контрастность характеристики, представляющей отношения надрудного к подрудному комплексу, достаточно

1016

BaPbZn



CuCoNi



1 2 3 4 5
6 7

Фиг. 1. Мультипликативные ореолы различных элементов в коренных породах (Д) и отдельных генетических горизонтах (А, В, С) рыхлых отложений Тибского месторождения

Отрицательный ореол (1—2): 1 — среднеконтрастный; 2 — слабоконтрастный; 3 — уровень фона; положительный ореол (4—6): 4 — слабоконтрастный; 5 — среднеконтрастный; 6 — сильноконтрастный; 7 — контур ртутного ореола

резко падает вверх по разрезу — от 2—3 порядков на уровне делювия до 1—2 порядков в гумусовом горизонте, что обусловлено дифференциацией в поведении этих групп элементов при перемещении по склону.

Вышеизложенный материал позволяет сделать вывод о возможности использования отдельных закономерностей, установленных в первичных ореолах при проведении металлометрических съемок, в конкретных ландшафтных условиях Северного Кавказа. Основным условием при проведении работ по оценке выявленных вторичных ртутных аномалий является площадной характер их изучения, который обеспечивает достоверность установления закономерностей распределения элементов-спутников в первичных ореолах.

**ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА РТУТНОГО ОРУДЕНЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОМПЛЕКСА ГЕОХИМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ
(на примере южного склона
Большого Кавказа)**

Известные зоны ртутной минерализации на южном склоне Большого Кавказа в виде отдельных звеньев тянутся через Северную Осетию, Верхнюю Рачу, Южную Осетию, Сванетию, Горную Абхазию и район Туапсе до меридиана Новороссийска. Ртутная минерализация на южном склоне в основном сосредоточена в песчано-глинистых отложениях верхнего лейаса и средней юры. Здесь известно несколько десятков ртутных месторождений и рудопроявлений.

Ртутное оруденение локализовано и в более молодых отложениях: в порфиритовой свите байоса в верхнеюрских, ниже- и верхнемеловых флишевых отложениях и в терригенных и рифогеннолагунных верхнеюрских отложениях. За пределами известных ртутных месторождений и рудопроявлений в этих отложениях выявлено несколько сотен участков с геохимическими аномалиями ртути и ее элементов-спутников и с богатым содержанием киновари в шлихах.

При прогнозировании ртутного оруденения здесь довольно широко применяются геохимические методы поисков в комплексе с геолого-минералогическими и геофизическими методами. В результате этих исследований выявлен ряд рудопроявлений, перспективные ртутоносные зоны и геохимические интенсивные аномалии ртути и ее элементов-спутников. Особенно эффективно применяются при поисках ртутного оруденения литохимические методы поисков.

В настоящее время остро стоит проблема оценки и разбраковки геохимических аномалий ртути и ее элементов-спутников, количество которых непрерывно увеличивается и особенно заостряется задача оценки геохимических аномалий на флангах известных ртутных

месторождений и рудопроявлений. По этой проблеме нами проводятся геохимические исследования с целью количественной оценки ртутьносных зон по их гипергенным ореолам рассеяния и получения устойчивых геохимических критериев, характеризующих надрудные, рудные и подрудные интервалы оруденения с помощью изучения зональности эндогенных ореолов.

Для анализа геохимических проб применяются следующие аналитические методы: 1. Нами усовершенствованный двудуговой метод спектрального анализа для совместного высокочувствительного определения Hg, As, Sb с чувствительностью: Hg — $3 \cdot 10^{-5}\%$, As — $3 \cdot 10^{-5}\%$, Sb — $3 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}\%$. Систематическая ошибка анализа на Hg — 1,5%, As — 1,2%, Sb — 1,6%. Случайная средняя абсолютная ошибка анализа: Hg — 19,5%, As — 16,3%, Sb — 20%. Все пробы подвергаются анализу этим методом. 2. Пробы, в которых Hg не обнаруживается, анализируются более высокочувствительными методами Н. Х. Айдиньяна [1] и Е. А. Сергеева и П. А. Степанова [3].

3. Для определения Pb, Zn, Bi, Cu, Ag, Mo, Ba, Co, Ni и других халькофильных элементов используются приближенно-количественные спектральные методы двойной дуги и трехфазной дуги.

Параллельно с изучением эндогенных ореолов ртути и ее элементов-спутников, нами проводятся исследования по определению интенсивности пропаривания рудовмещающих пород гидротермальными растворами с использованием декрептофонического метода и исследования по выявлению реликтов первичного гидротермального изменения рудовмещающих пород. При изучении характера и типов окolorудного изменения проводятся работы с целью выявления зонального ряда расположения парагенезисов минералов во вмещающих породах. Полученные результаты всех отмеченных геохимических показателей применяются в комплексе для более надежной оценки геохимических аномалий и ртутьносных зон.

Геохимические работы по количественной оценке ртутьносных зон по их гипергенным ореолам ртути и ее элементов-спутников, проведенные по методам, разработанным А. П. Солововым в 1959 г. [4], дали возможность подсчитать прогнозные запасы на участках. На флангах первых двух участков последующими поис-

ково-разведочными работами были подтверждены предполагаемые ориентировочно-прогнозные запасы ртути.

При оценке гипергенных аномалий ртути и ее элементов-спутников одной из главных задач является выявление критериев, позволяющих по их значениям судить о вещественном составе ртутно-сурьмяно-мышьяковых руд на глубине. Для решения указанной задачи были подсчитаны отношения между средними содержаниями As и Hg, Sb и Hg во вторичных ореолах с учетом гипергенного перераспределения химических элементов в надрудных горизонтах ртутных, мышьяковых и сурьмяных месторождений по геохимическим профилям. В прилагаемой таблице показаны пределы изменения отношений между содержаниями этих элементов. Указанные различия между величинами отношений As : Hg и Sb : Hg используются нами эффективно при поисках.

Пределы изменения отношений A_s/H_g и Sb/H_g в зависимости от типа оруденения

Месторождения, рудопроявления	Тип оруденения	$\sqrt{\quad}$	$\frac{As}{Hg}$	$\sqrt{\quad}$	$\frac{Sb}{Hg}$
1	Ртутное	2,0	2,4 ⁺¹	0,4	2,4 ⁺¹
2	Мышьяковое	17,5	1,26 ⁺¹	2,8	1,5 ⁺¹
3	Сурьмяное	370	1,37 ⁺¹	785	1,37 ⁺¹

Для установления зонального строения первичных ореолов конкретных месторождений наиболее достоверную информацию можно получить по картам изоконцентраций характерных элементов рудной зоны, составленным по вертикальным разрезам разведочных профилей.

Изменение отношений между количествами Hg, As, Sb, Pb в % по вертикальным разрезам разведочных профилей месторождения № 1 обнаруживает следующие закономерности:

1. В надрудных интервалах первичных ореолов величина геохимического показателя $\frac{As}{Hg}$ достигает относительно больших значений (6—36, местами боль-

ше 100) и падает с глубиной. Это показывает, что над рудными месторождениями As образует «шапку» в надрудном интервале.

2. В пределах рудного интервала величины отношений $\frac{As}{Hg}$ приобретают низкие значения, лежащие в пределах $1,4 \cdot 1,14^{\pm 1}$, высокую устойчивость которых отражает очень малая величина стандартного множителя ($\varepsilon = 1,14$, $\eta = 17$).

3. В подрудном интервале первичного ореола величины отношения $\frac{As}{Hg}$ вновь возрастают, достигая значений 2—6.

4. Величины геохимического показателя $\frac{Sb}{Hg}$ в рудном интервале лежат в пределах 0,2—0,6 и увеличиваются в подрудном ореоле до 1,5—7,0. В надрудном ореоле повышенные содержания сурьмы иногда не обнаруживаются, что при достаточно высоких содержаниях ртути указывает на малую величину отношения $\frac{Sb}{Hg}$.

5. Величины отношений $\frac{Pb}{Hg}$ в рудном интервале характеризуются значениями $< 1,0$, возрастая в подрудном ореоле до значений $> 10,0$.

Полученные данные позволяют принять в качестве геохимических критериев различий между надрудными и подрудными интервалами первичных ореолов рудных месторождений рудного поля № 1 следующие признаки:

I. В надрудных интервалах величина показателя $\frac{As}{Hg}$ от значений 6,0 падает с глубиной, а величина $\frac{Sb}{Hg}$ может оставаться неопределимой из-за низких значений Sb.

II. В подрудных интервалах первичного ореола показатели отношений $\frac{Ag}{Hg}$, $\frac{Sb}{Hg}$ и $\frac{Pb}{Hg}$ растут с глубиной, приобретая значения $> 1,0$.

Сложная морфология первичных ореолов Hg, As, Sb и Pb на участке Шура затруднила определение подвижности элементов по многим сечениям ореолов. Для определения подвижности элементов по экспоненциаль-

ному закону, предложенному А. П. Солововым и Р. И. Дубовым [5], на картах изоконцентраций были выбраны сечения, характеризующиеся более простой морфологией ореолов.

Установлено, что подвижность Hg, As, Sb в висячем боку рудной зоны обычно больше, чем в лежащем боку. Средняя подвижность Hg и As от рудного к подрудному интервалу уменьшается, а подвижность с глубиной увеличивается, имея наибольшее значение в подрудном ореоле. Для Hg этот признак отмечается только в висячем боку, для As и Sb — как в висячем, так и в лежащем боку рудной зоны. Подвижность Hg, As, Sb в некоторых случаях различна в начальных (в 10—30 м от рудной зоны) и последующих интервалах ореола, обычно она больше во втором интервале.

Если судить по всем данным в целом, по главной рудной зоне можно установить следующий ряд подвижности.

Рассмотрение зонального изменения силы связи между содержаниями элементов по участкам Шура и Тхасу показывает, что в рудном интервале коэффициенты корреляции между содержаниями Hg и As во всех случаях имеют статистически значимые, положительные оценки с тенденцией к ослаблению силы связи в нижнем рудном и подрудном интервалах. Коэффициенты корреляции между содержаниями Hg и Sb в подрудном интервале ореола во всех случаях остаются положительными и статистически значимыми, обнаруживая тенденцию к росту с глубиной. Полученные данные подтверждают одновременность отложения ртути и ее элементов-спутников.

