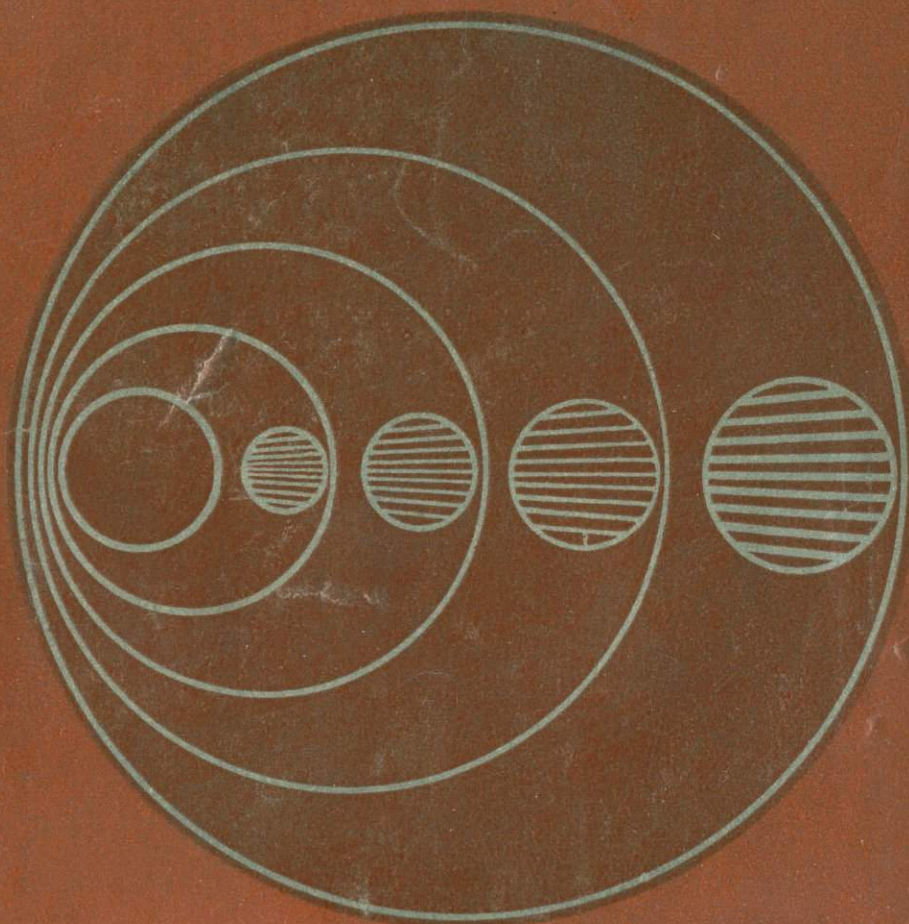


В. З. ФУРСОВ

**РТУТЬ - ИНДИКАТОР
ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ПОИСКАХ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**



В. З. ФУРСОВ

РТУТЬ — ИНДИКАТОР
ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ПОИСКАХ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

2338



МОСКВА «НЕДРА» 1977



Фурсов В. З. Ртуть — индикатор при геохимических поисках рудных месторождений. М., «Недра», 1977. 144 с.

В работе освещаются современные методы измерений концентраций ртути и разделения ее валовых концентраций на отдельные составляющие с помощью атомно-абсорбционных фотометров, а также закономерности распределения ртути в горных породах, рудах, нефтях и углях.

Рассматриваются особенности формирования литохимических и газовых ореолов рассеяния ртути вокруг сульфидных месторождений. Показано, что ртуть является важным индикатором при геохимических поисках погребенных и скрыто-погребенных ртутных, полиметаллических месторождений. Освещается методика геохимических поисков рудных месторождений по ореолам ртути.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов геологов. Табл. 16, ил. 47, список лит — 170 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из путей повышения эффективности геохимических поисков является детальное изучение закономерностей распределения элементов в различных природных системах. При этом важно отыскать элемент с такими специфическими свойствами, которые можно было бы с успехом использовать при геохимических поисках широкого круга рудных месторождений, залегающих в недрах Земли в различных условиях доступности. Таким элементом является ртуть, которая концентрируется в рудах нертутных эндогенных месторождений не только сульфидных, но и других типов. Эти концентрации не имеют промышленного значения, но их геохимическое значение велико.

В связи с этим вокруг рудных тел многих рудных месторождений формируются первичные, вторичные литохимические и газовые ореолы рассеяния ртути. Первичные ореолы ртути наиболее интенсивно развиваются в надрудных частях месторождений, что используется в практике геохимических поисков. Над рудными телами месторождений за счет возгонки ртути, происходящей при любых температурах земной поверхности, образуются газовые ореолы рассеяния ртути в почвенном воздухе. Гипергенные процессы активизируют переход ртути из твердого состояния в парообразное. Источником паров ртути в нертутных эндогенных месторождениях являются руды, а также первичные и вторичные ореолы рассеяния, в которых содержания ртути в 5—1000 раз больше, чем во вмещающих породах. При диффузии и фильтрации от рудных зон и залежей газообразная ртуть большей частью сорбируется перекрывающими отложениями, а частично в форме свободных и окклюдированных паров накапливается в почве благодаря действию ртутного источника в течение длительного геологического времени.

Над погребенными и скрыто-погребенными месторождениями с поверхности фиксируются наложенные ореолы рассеяния ртути, которые имеют меньшую контрастность и малые размеры по сравнению с газовыми ореолами рассеяния. Для увеличения контрастности и размеров наложенных ореолов рассеяния ртути разработаны принципы такой методики измерений, с помощью которой возможно отделять сингенетичную ртуть от эпигенетичной (наложенной), источником которой являются рудные зоны и тела.

В зонах глубинных разломов, перекрытых более молодыми осадками мощностью 1—3 км, пары ртути, фильтруясь из недр,

создают в почвенном воздухе аномальные концентрации, что характерно как для геосинклиналиных, так и для платформенных областей. Наибольшие аномальные концентрации паров ртути генетически связаны с сейсмоактивными глубинными зонами разломов. Источником паров ртути могут быть магмы, рудоносные зоны и горные породы. Из последних ртуть возгоняется при тектонических подвижках и за счет повышения температур, объясняемых наличием геотермического градиента.

Таким образом, существуют большие потенциальные возможности для поисков рудных месторождений. Для реализации и выяснения этих возможностей было необходимо создать аппаратуру и методику измерений ультрамалых содержаний ртути в твердой и газовой фазе. Такие работы проводились в Центральной геохимической экспедиции Казахского геофизического треста (ныне КазИМС) и продолжаются в ИМГРЭ и Бронницкой геолого-геохимической экспедиции. Этой чрезвычайно важной проблеме автор уделяет серьезное внимание.

Первые сведения о геохимии ртути приводятся в трудах В. И. Вернадского. Наиболее полно она исследована А. А. Сауковым. Изучению геохимии и ореолов ртути рудных месторождений посвящены работы Н. Х. Айдиньян, А. П. Большакова, Л. П. Быковской, О. В. Вершковской, С. В. Григоряна, А. Г. Дворникова, М. А. Карасика, Н. А. Озеровой, Г. А. Тереховой, В. П. Федорчука, З. Я. Церцвадзе, А. М. Эдельмана и других, а также труды зарубежных ученых П. М. Бредшоу, М. Коксой, Д. Э. Уайта и др. Исследования в этой области автор проводит с 1955 г. В предлагаемой работе обобщены результаты многолетних исследований. При анализе большого фактического материала главное внимание уделялось аспектам геохимических поисков рудных месторождений по ореолам рассеяния ртути.

При таком подходе многие вопросы геохимии и металлогении ртути нами не освещены. Эти проблемы всесторонне развиты в работах А. А. Саукова [93—96], Н. Х. Айдиньян [1, 2, 96], Н. А. Озеровой [71, 73, 96], В. А. Кузнецова [55], В. Э. Пояркова [84—86], В. И. Смирнова [103, 104], В. П. Федорчука [121—124] и др.

Выполненные исследования имеют методическое значение.

И. И. Степанов, А. В. Бабкин, В. К. Резцов и А. А. Рудковский совместно с автором и под его руководством проводили работы по созданию ртутных атомно-абсорбционных приборов. А. Г. Никитин оказал большую помощь в проведении полевых и камеральных работ, а А. В. Гаранин и М. С. Тонкопий — в математической обработке огромного фактического материала.

Автор признателен С. В. Григоряну, Р. И. Дубову и А. И. Перельману за советы и внимание к работе, а также выражает особую благодарность А. П. Соловову за ценные указания в процессе подготовки рукописи.

АТОМНО-АБСОРБЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РТУТИ

Эмиссионный спектральный анализ является основным методом определения концентраций элементов при геохимических поисках, однако чувствительность массового спектрального анализа на ртуть является очень низкой и равна $3-5 \cdot 10^{-3}\%$.

Применение специальных методик, разработанных Е. А. Сергеевым и П. А. Степановым [100, 101], позволило повысить чувствительность определения ртути до $n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-6}\%$, что недостаточно для геохимических исследований. Достаточной считается такая чувствительность, которая позволяет фиксировать значимые содержания ртути в любой точке геохимического опробования. Кроме того, методика эмиссионного спектрального анализа ртути с чувствительностью $n \cdot 10^{-6}\%$ обладает малой производительностью и плохой воспроизводимостью в интервале содержаний $n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-6}\%$. К тому же серьезным недостатком этой методики является большая масса пробы для анализа (10—20 г) и невозможность определения ртути в газовой фазе.