В настоящее время для выявления геохимических показателей отношений и корреляционной связи между содержаниями химических элементов, монотонно изменяющимися с глубиной, нами производится обработка данных на ЭВМ «Минск-22» по программам «012» и «061», разработанным А. П. Солововым и А. В. Гараниным в 1971 г. [6]. Полученные результаты показывают, что на ртутном месторождении № 1 монотонно меняющимися отношениями на разных уровнях рудного тела,

уменьшающимися с глубиной, являются $v = \frac{\text{Hg} \cdot \text{As}}{\text{Pb} \cdot \text{As}}$ и $v = \frac{\text{Hg} \cdot \text{As}}{\text{Bi} \cdot \text{Zn}}$.

На мышьяковом месторождении № 2 монотонно меняющимся отношением на разных гипсометрических уровнях рудного тела, с убыванием величин значений с глубиной, является $\gamma = \frac{As \cdot Sb}{Zn \cdot Pb}$.

В целом, среди рассмотренных геохимических показателей зональности ртутного оруденения наиболее важное значение для оценки геохимических аномалий имеют величины отношений и коэффициентов корреляции между содержаниями рудных элементов. Показатели подвижности элементов могут иметь только вспомогательное значение.

Полученные критерии зональности были использованы для оценки флангов месторождения № 1. Последующими геологоразведочными работами были подтверждены наши предположения о ртутоносности Западного фланга.

Для выявления ореолов пропаривания с помощью использования декрептофонического метода опытно-методические работы проводились нами на ртутных и ртутно-мышьяковых месторождениях и рудопроявлениях № 1, № 2, № 3 и других.

Декрептофонический метод широко был использован совместно с геохимическими методами для выявления зон низкотемпературного интенсивного пропаривания, с которым часто связана ртутная и ртутно-мышьяковая минерализация.

В зонах ртутно-мышьяково-сурьмяного оруденения в пределах Грузии устанавливаются следующие типы окколорудных изменений: осветление и перекристаллизация, окварцевание, аргиллитизация, пиритизация, карбонатизация, серицитизация, хлоритизация, цеолитизация и битуминизация.

Из отмеченных типов окколорудного изменения для ртутных месторождений особенно характерным является аргиллитизация. В этом процессе гидротермального изменения из глинистых минералов интенсивно развивается диксит. Со значительно меньшей интенсивностью дикситизация проявлена на сурьмяных и мышьяковых месторождениях.

На ртутных и ртутно-мышьяковых месторождениях очень интенсивно развивается и карбонатизация, которая менее характерна для сурьмяных месторожде-

ний. Карбонатизация интенсивно развита как в алюмосиликатных, так и в карбонатных породах. На ртутных месторождениях местами породы полностью карбонатизированы.

Серицитизация развита в алюмосиликатных породах, в основном за счет изменения плагиоклаза. Местами плагиоклаз нацело серицитизирован. Серицитизация особенно характерна для сурьмяных месторождений и менее характерна для ртутных.

Внимания заслуживает тот факт, что процесс хлоритизации интенсивно развит в зонах реальгар-аурипигментового оруденения, а на ртутных и сурьмяных месторождениях он проявлен менее интенсивно.

Нами установлено, что повышенные содержания битуминозного вещества на ртутных и ртутно-мышьяковых месторождениях фиксируются в основном над рудной зоной в кварцевых и кальцитовых прожилках, в порах и в микротрещинах, в зонах брекчирования, дробления, гидротермального изменения пород, и морфология ореола битуминозного вещества на участке Шура отвечает форме рудоносных горизонтов и эндогенных ореолов.

Сравнивая поведение Hg, As, Sb, Pb с околорудными изменениями на месторождении № 1, можно заметить, что повышение содержания указанных элементов во вмещающих породах в большинстве случаев соответствует местам интенсивной аргиллитизации, карбонатизации и пиритизации. Околорудные изменения на участке Шура проявлены в основном в местах трещиноватости, перемятости и брекчирования и по мощности нередко превышают 200—300 м. Первичные ореолы ртути и мышьяка часто значительно выходят за пределы зоны околорудного изменения, а ореолы Sb и Pb в основном развиты в пределах околорудного изменения.

В результате изучения парагенезисов минералов в рудовмещающих породах ртутных и ртутно-мышьяковых месторождений и рудопроявлений получены следующие ряды парагенетических ассоциаций минералов.

1. На рудопроявлениях Эрцо и Абанос-хали, где ртутное и ртутно-мышьяковое оруденение локализовано в порфиритовой свите байоса:

а) кальцит + пироксен + плагиоклаз + хлорит + гидроокислы;

б) кальцит + сидерит + пироксен + диккит;

в) кальцит + сидерит + диксит + кварц.

II. На рудопроявлениях Замтареты и Арашенда, где ртутное оруденение локализовано в песчаниках:

а) кальцит + гидрослюда + хлорит + гидроокислы;

б) кальцит + серицит + диксит + гидроокислы;

в) кальцит + серицит + диксит;

г) кальцит + диксит + кварц.

III. На участке Макратела месторождения № 1, где ртутное оруденение локализовано в диабазовых породах, по данным Г. А. Меняйловой [2], устанавливается следующая парагенетическая ассоциация минералов:

а) альбит + хлорит + кальцит + биотит (пирит + титаномагнетит + апатит);

б) альбит + хлорит + кальцит + сидерит (пирит + лейкоксен + апатит);

в) альбит + кальцит + сидерит + диксит (лейкоксен + апатит);

г) кальцит + сидерит + диксит + кварц (лейкоксен + апатит + киноварь).

Выявленная зональность парагенезисов используется нами при оценке конкретных рудоносных зон.

Комплексное изучение всех приведенных геохимических показателей позволяет в первом приближении объяснить физико-химическую природу процессов формирования геохимических аномалий ртути и ее элементов-спутников и дает дополнительную информацию для более достоверной оценки геохимических аномалий и рудоносных зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айдиньян Н. Х. Определение малых количеств ртути в природных объектах. — Труды ИГЕМ АН СССР, 1960, вып. 46.

2. Меняйлова Г. А. Гидротермальные изменения диабазов и ртутное рудообразование (Макрательское рудопоявление в Абхазии). — Доклады АН СССР, 1967, сер. геол., том 174, № 3.

3. Сергеев Е. А., Степанов П. А. Методика спектрального анализа металлометрических проб на ртуть. Бюлл. научно-техн. информ. Всесоюз. ин-та техники разведки МГ и ОН, 1957.

4. Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Изд-во АН Каз. ССР, 1959, Алма-Ата.

5. Соловов А. П., Дубов Р. И. Применение методов физико-математического анализа при геохимических поисках. В сб.

«Геохимические поиски рудных месторождений». — Бюллетень
5НТИ ВИЭМС, 1965, № 3.

6. Соловов А. П., Гаранин А. В., Голубеев В. С.,
Матвеев А. А. Теоретические основы геохимических поисков сле-
пых рудных тел. В сб. трудов II Сессии СГПМ, 1971, Иркутск.

7. Церцвадзе З. Я. Первичные ореолы и распределение рту-
ти, мышьяка и сурьмы в районах ртутного оруденения на южном
склоне Большого Кавказа. Автореферат дисс. на соиск. ученой сте-
пени канд. геол. наук. М., 1967.

8. Церцвадзе З. Я. Условия формирования и геохимиче-
ские поисковые признаки ртутных, мышьяковых и сурьмяных место-
рождений (геохимические исследования на примере Кавказа).
Изд-во «Недра», 1972.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНАЛЬНОСТИ РУТУНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ

Важнейшим условием успеха геохимических поисков слепых рудных тел по их первичным ореолам и правильной оценки связанных с ними вторичных ореолов рассеяния является учет зональности рудоотложения. В практике поисков это определяется необходимостью установления геохимических различий между надрудными ореолами, убогими центральными интервалами рудной зоны и подрудными первичными ореолами месторождения. Опыт последних лет показал, что наиболее надежными критериями этих различий являются величины отношений между содержаниями химических элементов, численные значения которых монотонно убывают по падению рудной зоны [5]. Отыскание таких монотонно изменяющихся показателей зональности производится с помощью ЭВМ по результатам геохимического опробования хорошо разведанных месторождений. В последующем выбранные показатели зональности служат для оценки выявленного оруденения в метрике разведанного месторождения того же генетического типа.

По разработанной на кафедре геохимии МГУ программе «062» для исследования зональности рудных месторождений были обработаны на ЭВМ «Минск-22» результаты геохимического опробования трех ртутных месторождений: Терлигхайского (Тува), Орлиногорского (Салаир) и Дальнего (Сев. Кавказ). Более подробно была исследована зональность Терлигхайского месторождения с последующим использованием выявленных закономерностей для интерпретации результатов геохимических поисков, проведенных в пределах рудного поля этого месторождения.

Участок Терлигхайского ртутного месторождениялагают нижнедевонские андезито-дацитовые порфириты и туфобрекчии умеренно кислого состава, смятые в антиклинальную складку близширотного простирания со

сложным блоковым строением. Ртутное оруденение принадлежит к кварцево-киноварному типу и представлено серией жильных тел, приуроченных к крутопадающим трещинам склона. В совокупности рудные тела образуют рудоносную зону мощностью до 100—120 м, выходящую на поверхность и к востоку постепенно погружающуюся на глубину [1, 3, 4].

Исследование первичной зональности Терлигхайского месторождения по программе «062» было проведено по трем разведочным профилям для средних содержаний 5 химических элементов — Hg, As, Ag, Sb, Zn. Полученные при этом результаты, показанные в табл. 1, охватывают интервал 230 м — от надрудных горизонтов до нижней выклинки рудных тел.