Атомно-абсорбционный метод анализа, судя по результатам, вполне удовлетворил требования поисковой геохимии по определению концентраций ртути.

Основные принципы. Если монохроматический пучок света длиной волны 2537 Å пропустить через кювету (трубку), в которой находятся пары ртути, то уменьшение энергии его будет обусловлено поглощением света ртутью. Поглощенная энергия затрачивается на переход электронов атомов ртути из основного в возбужденное состояние. Разница в энергиях падающего и прошедшего лучей будет являться мерой концентрации паров ртути в кювете. Для того чтобы атом ртути поглотил квант электромагнитного излучения и перешел из основного состояния с энергией E_1 в электронно-возбужденное состояние с энергией E_2 , должно быть соблюдено следующее [43].

1. Частота излучения должна быть равна

$$\frac{E_2 - E_1}{h},$$

где h — постоянная Планка.

Атом ртути может поглощать свет только тех длин волн, которые совпадают с длинами волн спектральных линий, излучаемых атомом при переходе с более высоких уровней на основной, т. е. в невозбужденное состояние.

2. Между электрическим вектором электромагнитной волны и атомом ртути необходимо особое взаимодействие, которое приведет к переходу электрона на новую орбиту возбужденного состояния.

При комнатной температуре спектр поглощения ртути содержит две линии: 2537 и 1849 Å, которые называются резонансными. Другие линии спектра поглощения ртути не фиксируются, так как число атомов в возбужденном состоянии при этих условиях является недостаточным, чтобы заметно поглощать излучение других частот.

Согласно закону Штарка и Эйнштейна, каждый атом (молекула) поглощает только один квант света. Это обусловлено тем, что концентрация возбужденных атомов относительно низка и поглощение ими еще одного кванта маловероятно. Двухквантовое поглощение возможно осуществить при импульсном возбуждении и под действием лазеров [43].

Для определения концентраций паров ртути по степени поглощения света используется закон Бугера—Ламберта-Бера:

$$I = I_0 \cdot e^{-xcl}, \quad (1)$$

где I_0 — энергия (или число квантов) строго монохроматического света, падающего за единицу времени на переднюю поверхность слоя вещества (паров ртути);

I — энергия, пропущенная слоем (парами ртути) за единицу времени; l — толщина слоя (длина кюветы, где находятся пары ртути); c — концентрация вещества (паров ртути); x — показатель поглощения света на единицу концентрации паров ртути.

Коэффициент x называется молярным коэффициентом поглощения, или коэффициентом экстинкции. Он зависит от природы и состояния вещества, а также от длины волны проходящего света.

Пропорциональность поглощения света концентрации вещества носит лишь приближенный характер, и при высоких значениях концентрации вещества (паров ртути) коэффициент экстинкции начинает изменяться вследствие физико-химических взаимодействий атомов и молекул. Однако для большинства даже сложных газовых смесей применение указанного закона для определения концентраций ртути позволяет получить достоверные данные.

Источником монохроматического излучения резонансных линий ртути 1849 и 2537 Å являются специальные ртутные лампы, давление паров ртути в которых составляет 10^{-6} кгс/см² при температуре трубки 40°*. Коэффициент экстинкции для излучения 2537 Å — наибольший, поэтому эта резонансная линия является самой чувствительной для определения паров ртути.

* Здесь и далее температура в градусах Цельсия.

В качестве источника света в ртутных атомно-абсорбционных фотометрах применяется бактерицидная лампа низкого давления ПРК-4, которая испускает одну резонансную линию ртути 2537 А.

Ртутные фотометры. В Советском Союзе первый атомно-абсорбционный фотометр для измерения концентраций паров ртути в воздухе был создан в 1955—1957 гг. В. А. Ипатовым и Л. П. Пахомовым [41]. В 1958—1961 гг. Д. В. Исавым был разработан стационарный и переносной атомно-абсорбционный газоанализатор для определения степени загрязнения ртутью производственных помещений [42]. Однако указанные газоанализаторы были не пригодны для геохимических исследований в силу недостаточной чувствительности и точности. Поэтому нами было принято решение о создании атомно-абсорбционных фотометров (лабораторных и полевых), чувствительность которых должна быть не менее $n \cdot 10^{-8}\%$ * (твердые пробы) и $1-5 \cdot 10^{-8}$ мг/л (газовые пробы). Такие жесткие требования в отношении чувствительности приборов вытекали из основной геохимической цели работ — измерение «ртутного дыхания» рудных месторождений и фиксирование концентраций ртути в любой геохимической пробе (твердая фаза).