Таблица 1

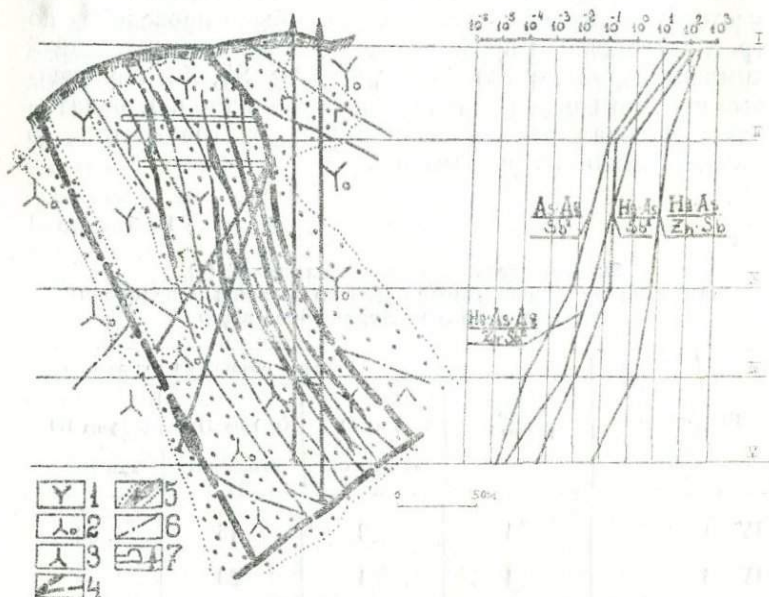
**Значения геохимических показателей [γ],
вычисленных по программе «062» по эталонным профилям
Терлигхайского месторождения ртути.**

№ профиля	Число уровней	Найдено монотонных показателей		
		$\left(\frac{1}{1}\right)$ из 10 возможных	$\left(\frac{2}{2}\right)$ из 55 возможных	$\left(\frac{3}{3}\right)$ из 170 возможных
IV—а	4	2	15	38
IV—б	4	4	23	—
V—а	5	2	11	39
Сводный—IV —а + V—а	6	2	9	37

По разведочным профилям IV-а и V-а обнаружилось 17 общих геохимических показателей зональности I—III порядков (соответственно 1, 3 и 13), в том числе большой разрешающей силы (например $\frac{Ag}{Sb} = 1672$ или $\frac{Hg \cdot Ag}{Sb^2} = 4,25 \cdot 10^6$ и др.). При 9 уровнях, опробованных на двух профилях, появление такого числа общих геохимических показателей зональности не может рассмат-

риваться в качестве случайного результата [6], и все они имеют отчетливый геохимический смысл. Характер изменения с глубиной четырех таких монотонных геохимических показателей зональности по профилю V-а показан на фиг. 1.

Зональный ряд отложения элементов (сверху вниз): As, Ag, Hg, Zn, Sb.



Фиг. 1. Геологический разрез по профилю V-а Терлихайского ртутного месторождения и графики геохимических показателей зональности.

Нижнедевонские вулканиды: 1 — андезито-дацитовые порфиры; 2 — туфобрекчии умеренно-кислого состава; 3 афировые андезитовые порфиры; 4 — разрывные нарушения; 5 — рудное тело и его первичный ореол в контуре $3 \cdot 10^{-3} - 0,1$ Hg; 6 — геологические границы; 7 — подземные горные выработки и буровые скважины.

Сопоставление опробованных уровней профилей IV-а и V-а во взаимной метрике по 17 общим v дало устойчивый результат при стандартных отклонениях оценок средних в пределах $\pm 0,05 - 0,22$ «уровня». Это сопоставление выявило на двух профилях 6 статистически значимо различающихся уровней оруденения, по резуль-

татам опробования которых был составлен сводный геохимический профиль Терлигхайского месторождения, также обработанный по программе «062». При этом отчетливо подтвердилось склонение рудной зоны к востоку, поскольку по величине геохимических показателей I уровень по профилю IV-а в зональной колонке соответствует II уровню по профилю V-а и IV уровень по профилю IV-а лежит ниже V уровня по профилю V-а [2]. В результате были выявлены 2 монотонных геохимических показателя первого порядка и 9 показателей второго порядка, которые все оказались общими с профилем IV-б. Таким образом, найденные геохимические показатели зональности по результатам опробования 13 уровней на трех разведочных профилях Терлигхайского месторождения можно считать вполне надежными и они могут быть рекомендованы для использования при оценке уровней оруденения при геохимических поисках.

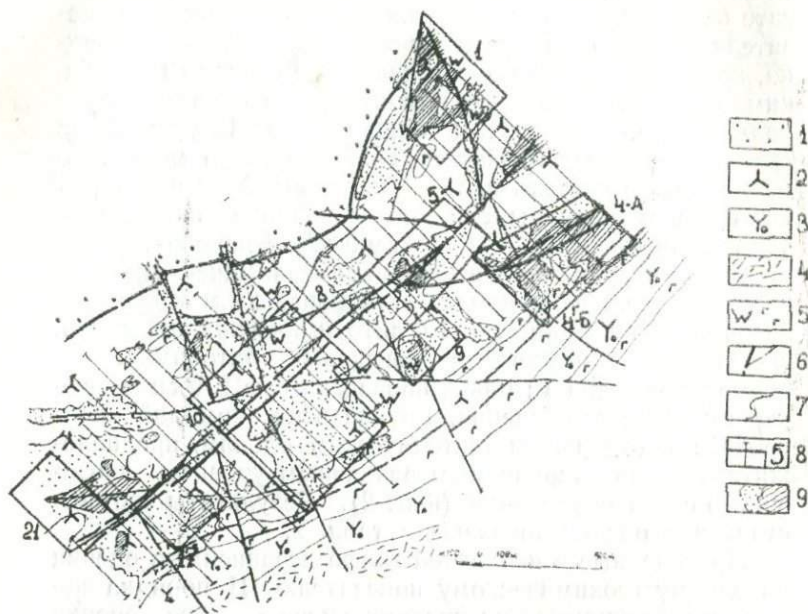
В дальнейшем по 9 выбранным геохимическим показателям зональности γ были таксированы в метрике разведочного профиля V-а 10 литохимических аномалий, выявленных в результате поисковых литохимических съемок масштаба 1 : 10000, проведенных в 2,4 км к юго-западу от месторождения. Группа этих аномалий приурочена к отдельным тектоническим блокам, предположительно характеризваемым различным уровнем эрозионного среза оруденения (фиг. 2). Результаты соответствующих оценок показаны в табл. 2.

Приведенные в последней графе независимые оценки по одному геохимическому показателю III порядка незначимо отличаются от средних оценок. Хотя оценки уровня эрозионного среза 5-го, 8-го и 10-го блоков характеризуются отклонениями ($\pm 0,67 \div \pm 0,98$), в целом значения доверительных интервалов оценок можно считать удовлетворительными. Соответствующие данные были в конце 1971 г. сообщены местной ГРП с рекомендациями по их проверке поисковым бурением.

Результаты исследования зональности Орлиногорского ртутного месторождения дали менее отчетливые результаты в связи с меньшим объемом исходных геохимических данных. Вмещающими породами этого месторождения являются известняки; по составу руд оно относится к малосульфидному кварцево-киноварному типу, в отдельных участках значительная роль принад-

лежит гематитовой минерализации. Исследования зональности этого месторождения были проведены по программе «062-МГУ» по двум разведочным профилям с учетом распределения 8 химических элементов: Hg, Cu, Pb, Ni, Ag, As, Zn, Sb.

Полученные при этом результаты приведены в табл. 3. Важно отметить, что из большого числа монотонных



Фиг. 2. Первичный геохимический ореол ртути юго-западного фланга рудного поля Терлигхайского месторождения.

1 — терригенные образования ордовика; 2—4 — нижнедевонские вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы; 2 — вулканогенные среднего состава; 3 — вулканогенно-осадочные; 4 — вулканогенные кислого состава; 5 — интрузивные габбро-диабазы и диабазы Баянкольского комплекса; 6 — разрывные нарушения; 7 — геологические границы; 8 — профили геохимического опробования, расчетные блоки и их номера; 9 — первичный ореол ртути в контуре 0,016—1,0 и 10—4 % Hg.

геохимических показателей, обнаруженных по 1 разведочному профилю, значительное большинство заведомо имеет случайный характер, поскольку при трех опробованных уровнях до 50% всех возможных отношений между содержаниями химических элементов могут из-

меняться монотонно с глубиной даже при полном отсутствии каких-либо признаков упорядоченности рудоотложения. Поэтому выбор показателей зональности, имеющих геохимический смысл, в данном случае возможен только путем сопоставления данных по профилям I и XV Орлиногорского месторождения между собой, а также с данными по Терлигхайскому месторождению. Такие сопоставления показали, что из 14 монотонных геохимических показателей первого и второго порядков, обнаруженных по профилю XV, 13 являются общими с профилем I и, следовательно, могут рассматриваться в качестве достаточно надежных показателей зональности¹. С Терлигхайским месторождением по профилю I Орлиногорского месторождения обнаруживалось только 6 об-

Таблица 2

Оценки уровня эрозионного среза литохимических аномалий ЮЗ участка в метрике профиля У-а Терлигхайского месторождения

Б л о к и	Оценка Zn по $9 \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$	Оценка по отношению
		$\frac{Hg, As, Ag}{Zn, Sb^2}$
А—4	$4,7 \pm 0,43$	4,5
Б—4	$4,0 \pm 0,46$	—
1	$4,3 \pm 0,35$	4,9
5	$6,0 \pm 0,78$	5,6
9	$3,6 \pm 0,35$	4,5
8	$6,5 \pm 0,67$	6,3
А—10	$4,3 \pm 0,91$	—
Б—10	$4,5 \pm 0,98$	—
17	$2,4 \pm 0,38$	3,0
21	$3,2 \pm 0,42$	4,1
А — 10 + Б — 10	$4,4 \pm 0,67$	4,9

¹ Данные Э. Г. Абисалова.

щих геохимических показателей зональности первого—второго порядков, не повторяющихся на профиле XV. Сопоставление по геохимическим показателям третьего порядка не проводилось ввиду их излишне большого числа по профилю I, являющегося следствием малого числа опробованных уровней.

По предварительным данным, зональность отложения элементов для Орлиногорского месторождения характеризуется следующей последовательностью (сверху вниз): Hg, Ag, Zn, As, Sb, Pb, Ni. В этом ряду, при его сходстве с Терлигхайским месторождением, отмечается понижение места мышьяка с первого на четвертое. По косвенным данным, следует предполагать об отложении меди в обособленную стадию.