Фотометр, созданный автором совместно с И. И. Степановым [108] в 1963 г. и названный КазРАФ-1 **, предназначался для измерения содержания ртути в газе и твердых пробах и имел двухканальную дифференциальную схему с одним источником света и двумя фотоэлементами, что уменьшало влияние нестабильности ртутной лампы и электроники. Возгонка ртути из проб производилась при температуре 700° в специальной печи. Чувствительность прибора для определения ртути в твердых пробах была равна $n \cdot 10^{-8}\%$, а в газовых $5 \cdot 10^{-7}$ мг/л.

Примерно в это же время в Англии создается ртутный атомно-абсорбционный фотометр для геохимических исследований [165], который имел такую же чувствительность, как и КазРАФ-1.

Завод «Казгеофизприбор» на базе фотометра КазРАФ-1 разработал прибор РАФ-1, который был выпущен малой серией. Однако фотометры КазРАФ-1 и РАФ-1 имели ограниченное применение вследствие существенных недостатков: 1) невозможности измерения концентраций ртути в пробах, содержащих мешающие примеси (органические соединения, сульфиды и пр.); 2) незначительной чувствительности измерения паров ртути в почвенном воздухе и небольшого диапазона измеряемых концентраций в порошковых пробах.

Для расширения области применения атомно-абсорбцион-

* Здесь и далее весовые проценты.

** Казахстанский ртутный атомно-абсорбционный фотометр.

ется парами ртути, так как кювета заполнена чистым атмосферным воздухом. Поток света, направленный через измерительную кювету, частично поглощается парами ртути, которые поступают в кювету из анализируемой пробы. Разность энергии между лучом, падающим на переднюю часть измерительной кюветы, и лучом, прошедшим через нее, будет являться мерой концентрации паров ртути в кювете. Световые потоки, пройдя через обе кюветы, попадают на фотоэлементы, которые чувствительны к резонансной линии ртути. Интенсивность фототоков повышается усилителями постоянного тока. Анодные токи усилителей измеряются микроамперметрами, что упрощает настройку и проверку прибора. Выходные напряжения на усилителях постоянного тока подаются на преобразователь, который, вычитая сигналы измерительной и сравнительной кюветы, преобразует их разность в переменное напряжение с частотой 50 Гц. Усиленная дополнительно усилителем переменного тока разность напряжений, пропорциональная количеству ртути в измерительной кювете, после выпрямления поступает на вход интегратора.

Для контроля за работой всей электронной части фотометра (от источника света до интегратора) служит заслонка, которая перекрывает постоянную часть светового потока.

Средняя относительная ошибка измерений содержаний ртути фотометром КазРАФ-4 составляет $\pm 10-35\%$ в диапазоне $n \cdot 10^{-8} - n \cdot 10^{-4}\%$. Более высокие концентрации ртути могут быть измерены путем уменьшения длины кюветы и навески пробы.

Газоанализатор ИМГРЭ-4 может быть также использован для измерения содержаний ртути в твердой фазе.

Учитывая важную роль сорбента для анализа ртути, остановимся подробнее на его описании.

В качестве сорбента используется золото, которое интенсивно сорбирует ртуть и практически инертно ко многим мешающим примесям. Растворимость ртути в золоте при комнатной температуре довольно высока и составляет $16,7\%$ [82]. При взаимодействии ртути с золотом образуются твердые растворы соединений типа AuHg_2 , Au_2Hg и Au_3Hg , которые диссоциируют при температуре, лежащей ниже их точки плавления [21].

Процесс взаимодействия начинается со смачивания поверхности золота ртутью и продолжается путем медленной диффузии в глубь золотого сорбента. Кинетика процесса взаимодействия в большой степени зависит от поверхностных факторов, т. е. от чистоты и величины поверхности сорбента. Наличие окисной пленки на сорбенте замедляет процесс сорбции ртути. Ртуть вначале диффундирует под окисную пленку, а затем в чистое золото. Нами делалось много попыток использовать золотые сорбенты различной модификации для улучшения качества фотометров. Наиболее оптимальным оказался золотой «струнный» сорбент [109].

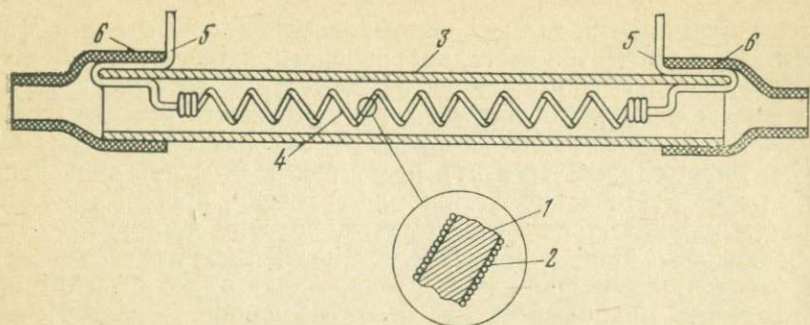


Рис. 2. Золотой струнный сорбент (по И. И. Степанову, А. А. Рудковскому, В. З. Фурсову):

1 — нихромовая проволока; 2 — золотая нить; 3 — стеклянная трубка; 4 — сорбент; 5 — медные выводы; 6 — фторопластовые муфты

Основу сорбента (рис. 2) составляет нихромовая проволока диаметром 0,2 мм, обмотанная виток к витку проволокой из металлического золота диаметром 0,02 мм. При этом образуется некоторое подобие гитарной струны, что позволило этот тип сорбента условно назвать «струнным». Золотая проволока выбрана со столь малым диаметром для того, чтобы можно было легко десорбировать ртуть при подогреве. При большем диаметре ртуть может диффундировать глубоко внутрь проволоки и десорбция такой ртути затруднительна. Нихромовая проволока с золотым покрытием сворачивается в спираль и помещается внутри стеклянной трубки. Нагрев сорбента происходит при пропускании через нихромовую проволоку электрического тока.

Описанный сорбент выдерживает много тысяч единичных измерений без каких-либо заметных изменений свойств, и на его изготовление необходимо 0,5 г золота.

Эксперименты показали, что пары ртути в меньшей степени сорбируются стеклом по сравнению с металлическими и резиновыми изделиями.

На рис. 3 изображена схема установки для измерения ртути в атмосфере в движении. В начале движения атмосферный воздух прокачивается через первый накопительный канал и выбрасывается насосом в атмосферу.

Спустя 30 с после начала работы первого канала переключением крана включается прокачка атмосферного воздуха через второй накопительный канал. Спустя минуту одновременно двумя кранами первый канал подключается к измерительному прибору, а через третий канал просасывается воздух. Таким образом, все три канала работают с частичным перекрытием и в любой момент одновременно работают два канала. Накопленные атомы ртути десорбируются при подогреве сорбента электрическим током и с помощью насоса попадают в атомно-абсорб-

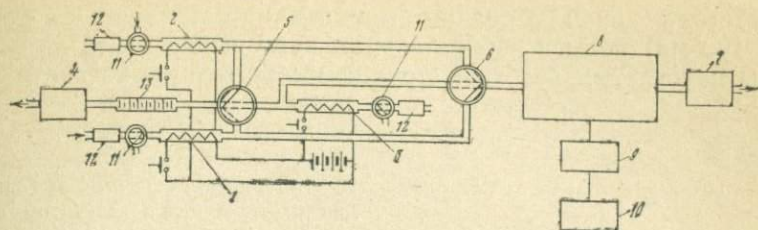


Рис. 3. Схема установки для измерения паров ртути в атмосфере в движении:

1, 2, 3 — накопительные каналы с золотыми струнными сорбентами; 4 — насос, 5, 6 — газовые краны; 7 — насос малой производительности; 8 — газоанализатор; 9 — интегратор; 10 — самописец; 11 — газовый кран; 12 — фильтр из окиси серебра; 13 — ротаметр

ционный фотометр. Общее количество ртути, десорбированной струнными сорбентами, фиксируется интегратором и самописцем. Десорбция и измерение продолжаются 30 с. Спустя полторы минуты после начала движения с помощью кранов второй канал подключается к измерительному прибору, а через первый канал вновь прокачивается воздух. Каналы включаются в режим накопления, и измерения осуществляются строго последовательно и в заданные моменты времени. При измерениях десорбированной ртути фотометром на вход соответствующих каналов с помощью кранов включаются фильтры, наполненные окисью серебра, для поглощения ртути из атмосферного воздуха. Для контроля за расходом воздуха в накопительных каналах установлен ротаметр.

Длина отрезка накопления ртути зависит от скорости движения, а также от геологических и метеорологических условий. Она определяется опытным путем. Под длиной отрезка накопления понимается длина части профиля, на которой происходит прокачка атмосферного воздуха через какой-либо накопительный канал.

Как известно, содержание ртути в водных растворах определяется колориметрическим и атомно-абсорбционным методами.

При измерениях атомно-абсорбционным методом ртуть в растворах восстанавливается с помощью хлористого олова и путем продувки в виде паров направляется в фотометр для измерения [83].

Указанные методы имеют следующие недостатки: низкая чувствительность ($n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-6}$ г/л), помехи за счет органических соединений некоторых катионов и содержаний ртути в реактивах, часто соизмеримых с ее концентрациями в природных водах.

Предлагаемый нами способ свободен от перечисленных недостатков и имеет более высокую чувствительность и надежность измерений.