Таблица 3

Значения геохимических показателей (γ), найденных по программе «062» по эталонным профилям Орлиногорского месторождения ртути.

№ разведочных профилей	Число уровней	Найдено монотонных геохимических показателей γ		
		$(\frac{1}{1})$ из 28 возможных	$(\frac{2}{2})$ из 406 возможных	$(\frac{3}{3})$ из 2884 возможных
I	3	16	201	92
XV	4	1	13	1418

По величине 6 геохимических показателей зональности, общих для двух ртутных месторождений, в метрике Терлигхайского месторождения опробованные по профилю I уровни Орлиногорского месторождения принадлежат к нижним горизонтам рудной зоны. Так, например, III уровень I профиля Орлиногорского месторождения по 5v получил оценку $z = 6,66 \pm 0,1$ (в метрике сводного профиля Терлигхайского месторождения). Сходимость оценок в данном случае явилась весьма высокой. Исследования зональности Орлиногорского месторождения целесообразно продолжить.

По ртутному месторождению Дальнему (Краснодар-

ский край) исследования зональности были проведены по разведочному профилю VI по результатам опробования 5 горизонтов и содержаниям II химических элементов¹. Вмещающими породами этого месторождения являются грубозернистые песчаники, гравелиты, конгломераты и частично глины нижнего мела. Оруденение контролируется зонами дробления.

При обработке по программе «062-МГУ» были выявлены монотонные геохимические показатели первого порядка — 4, (из 55 возможных) и второго порядка — 106 (из 1540 возможных), из них 19 с участием ртути (все II порядка). Зональность отложения элементов по этим данным приблизительно характеризуется следующей последовательностью (сверху вниз): Hg, Sb, Ba, Ni, Co, Pb, Zn, As, Cu, Mn, Sr. По сравнению с Терлигхайским и Орлиногорским месторождениями здесь отмечается дальнейшее понижение места мышьяка и резкое повышение места сурьмы. Данные эти требуют уточнения и анализа минералогических характеристик оруденения.

В связи с тяготением сурьмы к верхним, а мышьяка к нижним горизонтам месторождения Дальнего и отсутствием данных о содержаниях серебра сопоставление Дальнего с Терлигхайским и Орлиногорским месторождениями по найденным ранее геохимическим показателям зональности оказалось невозможным. Для контроля полученных результатов по 10 геохимическим показателям максимальной разрешающей силы, монотонно изменяющейся по профилю VI, была сделана оценка положения рудного горизонта, пересеченного скважиной № 45, пробуренной в том же профиле, но не вошедшей в обработку по программе «062-МГУ». Найденное значение в метрике 5 уровней VI профиля составило $z = 1,9 \pm 0,22$, что хорошо совпадает с действительным положением этой скважины между 2 и II уровнями. Однако для практического использования этих геохимических показателей зональности γ при поисково-разведочных работах в районе месторождения Дальнего необходимы дополнительные данные.

¹ Данные З. Г. Потугина и В. И. Дулепова.

ВЫВОДЫ

Исследования зональности трех ртутных месторождений в различных рудных районах путем обработки геохимических данных на ЭВМ по программе «062-МГУ» выявили наличие между ними признаков сходства (Терлигхайское, Орлиногорское) и различий (Дальнее).

Более подробно исследована зональность Терлигхайского месторождения. В результате этого были выбраны геохимические показатели зональности, с помощью которых оценен в метрике разведанной части месторождения ожидаемый уровень эрозионного среза геохимических аномалий, выявленных наземными литохимическими съемками на юго-западном фланге рудного поля.

Дальнейшие исследования зональности рудных месторождений по программе «062-МГУ» имеют важное значение для развития научных основ и практики геохимических поисков скрытого оруденения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каптель-Каменщиков В. А., Ростов В. Г., Симкин Г. С. Структура Терлигхайского ртутного месторождения и история ее формирования.—Известия ВУЗов, сер. Геол. и разв., 1970, № 5.
2. Каменщиков В. А., Ростов В. Г., Симкин Г. С. Геохимические критерии поисков скрытого орудения на примере Центральной Тувы. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, М., 1972.
3. Кривенко А. П., Павлов А. Н. Магматические комплексы девонского прогиба Тувы. В сб. «Магматические комплексы Алтае-Саянской складчатой области». Изд. СО АН СССР, 1963.
4. Павлов А. Н. О возрасте ртутных месторождений Тувы. В сб. «Материалы по геологии Тувинской АССР», вып. 1. Тувинское книжное издательство, Кызыл, 1969.
5. Соловов А. П., Гагарин А. В., Голубев В. С., Матвеев А. А. Теоретические основы геохимических методов поисков слепых рудных тел. В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений». Симпозиум. Часть II, Иркутск, 1971.
6. Соловов А. П., Гагарин А. В. Оценка уровня эрозионного среза оловорудных проявлений при геохимических поисках. В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», вып. 6. Изд. ИМГРЭ, М., 1971.

Г. С. СИМКИН, И. А. АВГУСТИНЧИК,
В. А. КАМЕНЩИКОВ, В. Г. РОСТОВ,
Т. А. ВЛАДИМИРОВА

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ ТЕРЛИГХАЙСКОГО (ТУВА) И ЗАПАДНО-ПАЛАНСКОГО (ЧУКОТКА) МЕСТОРОЖДЕНИЙ РТУТИ И ПОИСКИ СКРЫТОГО РТУТНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Настоящая работа посвящена основным результатам выявления и апробации геохимических критериев поисков скрытого ртутного оруденения на Терлигхайском и Западно-Паланском месторождениях и их флангах.

Терлигхайское месторождение расположено в юго-восточной части Алтае-Саянской складчатой области, в пределах Тувинского внешнего геосинклинального прогиба, приуроченного к северо-западному крылу Кызылхашской грабен-синклинали, и локализовано в лежащем боку Терлигхайского разлома. Месторождение сложено моноклинально залегающими нижнедевонскими вулканогенно-осадочными образованиями и характеризуется сложным блоковым строением [4]. К основанию разреза нижнедевонских пород приурочен силл интрузивных габбро-диабазов [5]. Ртутное оруденение известно в габбро-диабазовых, в вулканогенных породах среднего состава, где сосредоточена подавляющая часть руд (участок № 2), и в вулканогенно-осадочных образованиях.

Во вмещающих породах широко проявился девонский [7] полистадийный поствулканический процесс, на одной из стадий которого сформировалось ртутное оруденение. Проявление этого процесса привело к возникновению трех зонально построенных пространственных ореолов метасоматических пород: 1) гидротермально-слюдизированных (серицитизированных, гидрослюдизированных, каолинизированных), 2) окварцованных и пиритизированных и 3) оруденелых метасоматитов. Многоканальный последовательный характер формирования

ореолов метасоматических пород обусловил, с одной стороны, их взаимное наложение, а с другой — разобщенность в пространстве центральных зон этих ореолов [9, 10].

В пределах оруденелых (продуктивных) метасоматитов в соответствии с кондициями выделены рудные тела с монокиноварными рудами. Киноварь — единственный промышленный минерал, в небольших количествах ей сопутствуют метациннабарит и блеклая руда.

Объектом методического изучения геохимических ореолов был наиболее важный в промышленном отношении и детально разведанный участок № 2. В его пределах сближенные близпараллельные крутопадающие линзообразные рудные тела, мощностью до 10 м и более, образуют в совокупности близширотную рудоносную зону мощностью до 100—120 м, погружающуюся на восток-северо-восток в сторону основной рудоподводящей и рудоконтролирующей структуры месторождения — Магистрального разлома. Указанная зона может рассматриваться как обобщенная модель рудного тела, прослеженного в контуре содержания ртути 100 г/т по простираанию до 300 м и характеризующегося верхней и нижней выклинкай при вертикальном размахе не менее 250 м.

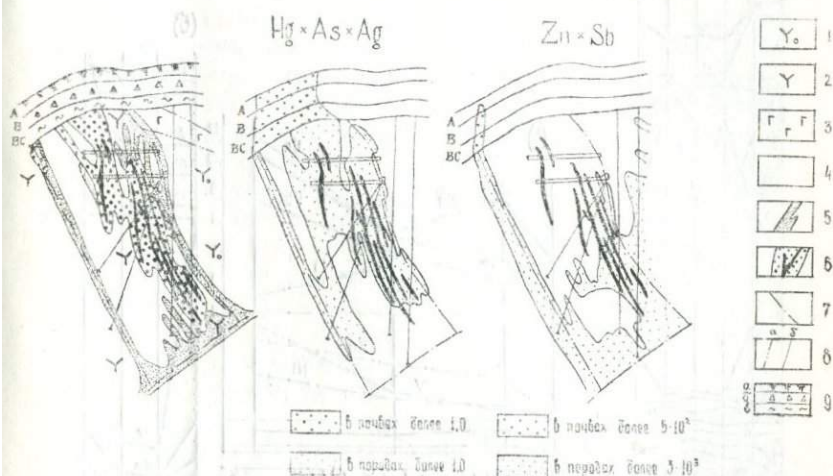
Рудные тела сопровождаются высококонтрастными первичными ореолами накопления («положительными») ртути, мышьяка, серебра, сурьмы, а также малоcontrastными — молибдена, цинка, ванадия, меди, свинца, никеля и кобальта, соответственно развивающимися на фоне их ореолов выноса («отрицательных»)¹.

Ртуть образует наибольший ореол (сотни метров), распространяющийся далеко за пределы рудоносной зоны. Ореолы серебра, мышьяка и ванадия (единицы, десятки метров) развиты, в основном, в верхнерудной — надрудной, а цинка и сурьмы (десятки, сотни метров) — в нижнерудной — подрудной частях зоны. Такая дифференциация ореолов в вертикальном разрезе относительно рудного тела хорошо иллюстрируется мультипликативными ореолами надрудных и подрудных элемен-

¹ Ореолами накопления («положительными») и выноса («отрицательными») принято считать ореолы, минимально-аномальные содержания которых существенно выше или ниже значений местного геохимического фона.

тов-индикаторов (фиг. 1). «Положительные» ореолы кобальта, никеля, меди, свинца (первые десятки метров) в поперечных разрезах рудоносной зоны распределены закономерно, существенно уступая по размерам своим «отрицательным» аналогам (десятки, сотни метров).