Метод основан на полном выпаривании небольших количеств (1—100 мл) воды и избирательном поглощении ртути из паров воды подогретым золотым струнным сорбентом и последующем

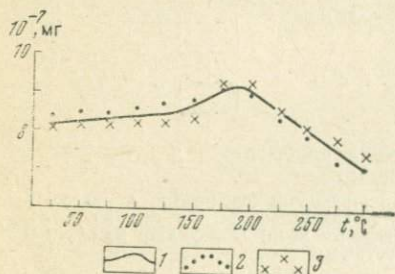


Рис. 4. График зависимости сорбции ртути золотым сорбентом от температуры. Скорость прокачки 1 л/мин:

1 — обобщенный график; 2 — данные первого эксперимента; 3 — данные второго эксперимента

измерении десорбированной ртути атомно-абсорбционным фотометром. При выпаривании водного раствора пары ртути, воды и других веществ проходят через золотой струнный сорбент, который подогрет до температуры 180—190°. Пары ртути сорбируются золотом, а все другие пары удаляются в атмосферу.

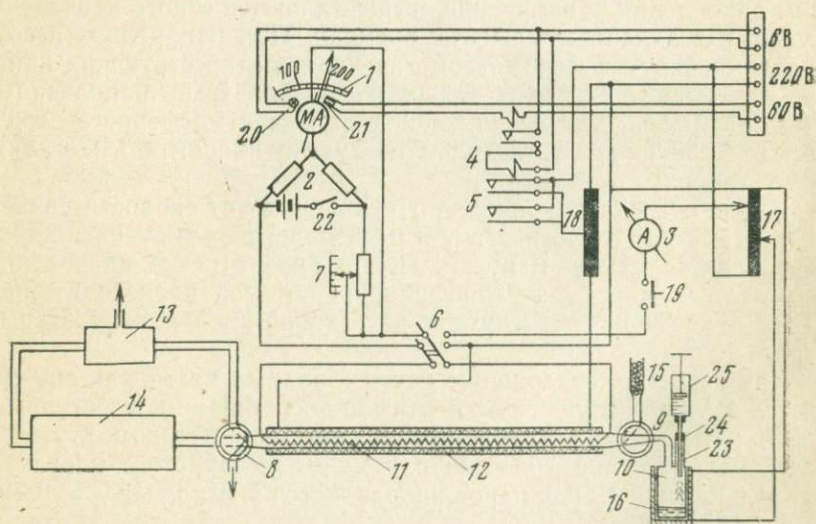


Рис. 5. Схема установки для измерения содержания ртути в воде: 1 — двухпозиционный регулятор температуры; 2 — измерительный мост; 3 — амперметр для контроля тока нагрева сорбента; 4, 5 — реле в цепи регулирования температуры; 6 — переключатель; 7 — потенциометр для установки уровня регулирующей температуры сорбента; 8 — четырехходовой кран; 9 — трехходовой кран; 10 — кварцевый баллон с водой; 11 — золотой струнный сорбент; 12 — подогреватель сорбента; 13 — насос; 14 — фотометр; 15 — сорбент из гидрокиси серебра; 16 — нагреватель испарителя; 17 — регулятор тока сорбента и нагревателя испарителя; 18 — регулятор тока подогревателя сорбента; 19 — выключатель подогревного устройства сорбента; 20 — лампа накаливания; 21 — фотосопротивление; 22 — выключатель батарей моста; 23 — кварцевый штуцер; 24 — уплотнитель; 25 — шприц

После выпаривания температура сорбента повышается до 600° , ртуть возгоняется и поступает без мешающих паров и примесей в фотометр для измерения [145].

Экспериментальные исследования показали, что максимальная сорбция ртути золотым сорбентом происходит при температуре $180-190^{\circ}$ (рис. 4). Средняя относительная ошибка измерений концентрации ртути по трем пробам воды изменялась от ± 13 до $\pm 27\%$.

На рис. 5 показана установка для определения содержания ртути в воде, работающая по предлагаемому принципу. Проба воды заданного объема впрыскивается в кварцевый баллон через штуцер с помощью шприца. Нагревателем вода доводится до кипения и пары ее, а также ртути и других веществ за счет разницы давлений направляются через кран к подогретому струнному сорбенту. Температура на сорбенте поддерживается постоянной и равна 190° . Это достигается с помощью неравновешенного четырехплечевого моста постоянного тока, фотосопротивления и реле. Потенциометр является плечом сравнения моста, а неизвестным сопротивлением — струнный сорбент, сопротивление которого зависит от температуры. Заданная температура (190°) устанавливается двухпозиционным терморегулятором и потенциометром. Сорбент в форме спирали находится в кварцевом трубчатом подогревателе.