Сравнение минерально-геохимических особенностей распределения петрогенных и ореолообразующих элементов в последовательно сформировавшихся простран-



Фиг. 1. Геохимические ореолы прямых и косвенных элементов-индикаторов ртутного оруденения Терлигхайского месторождения.

Профиль V-a, участок 2, Составили Т. А. Владимирова,
Г. С. Симкин

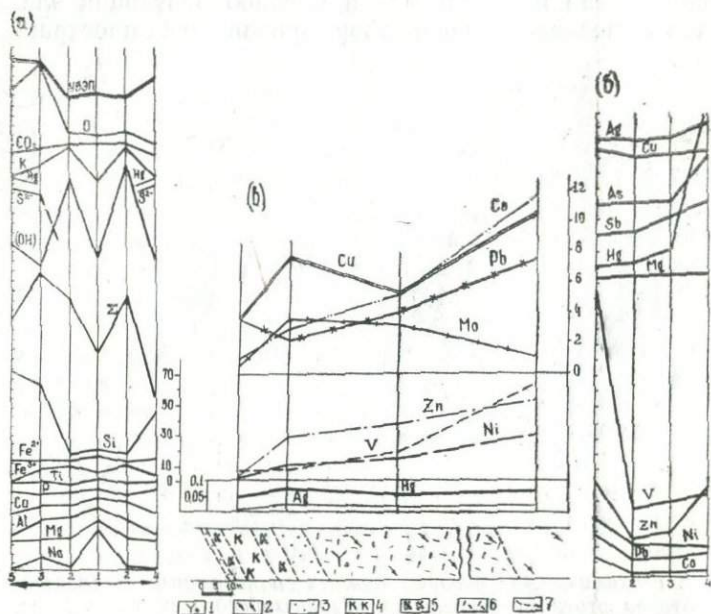
1 — вулканогенно-осадочные породы; 2 — вулканиты среднего состава; 3 — дибазы. Ореолы метасоматических пород: 4 — гидротермально-ослюжененных; 5 — окварцованных, пиритизированных; 6 — оруденелых (продуктивных); 7 — разрывные нарушения; 8 — границы; а — геологические, б — геохимических ореолов и генетических горизонтов почв; 9 — генетические горизонты горно-каштановых почв: а — горизонт А, б — горизонт В, в — горизонт ВС

ственных ореолах метасоматических пород (фиг. 2 а, б, в) позволяет сделать некоторые выводы.

Образование ореола гидротермально-слюдизированных пород, происходившее в результате гидратации и выражавшееся в разрушении порообразующих алюмосиликатных минералов и выносе не только кремния, натрия, кальция, магния, но и ванадия, никеля, кобальта, меди, свинца и цинка, вероятно, привело к возникно-

вению широко развитых в пределах месторождения «отрицательных» ореолов этих элементов.

В процессе формирования ореола окварцованных и пиритизированных пород, протекавшего в условиях при-
вноса кремнезема и серы, происходило метасоматическое отложение новообразованного кварца и возникнове-



Фиг. 2. Графики распределения петрогенных и ореолообразующих химических элементов в метасоматических породах Терлигхайского месторождения ртути

Изменение средних содержаний: а — петрогенных элементов в гидротермально переработанных андезито-дацитовых порфиритах: 1 — неизмененные; 2 — гидротермально-ослюдененные; 3 — окварцованные и пиритизированные; 4 — оруденелые по гидротермально-ослюдененным; 5 — оруденелые по окварцованным; 1 деление — 10 атомов

б — (г/г) — ореолообразующих элементов в гидротермально переработанных андезито-дацитовых порфиритах: 1 — неизмененные; 2 — осветленные; 3 — окварцованные; 4 — оруденелые; 1 деление — по 10 г/г (для серебра 0,1 г/г);

в — (г/г) — в схематическом разрезе ореола гидротермально-ослюдененных пород: 1 — вулканомиктовые песчаники; 2 — вулканомиктовые конгломераты, брекчии, гравелиты.

Метасоматические зоны: 3 — монокварцевая; 4 — внутренняя — карбонат-гематит-каолинитовая; 5 — промежуточная — гематит-кварц-карбонат-гидрослюда-каолинитовая; 6 — внешняя — гематит-кварц-карбонат-серицит-гидрослюдистая; 7 — границы геолитических образований: а — вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, б — метасоматических зон

ние вкрапленности сульфидов железа, молибдена, меди и свинца. Незначительный уровень концентрации этих элементов дает основание предполагать возможность их заимствования непосредственно из вмещающих пород. Этим, вероятно, объясняется в ряде случаев совпадение в пространстве малоконтрастных первичных «положительных» ореолов этих элементов с окварцованными и пиритизированными породами.

Образование оруденелых метасоматических пород (руд), происходившее при существенном привносе ртути, серы, кремнезема, мышьяка, серебра и сурьмы и некотором накоплении цинка, выражалось в возникновении киноварно-кварцевого агрегата, сопровождавшегося метациннабаритом и блеклой рудой. В составе последней сера связывает как привносимые мышьяк и сурьму, так и, вероятно, заимствованную из вмещающих пород медь, содержание которой в оруденелых метасоматитах заметно не увеличивается по сравнению с окварцованными и пиритизированными породами. Привнесенное серебро и ванадий, молибден и цинк, вероятно захваченные из вмещающих пород, концентрируются в киновари и блеклой руде, соответственно на надрудном — верхнерудном, центральнорудном и подрудном уровнях.

Изучение особенностей распределения ореолообразующих элементов (табл. 1), проведенное независимо по каждому из трех эталонных профилей, показало, что ртуть, мышьяк, серебро и сурьма, образующие высококонтрастные, и цинк, молибден, ванадий, формирующие малоконтрастные ореолы накопления и выноса, характеризуются закономерным распределением в вертикальном разрезе относительно рудного тела, в то время как медь, свинец, кобальт и никель не проявляют подобной тенденции. Таким образом, элементами-индикаторами вертикальной зональности могут служить ртуть, мышьяк, серебро, сурьма, цинк, молибден и ванадий, образующие следующий, уточненный по сравнению с приводившимся ранее [3], ряд (сверху вниз): $\text{Ag} - \text{V} - \text{As} - \text{Mo} - \text{Hg} - \text{Zn} - \text{Sb}$. Сравнение этого ряда с обобщенным рядом, предложенным Л. Н. Овчинниковым, С. В. Григоряном [6], показывает их принципиальное сходство. Исключение составляет сурьма. По-видимому, подрудное положение этого элемента в нашем ряду

Ряды вертикальной зональности первичного полиэлементного ореола Терлигхайского месторождения ртути, рассчитанные по значениям приведенных площадных продуктивностей на верхнерудном — надрудном, рудном и корневом пересечениях

Уровни пересечения первичного ореола	Значения коэффициентов контрастности зональности элементов-индикаторов										Ряды вертикальной геохимической зональности	
	Ртуть	Мышь- як	Сереб- ро	Сурьма	Цинк	Мо- либ- ден	Вана- дий	Медь	Сви- нец	Ко- бальт		Ни- кель
					Профиль IV-A							
Верхнерудный-надрудный рудный	0,21	1,95	1,41	0,15	0,49	1,88	1,78	1,59	2,04	1,4	5,43	As-Mo-V-Ag-Zn-Sb-Hg
Рудный корни рудных тел	24,81	7,00	10,83	0,8	0,34	1,5	5,7	1,05	0,75	1,09	0,63	Hg-Ag-As-V-Mo-Sb-Zn
Верхнерудный-надрудный корни рудных тел	5,12	17,6	15,26	0,12	0,17	2,75	10,19	1,67	1,52	1,53	3,45	As-Ag-V-Hg-Mo-Zn-Sb
					Профиль IV-B							
Верхнерудный-надрудный рудный	0,44	0,76	1,16	0,092	0,36	0,63	1,27	0,32	0,27	0,98	0,36	V-Ag-As-Mo-Hg-Zn-Sb
Рудный корни рудных тел	3,11	5,34	2,49	0,47	0,15	1,65	2,74	0,4	1,1	0,92	0,80	As-Hg-V-Ag-Mo-Sb-Zn
Верхнерудный-надрудный корни рудных тел	1,36	3,99	2,89	0,042	0,052	1,03	3,48	0,13	0,29	0,90	0,29	As-V-Ag-Hg-Mo-Zn-Sb

Продолжение таблицы 1.

Уровни пересечения первичного ореола	Значения коэффициентов контрастности зональности элементов-индикаторов										Ряды вертикальной геохимической зональности	
	Ртуть	Мышьяк	Серебро	Сурьма	Цинк	Молибден	Ванадий	Медь	Свинец	Кобальт		Никель
	Профиль V-A											
Верхнерудный-надрудный рудный	0,43	1,5	1,73	0,11	0,2	1,09	2,23	1,85	0,82	3,29	1,81	V-Ag-As-Mo-Hg-Zn-Sb
Рудный корни рудных тел	3,84	3,48	11,52	0,47	0,46	2,18	4,81	1,21	0,71	1,54	3,33	Ag-V-Hg-As-Mo-Sb-Zn
Рудный корни рудных тел	1,66	5,21	20,95	0,025	0,095	2,36	11,09	2,24	0,58	5,05	6,22	Ag-V-As-Mo-Hg-Zn-Sb
	Общее по трем профилям											
Верхнерудный-надрудный рудный	0,36	1,53	1,58	0,12	0,36	1,08	1,88	—	—	—	—	V-Ag-As-Mo-Hg-Zn-Sb
Рудный корни рудных тел	4,7	4,59	7,16	0,55	0,29	1,86	4,00	—	—	—	—	Ag-Hg-As-V-Mo-Sb-Zn
Верхнерудный-надрудный корни рудных тел	1,68	7,05	11,31	0,062	0,01	1,98	7,52	—	—	—	—	Ag-V-As-Mo-Hg-Zn-Sb

объясняется тем, что минеральной формой ее проявления на месторождении является блеклая руда, а не антимонит.