Золотой сорбент поглощает пары ртути, а пары воды и других соединений через кран уходят в атмосферу. Для ликвидации потери ртути сухие остатки подогреваются в колбе до температуры 800° с помощью нагревателя. При этом остатки ртути возгоняются и осаждаются на сорбенте. После испарения пробы краны переключаются и с помощью насоса удаляются остатки влаги из коммуникаций. Затем переключается кран и температура сорбента увеличивается до 600° . Контроль за величиной тока сорбента производится амперметром. Ртуть возгоняется с золотого сорбента и через кран направляется с помощью насоса в фотометр.

Чувствительность измерений для навески одного грамма составляет $1:10^{-7}$ г/л, для навески 10 г — $1:10^{-8}$ г/л, а для навески 100 г — $1:10^{-9}$ г/л. Время анализа в основном определяется временем выпаривания, которое в свою очередь зависит от массы пробы. При использовании 3—5 испарителей (золотых сорбентов) время одного анализа пробы массой 10 г можно свести к 5 мин.

Как показывает опыт, в некоторых твердых пробах, из которых возгоняются мешающие газообразные вещества, определение ртути с помощью золотого сорбента затруднительно. В этом случае необходим подогрев золотого сорбента до температуры $180-190^{\circ}$, что препятствует осаждению мешающих газообразных соединений на сорбенте, ближайших коммуникациях и химическим реакциям между ртутью и газообразными веществ-

вами. Если подогрев сорбента не улучшает качество анализа, то твердая проба с помощью царской водки переводится в раствор. После фильтрации ртуть определяется в растворе по методике Н. С. Полуэктова, Р. А. Виткун и Ю. В. Зелюковой [83] или по нашей методике с подогревом золотого сорбента [145]. Содержания ртути в углях, нефтях и растениях возможно определять фотометрами КазРАФ-4 или ИМГРЭ-4 с двумя—тремя золотыми сорбентами, подогретыми до температуры 180—190°. На этих сорбентах производится последовательное накопление ртути и ее десорбция. Этот прием позволяет освободиться последовательными операциями от большого количества мешающих примесей, выделяющихся при нагревании угля.

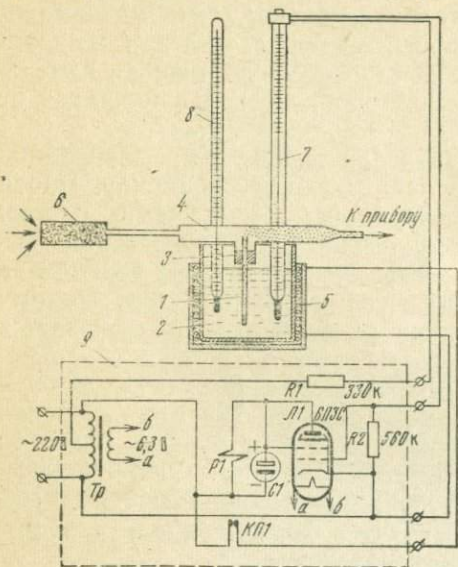


Рис. 6. Схема эталонирующего устройства:

1 — ртутный капилляр; 2 — вода; 3 — уплотняющая прокладка; 4 — колба; 5 — нагревательная спираль; 6 — фильтр с серебром; 7 — терморегулятор; 8 — контрольный термометр; 9 — электронный блок реле

рошковых эталонов. Последние надежны только при концентрациях $8 \cdot 10^{-6}$ и выше, а газовые эталоны — во всем диапазоне определяемых концентраций. В газовом эталоне используется диффузия паров ртути из капилляра, для чего предложено специальное устройство, позволяющее создавать заданную концентрацию паров ртути в токе воздуха, направляемого в фотометр с постоянной объемной скоростью (рис. 6). Обдувание открытого конца капилляра приводит к возникновению диффузионного потока, так как разность парциальных давлений паров ртути над жидкой ртутью и открытым концом капилляра в этом случае отличается от нуля. Терморегулятор поддерживает заданную температуру в капилляре с точностью $\pm 0,5^\circ$. Применяя последовательно формулы, вытекающие из первого закона Фика и уравнения Менделеева—Клапейрона, получим формулу Стефана для концентрации паров ртути в эталонирующем устройстве при одномерной диффузии и стационарном процессе [31]:

$$C = C_0 \frac{D \cdot S}{v \cdot l}, \quad (2)$$

где C — концентрация паров ртути, мг/л; C_0 — концентрация насыщенных паров ртути, мг/л; D — коэффициент диффузии ртути, см²/с; S — поперечное сечение капилляра см²; v — объемная скорость потока атмосферного воздуха, проходящего с парами ртути через эталонирующее устройство и фотометр, л/мин; l — длина отрезка капилляра (от поверхности жидкой ртути до верхнего конца трубки), в см. Величина C_0 определяется