На основании полученного ряда геохимическая зональность находит свое количественное выражение в значениях геохимического показателя (табл. 2), который позволяет оценить уровень пересечения геохимической аномалии, связанной с проявлением ртутного оруденения подобного типа.

Таблица 2

Значения геохимических показателей вертикальной зональности на Терлигхайском месторождении ртути [в единицах местного геохимического фона]

Уровни пересечения первичного ореола	$\frac{As \times Ag \times Hg}{Zn \times (Sb)^2}$	$\frac{As \times Ag}{Zn \times Sb}$
Верхнерудный-надрудный	42377,9	56,4
Рудный	393,65	0,68
Корни рудных тел	0,32	0,005

Среди элементов-индикаторов ртутного оруденения можно выделить две группы. К первой следует отнести привнесенные в ходе рудоотложения ртуть, мышьяк, серебро и сурьму, концентрации которых в рудных телах и сопровождающих их первичных ореолах в 10^1 — 10^4 и более раз превышают значения местного геохимического фона и уменьшаются от рудного тела (центра проявления продуктивного процесса) к периферии первичного ореола. Указанные элементы, закономерно распределенные относительно рудного тела в первичном полиэлементном ореоле, по-видимому, следует называть прямыми элементами-индикаторами ртутного оруденения.

Во вторую группу входят цинк, молибден и ванадий, испытывавшие заметное перераспределение, закончившееся их вовлечением в продуктивный процесс. Об этом, очевидно, может свидетельствовать закономерный характер распределения указанных элементов относительно рудного тела. Эти элементы, образующие малококонтраст-

ные первичные ореолы, концентрации которых лишь в 1,5—3,5 раза отличаются от значений местного геохимического фона, очевидно, следует считать косвенными элементами-индикаторами ртутного оруденения. Уровень их концентрации может быть как существенно выше (молибден, цинк, ванадий), так и ниже (цинк, ванадий) значений местного геохимического фона.

Вторичные ореолы прямых и косвенных элементов-индикаторов ртутного оруденения проявлены во всех генетических горизонтах (А, В и ВС) горно-каштановых почв (мощностью до 70 см), развитых на участке (фиг. 1), и отражают рудные тела и сопровождающие их первичные ореолы [1].

Результаты изучения морфологии вторичных ореолов и закономерностей распределения ореолообразующих химических элементов в вертикальном разрезе горно-каштановых почв позволили рекомендовать в качестве представительного для опробования генетический горизонт А.

Идентичность полиэлементного состава и совмещение в пространстве первичных и вторичных геохимических ореолов свидетельствует о закономерной сопряженности эродированных рудных тел и сопровождающих их первичных ореолов с вторичными ореолами, развитыми во всех генетических горизонтах горно-каштановых почв. Это позволяет выявлять и интерпретировать почвенно-геохимические аномалии, генетически связанные с эндогенными проявлениями ртутного оруденения подобного типа.

Западно-Палянское месторождение расположено в пределах мезозойд Верхояно-Чукотской складчатой области и сложено верхнетриасовыми терригенно-осадочными отложениями, перекрытыми локально сохранившимися покровами вулканитов нижнемелового возраста. Терригенные породы прорваны постнижнемеловыми интрузиями гранитоидов и более поздними дайками различного состава.

Палянское рудное поле приурочено к одноименной антиклинали меридионального направления протяженностью около 30 км, в ядре которой находится Палянский массив гранодиоритов. Крылья складки размахом до 10 км разбиты в серию тектонических блоков сброса-

ми меридионального и северо-западного направлений. Собственно месторождение локализовано в одном из таких блоков западного крыла антиклинали, сложенном моноклинально падающими на запад алевролитами и песчаниками норийского возраста и ограниченном контактовым и восточным разломами меридионального направления.

На месторождении разведано несколько сближенных рудных тел. Наиболее крупное — штокверкообразная залежь, выходящая на дневную поверхность — приурочено к зонам тектонических брекчий алевролитов и песчаников, вытянуто в субмеридиональном направлении и сравнительно круто погружается к юго-западу.

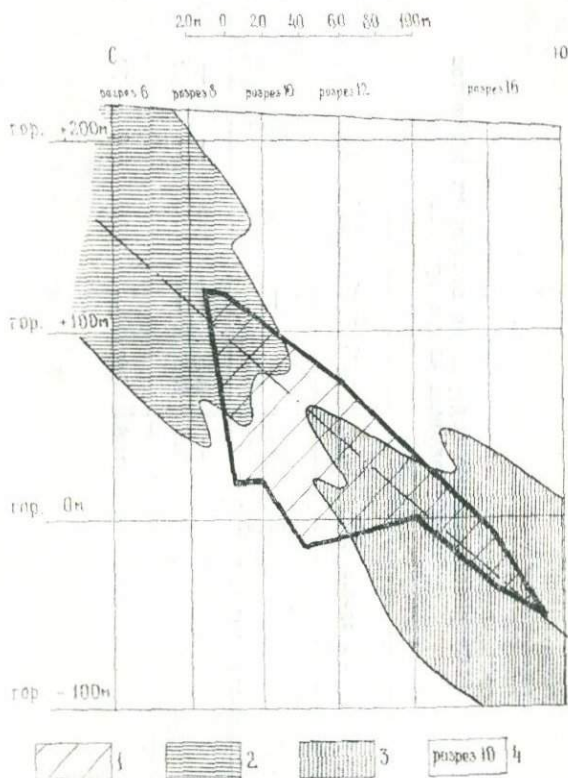
Ртутное оруденение имеет прожилково-вкрапленный характер. Основные рудные минералы — киноварь, марказит, арсенопирит, жильные — карбонаты, диксит. Из дорудных минералов в повышенных количествах встречаются пирит и кварц.

Рудные тела сопровождаются первичными геохимическими ореолами ртути мышьяка, сурьмы, серебра, свинца, цинка, меди, олова, никеля, кобальта и бария. Ртуть и мышьяк образуют наиболее широкие ореолы высокой контрастности, повторяющие форму рудных тел. Размеры ореолов ртути и мышьяка — первые сотни метров. Ореолы остальных химических элементов на изученных поперечных разрезах фиксируются в виде многочисленных мелких разобщенных аномальных полей, вытянутых по падению и восстанию вмещающих пород, и характеризуются слабой контрастностью.

Для выявления геохимической зональности рассматривались ореолы каждого рудного тела в отдельности. Наибольший интерес в этом отношении представляет «слепое» рудное тело в песчаниках, в полиэлементном ореоле которого, в отличие от ореола штокверкообразной залежи, выделяются (фиг. 3) надрудные (разрезы 6, 7), центральнорудные (разрезы 10, 12) и подрудные (разрез 16) сечения. Это позволило рассмотреть осевую зональность первичных ореолов «слепого» рудного тела. На перечисленных разрезах были выделены расчетные зоны в пределах ореолов этого тела. В каждой зоне вычислялись среднеаномальные содержания каждого химического элемента. В связи с прерывистостью

ореолов ряда элементов и малым количеством аномальных проб в отдельных зонах среднеаномальные содержания вычислялись с учетом коэффициента минерализации (табл. 3).

Из таблицы 3 следует, что в надрудной части ореола накапливаются ртуть, мышьяк, серебро и барий, в центральнорудной — цинк и кобальт, в подрудной — олово, никель и медь (фиг. 3).



Фиг. 3. Схема зонального строения полиэлементного первичного ореола вокруг «слепого» рудного тела в песчанике (продольная проекция на вертикальную плоскость)

1 — рудное тело; 2 — ореол элементов надрудной группы; 3 — ореол элементов подрудной группы; 4 — поперечные разрезы и их номера

Таблица 3

**Среднеаномальные содержания химических элементов
в различных частях ореолов**

Уровни пересечения полиэлементного ореола	Раз- резы	Ртуть	Мышь- як	Сурь- ма	Сереб- ро	Барий	Олово	Ко- бальт	Ни- кель	Медь	Цинк
Надрудный	6	3003	35	—	0,47	0,056	0,23	0,20	0,28	0,06	0,18
	8	7477	292	2,3	0,17	0,145	0,26	1,02	—	0,56	1,03
Центральнорудный	10	—	107	—	0,29	—	—	0,08	0,23	0,32	0,39
	12	2572	101	—	0,14	—	0,37	1,12	—	0,33	1,08
Подрудный	16	2946	5,9	—	0,34	0,02	0,72	0,94	0,68	0,83	0,71

Путем расчета градиента величин среднеаномальных содержаний по методике С. В. Григоряна [2] получен следующий ряд осевой зональности (сверху вниз): серебро — мышьяк — (сурьма) — ртуть — барий — цинк — кобальт — олово — никель — медь. Место сурьмы в ряду определено условно, однако расчеты вертикальной зональности по штокверкообразному рудному телу показывают, что сурьма определенно накапливается в надрудной части ореола.

Зональность ореолообразующих элементов в первичном полиэлементном ореоле может быть выражена количественно путем вычисления геохимических показателей γ (табл. 4), представляющих собой частное от деления произведений среднеаномальных содержаний элементов надрудной группы на произведения среднеаномальных содержаний элементов подрудной группы.

Таблица 4

Изменение величин геохимических показателей зональности

Части (уровни) ореолов	Разрезы	$\frac{\text{As} \times \text{Ag}}{\text{Sn} \times \text{Cu}}$	$\frac{\text{As} \times \text{Ag} \times \text{Ba}}{\text{Sn} \times \text{Cu} \times \text{Ni}}$
Надрудный	6	1200	240
	8	340	—
Центральнорудный	10	264	—
	12	—	—
Подрудный	16	3,4	0,11

Величины показателей зональности в надрудной и подрудной частях ореола различаются от 350 до 2400 раз, что может быть использовано для определения уровня эрозионного среза аномалий.

Наряду с первичными на Западно-Палянском месторождении изучались вторичные геохимические ореолы в тундрово-глеевых почвах.

В результате методических исследований установлено, что во всех трех генетических горизонтах почв мощностью до 1 м над рудными телами развиты ореолы рту-

ти, мышьяка, сурьмы, серебра, меди, свинца, цинка, олова, кобальта и никеля. Наибольшее накопление ртути и элементов-спутников ртутного оруденения, в первую очередь основных — мышьяка и сурьмы, происходит в генетическом горизонте В-глеевом, являющимся, таким образом, представительным горизонтом опробования [8].

Проведенные исследования позволили наметить следующие геохимические критерии поисков скрытого ртутного оруденения на примере Терлигхайского и Западно-Палянского месторождений.

1. Первичная геохимическая аномалия, связанная с ртутным оруденением, полиэлементна и представлена высококонтрастными ореолами прямых (ртути, мышьяка, серебра и сурьмы) и малоконтрастными ореолами косвенных (цинка, молибдена, ванадия, меди, свинца, никеля, кобальта и др.) элементов-индикаторов ртутного оруденения. Надрудные и верхнерудные части аномалии главным образом представлены ореолами мышьяка, серебра и ванадия (Тува) и серебра, бария, ртути и мышьяка (Чукотка), а нижнерудные и подрудные — ореолами цинка и сурьмы (Тува) и цинка, свинца, меди, олова, кобальта и никеля (Чукотка). Размеры первичных ореолов таковы, что последние могут быть обнаружены геохимическим опробованием коренных пород по сети $100 \times 5 - 10$ м.

2. Показателями уровня пересечения полиэлементной геохимической аномалии, генетически связанной с ртутным оруденением, служат геохимические показатели γ (табл. 2 и 4), полученные на основании рядов зональности (сверху вниз) ореолообразующих элементов Терлигхайского месторождения: $Ag - V - As - Mo - Hg - Zn - Sb$ и Западно-Палянского: $Ag - Ba - Hg - As - Zn - Sb - Pb - Ni - Cu - Co$.

3. Вторичная геохимическая аномалия, связанная с проявлениями ртутного оруденения, полиэлементна и проявляется во всех генетических горизонтах горно-каштановых (Тува) и тундровых (Чукотка) почв. В ее состав входят ореолы ртути, мышьяка, серебра, сурьмы, а также цинка, ванадия и молибдена (Тува) и ртути, мышьяка, сурьмы, серебра, бария, цинка, свинца, меди и других элементов (Чукотка). Представительным горизонтом опробования в горно-каштановых почвах является генетический горизонт А, а в тундровых — генетичес-

кий горизонт В-глеевый. Размеры вторичных ореолов таковы, что последние могут быть обнаружены геохимическим опробованием почв по сети 100×20 м.

На основании полученных геохимических критериев проведены опытно-производственные поиски по первичным и вторичным ореолам. Результаты таких поисков по ряду участков приводятся ниже.

В пластообразном теле габбро-диабазов, приуроченном к основанию разреза нижнедевонских пород Терлигхайского месторождения, известна ртутная минерализация, контролируемая ослабленными зонами, ориентированными в плоскости интрузивного тела. По данным бурения, мощность минерализованных зон увеличивается по падению тела с глубиной в направлении основной рудоподводящей и рудоконцентрирующей структуры месторождения — Магистрального разлома.

С целью установления возможных перспектив обнаружения ртутного оруденения в более глубоких частях пластообразного тела габбро-диабазов произведено геохимическое опробование скв. 194, 199, вскрывающих зоны ртутной минерализации на глубине соответственно 320 и 530 м. Проведенное опробование позволило выявить полиэлементную геохимическую аномалию элементов-индикаторов ртутного оруденения (фиг. 4).

Основные параметры выявленной аномалии — частные ряды вертикальной зональности и значения показателей уровня пересечения показывают, что рассматриваемая аномалия, связанная с проявлением ртутного оруденения, вскрыта буровыми скважинами на уровне верхних частей рудных тел (табл. 5 и 6).

Таким образом, анализ геолого-структурных особенностей и параметров первичных ореолов позволяет положительно оценить перспективы выявления ртутного оруденения в габбро-диабазе на глубоких горизонтах участка № 6.

Минерализованные зоны в габбро-диабазе предлагается вскрыть двумя-четырьмя скважинами в восточной части участка № 6, в 100—150 м восточнее устья скв. 199. Указанные скважины должны быть ориентированы в западно-юго-западном направлении.

Участки Северный и Южный расположены непосредственно к северу и югу от Западно-Палянского месторождения. На участке Северный (фиг. 5) выявлено не-

сколько сравнительно небольших полиэлементных вторичных геохимических аномалий, пространственно приуроченных к Восточному разлому, а также аномалия в

Таблица 5

Некоторые параметры первичных ореолов геохимической аномалии, связанной с проявлением ртутного оруденения в интрузивном теле габбро-диабазов

Уровни пересечения геохимической аномалии	Ртуть	Мышь- як	Се- реб- ро	Сурь- ма	Цинк	Вана- дий	Мо- либ- ден	Частный ряд вертикальной зональности
Среднее содержание (в г/т)								
Скв. 194	43,0	276,0	0,14	4,4	51,0	138,0	1,69	
Скв. 199	166,0	128,0	0,28	25,4	61,0	203,51	1,6	
Коэффициенты контрастности								
Скв. 194								As—Ag— —Mo—Zn— —V—Hg— —Sb
Скв. 199	0,258	2,16	1,17	0,173	0,836	0,68	1,06	

Таблица 6

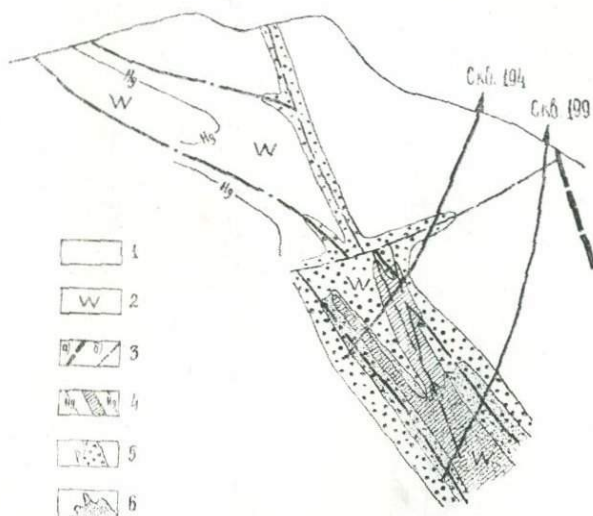
Значения показателей уровня пересечения геохимической аномалии, связанной с проявлением ртутного оруденения в интрузивном теле габбро-диабазов [в единицах местного геохимического фона]

Уровень пересечения геохимической аномалии	$\frac{\text{Hg} \times \text{As} \times \text{Ag}}{\text{Zn} \times \text{Sb}^2 \times (\text{Sb})^2}$	$\frac{\text{As} \times \text{Ag}}{\text{Zn} \times \text{Sb}}$
Скв. 194	44166,15	94,47
Скв. 199	1785,54	5,45

западной части участка над эффузивами нижнего мела. Аномалии представлены ореолами ртути, мышьяка, сурьмы, а также меди, свинца, цинка и кобальта; полиэле-

ментный характер их служит рекомендацией к положительной оценке, а для проверки аномалий рекомендуется провести бурение скважин.

На участке Южный (фиг. 6) также выявлено несколько вторичных геохимических полиэлементных аномалий того же состава. В северной части участка нахо-



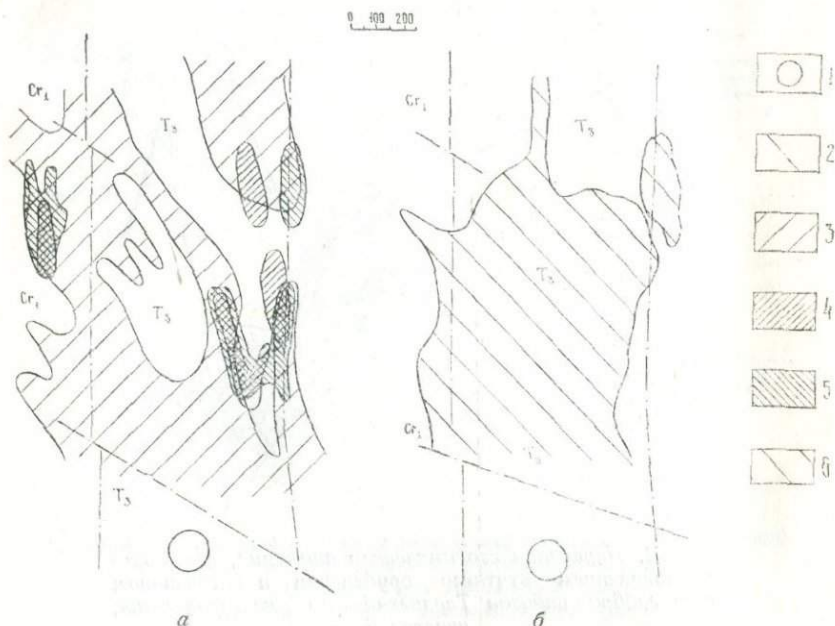
Фиг. 4. Первичная геохимическая аномалия, связанная с проявлением ртутного оруденения в интрузивном теле габбро-диабазов Терлигхайского месторождения, участок 6

Составил Г. С. Симкин

1 — вулканогенно-осадочные породы; 2 — габбро-диабазы; 3 — разрывные нарушения: а — Магистральный разлом, б — оперяющие трещины; 4 — ртутное оруденение (более 30 г/т) и его первичный ореол в контуре более 0,1 г/т; 5 — совмещенный ореол мышьяка (более 100 г/т), серебра (более 0,1 г/т); 6 — совмещенный ореол цинка (более 55 г/т), сурьмы (более 10 г/т).

дится наибольшая по площади аномалия, которая по мере удаления от месторождения к югу постепенно выклинивается. Эта аномалия, видимо, отражает комплексный геохимический ореол месторождения. Центральная часть участка, где в аномалии отсутствуют ртуть, мышьяк и сурьма, может быть признана бесперспективной на

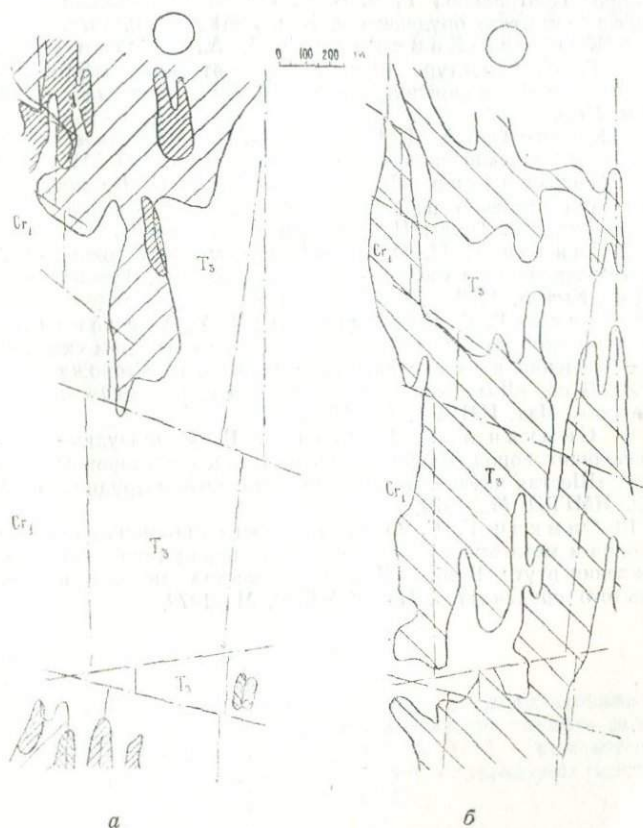
ртутное оруденение В южной части участка фиксируется несколько мелких аномалий, полиэлементный состав которых указывает на возможность ртутного оруденения. Однако поскольку эти аномалии не оконтурены с юга, говорить об их окончательной оценке преждевременно.



Фиг. 5. Вторичная геохимическая аномалия в почвах участка Северный: а — вторичные ореолы ртути, мышьяка и сурьмы; б — то же свинца, цинка, меди, кобальта

1 — Западно-Палянское месторождение; 2 — тектонические нарушения. Содержания элементов в ореолах (г/т): 3 — ртуть (0,02); 4 — мышьяк (10); 5 — сурьма (10); 6 — свинец (34); цинк (130); медь (56); кобальт (17)

Таким образом, на флангах обоих месторождений в коренных породах и почвах выявлены геохимические аномалии — признаки ртутного оруденения. Полученные результаты позволяют наметить очередность постановки поисково-разведочных работ на флангах Терлигхайского и Западно-Палянского месторождений.



Фиг. 6. Вторичная геохимическая аномалия в почвах участка Южный. Условные обозначения см. фиг. 4

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимрова Т. А. Особенности сопряженности геохимических ореолов в почвах и коренных породах Терлигхайского месторождения ртути. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, М., 1972.
2. Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы гидротемальных месторождений, методы их изучения и практическое использование. Автореферат докт. дисс. М., 1971.
3. Каменщиков В. А., Ростов В. Г., Симкин Г. С. Геохимические критерии поисков скрытого ртутного оруденения на

примере Центральной Тувы. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, М., 1972.

4. Каптель-Каменщиков В. А., Ростов В. Г., Симкин Г. С. Структура Терлигхайского ртутного месторождения и история ее формирования. — Изв. ВУЗов, геология и разведка; 1970, № 5.

5. Кривенко А. П., Павлов А. Н. «Магматические комплексы Алтае-Саянской складчатой области». Изд. СО АН СССР, 1963.

6. Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. Труды II серии Междун. Совета. Иркутск, 1970.

7. Павлов А. Н. О возрасте ртутных месторождений Тувы. В сб. «Материалы по геологии Тувинской АССР». Тувинское книжное изд-во, Кызыл, 1969.

8. Ростов В. Г., Каменщиков В. А., Августинчик И. А. Опыт поисков по экзогенным геохимическим ореолам скрытого ртутного орудения в районе Западно-Палянского месторождения на Чукотке, В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, М., 1972.

8. Симкин Г. С., Ростов В. Г. Околорудные изменения вмещающих пород Терлигхайского ртутного месторождения (Тува). В сб. «Шестая научная конференция молодых сотрудников ИМГРЭ». Изд. ИМГРЭ, М., 1970.

10. Симкин Г. С. О сопряженности эндогенных геохимических ореолов и метасоматически измененных пород Терлигхайского месторождения ртути. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, М., 1972.

УДК 550.84.092.1:546.49 (477.6)

Геохимические поиски скрытого ртутного оруденения в Донбассе (связь геохимических ореолов с деформациями пород). Белоус И. Р., Кирикилици С. И., Эдельман А. М. Сб. «Геохимические методы при поисках ртутных и ртутно-сурьмяных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1973, стр. 3—11.

УДК 550.84.092:546.49 (470.62/67)

Результаты сопоставления первичных и вторичных ореолов на ртутных месторождениях Северного Кавказа. Абисалов Э. Г., Бородин В. А., Гиряев Е. Г. Сб. «Геохимические методы при поисках ртутных и ртутно-сурьмяных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1973 г., стр. 12—18.

УДК 553.26.449.041:550.84.092 (479)

Прогнозная оценка ртутного оруденения с использованием комплекса геохимических критериев (на примере южного склона Большого Кавказа) Церцвадзе З. Я. Сб. «Геохимические методы при поисках ртутных и ртутно-сурьмяных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1973, стр. 19—27.

УДК 553.26.449:550.84

Исследование зональности ртутных месторождений при геохимических поисках. Соловов А. П., Гаранин А. В., Симкин Г. С. Сб. «Геохимические методы при поисках ртутных и ртутно-сурьмяных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1973, стр. 28—36.

Показана зависимость первичных литогеохимических и газовых ореолов от типа тектонических деформаций пород. Выделены два основных типа ореолов рассеяния (никитовский и чернокурганский), отличающихся формами и размерами первичных ореолов и кривыми распределения паров ртути в почвенном воздухе. Иллюстраций — 2, библиография — 5 названий.

При обработке геохимических данных, полученных на основе применения мультипликативной методики усиления слабых сигналов, рассматривается поведение отдельных групп элементов-спутников ртутного оруденения: надрудных (барий, свинец, цинк), подрудных (медь, кобальт, никель) и их отношения — барий×свинец×цинк на медь×кобальт×никель в различных генетических горизонтах почв. Анализ графиков и ореолов этих групп позволил установить наличие корреляции между первичными и вторичными ореолами и рекомендовать использование описанных приемов при оценке ртутных аномалий, выявленных металлотрической съемкой. Иллюстраций — 1.

С целью оценки геохимических аномалий на флангах известных ртутных месторождений и рудопроявлений по их гипергенным ореолам, а также получения устойчивых геохимических критериев, характеризующих надрудные, рудные и подрудные интервалы оруденения, автором проведено изучение зональности эндогенных ореолов. Кроме того, проведены с помощью декрептофонического метода исследования по выявлению реликтов первичного гидротермального изменения рудовмещающих пород, а также изучение зонального ряда расположения парагенезисов минералов во вмещающих породах. Табл. — 1, библиография — 8 названий.

Проведенные исследования зональности трех ртутных месторождений после обработки геохимических данных на ЭВМ (программа «062-МГУ») выявили признаки сходства Терлигхайского и Орлиногорского месторождений и признаки их различий с месторождением Дальним. При исследовании зональности Терлигхайского месторождения были выбраны геохимические показатели зональности, позволяющие оценить в метрике разведанной части месторождения ожидаемый уровень эрозионного среза геохимических аномалий. Табл. — 3, иллюстраций — 2, библиография — 6 названий.

УДК 550.84.092:553.449(571.52 + 571.651)

Основные особенности геохимических ореолов Терлигхайского (Тува) и Западно-Палянского (Чукотка) месторождений ртути и поиски скрытого ртутного оруденения. Симкин Г. С., Августинчик И. А., Каменщиков В. А., Ростов В. Г., Владимирова Т. А.

Сб. «Геохимические методы при поисках ртутных и ртутно-сурьмяных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1973, стр. 37—56.

Установлена геохимическая зональность первичных полиэтиленовых ореолов Терлигхайского и Западно-Палянского месторождений, выражающаяся соответствующими рядами (сверху вниз): серебро—ванадий—мышьяк—молибден—ртуть—цинк—сурьма (Терлигхайское), серебро—мышьяк—(сурьма)—ртуть—барий—цинк—кобальт—олово—никель (Западно-Палянское).

Получены показатели уровня пересечения первичной геохимической аномалии, связанной с проявлениями ртутного оруденения подобного типа.

Установлен сопряженный характер развития первичных и вторичных ореолов. Представительным горизонтом опробования горнокаштановых почв (Тува) является горизонт А, тундрово-глеевых (Чукотка) — горизонт В-глеевый.

Производственные поиски на флангах Терлигхайского и Западно-Палянского месторождения выявили в коренных породах и почвах полиэлементные геохимические аномалии — признаки скрытого оруденения и позволили установить очередность поисково-разведочных работ.

Табл. — 6, иллюстраций — 6, библиография — 10 названий.

СОДЕРЖАНИЕ

И. Р. Белоус, С. И. Кирикчица, А. М. Эдельман. Геохимические поиски скрытого ртутного оруденения в Донбассе	3
Э. Г. Абисалов, В. А. Бородин, Е. Г. Гиряев. Результаты сопоставления первичных и вторичных ореолов на ртутных месторождениях Северного Кавказа	12
З. Я. Церивадзе. Прогнозная оценка ртутного оруденения с использованием комплекса геохимических критериев (на примере южного склона Большого Кавказа)	19
А. П. Соловов, А. В. Гаранин, Г. С. Симкин. Исследование зональности ртутных месторождений при геохимических поисках	28
Г. С. Симкин, И. А. Августинчик, В. А. Каменщиков, В. Г. Ростов, Т. Г. Владимирова. Основные особенности геохимических ореолов Терлигхайского (Тува) и Западно-Палайского (Чукотка) месторождений ртути и поиски скрытого ртутного оруденения	37

**КРИТЕРИИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ**

Утверждено к печати

**Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов**

Редакторы Т. Н. Нефелова, О. А. Новиков
Технический редактор Е. А. Хазанова

Т 01267 Подп. в печ. 6.II-1973 г. Форм. бум. 60×90¹/₁₆. Объем 4,0 п. л.
Цена 28 коп. Тираж 1000 экз. Зак. 2533.

Красногорская типография. Райцентр, 4

1016