$$C_0 = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}, \quad (3)$$

где P — давление насыщенных паров ртути в кгс/см²*; M — молекулярная масса ртути в граммах; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура. Давление насыщенных паров ртути находится из выражения, приведенного в работе [66]:

$$\lg P = 10,5504 - 0,8408 \lg T - \frac{8348,6}{T}. \quad (4)$$

Отсутствие справочных данных по коэффициенту диффузии ртути для разных температур и давлений привело к необходимости проведения теоретических расчетов по формулам, приведенным в работе Дж. Гиршфельдера, Ч. Кертисса и Р. Берда [25]. Измерения приборами типа КазРАФ производятся в обычной атмосфере, которая состоит из 78% (объем) азота. Формула для расчета коэффициента диффузии для бинарной смеси азот—ртуть имеет вид:

$$D_{12} = \frac{0,0026280 \sqrt{\frac{229,6 \cdot T^3}{11635}}}{10,89 PF(T)}, \quad (5)$$

где D_{12} — коэффициент диффузии в см²/с; T — абсолютная температура; P — давление в кгс/см²; $F(T)$ — значения интегралов для вычисления коэффициентов переноса с помощью потенциала Леннарда—Джонса.

Выражение (5) справедливо для абсолютных температур от 253° и выше. Коэффициенты диффузии для бинарной смеси ртуть—воздух при давлении 1 кгс/см² для температур, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90° соответственно равны 0,1177, 0,1262, 0,1321, 0,1409, 0,1499, 0,1587, 0,1680, 0,1778 и 0,1877 см²/с.

Для капилляров с диаметрами 0,5; 1; 2 и 3 мм между расчетными концентрациями и импульсами интегратора, которые обусловлены парами ртути, поступающими из эталона, в области температур 20—50°С существует четкая функциональная зависимость. В табл. 1 приведены расчетные концентрации ртути.

Методика измерений. Перед началом эксплуатации фотометров необходимо проверить основные узлы приборов. Газовоз-

* В Международной системе единиц (СИ) 1 кгс/см² = 10⁵ Па.

Расчетные концентрации ртути C (в мг/л) для эталонирования *

t°	Диаметр капилляра (d) в см					
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
10	$8,3 \cdot 10^{-9}$	$32,6 \cdot 10^{-9}$	$129,9 \cdot 10^{-9}$	$29,225 \cdot 10^{-8}$	$51,95 \cdot 10^{-8}$	$8,117 \cdot 10^{-7}$
15	$13,3 \cdot 10^{-9}$	$52,4 \cdot 10^{-9}$	$208,5 \cdot 10^{-9}$	$46,94 \cdot 10^{-8}$	$83,38 \cdot 10^{-8}$	$13,03 \cdot 10^{-7}$
20	$21 \cdot 10^{-9}$	$83,1 \cdot 10^{-9}$	$330,6 \cdot 10^{-9}$	$74,44 \cdot 10^{-8}$	$132,2 \cdot 10^{-8}$	$20,66 \cdot 10^{-7}$
25	$32,4 \cdot 10^{-9}$	$127,9 \cdot 10^{-9}$	$508,4 \cdot 10^{-9}$	$114,5 \cdot 10^{-8}$	$203,3 \cdot 10^{-8}$	$31,77 \cdot 10^{-7}$
30	$49,3 \cdot 10^{-9}$	$194,7 \cdot 10^{-9}$	$774,2 \cdot 10^{-9}$	$174,3 \cdot 10^{-8}$	$285,2 \cdot 10^{-8}$	$48,38 \cdot 10^{-7}$
35	$74,6 \cdot 10^{-9}$	$294,9 \cdot 10^{-9}$	$1172 \cdot 10^{-9}$	$263,9 \cdot 10^{-8}$	$468,8 \cdot 10^{-8}$	$73,26 \cdot 10^{-7}$
40	$111,6 \cdot 10^{-9}$	$441 \cdot 10^{-9}$	$1753 \cdot 10^{-9}$	$394,6 \cdot 10^{-8}$	$701 \cdot 10^{-8}$	$109,5 \cdot 10^{-7}$
45	$164,6 \cdot 10^{-9}$	$650,1 \cdot 10^{-9}$	$2686 \cdot 10^{-9}$	$582,3 \cdot 10^{-8}$	$1034 \cdot 10^{-8}$	$161,6 \cdot 10^{-7}$
50	$239,9 \cdot 10^{-9}$	$947,9 \cdot 10^{-9}$	$3768 \cdot 10^{-9}$	$848,4 \cdot 10^{-8}$	$1507 \cdot 10^{-8}$	$235,5 \cdot 10^{-7}$
55	$344,9 \cdot 10^{-9}$	$1363 \cdot 10^{-9}$	$5821 \cdot 10^{-9}$	$1220 \cdot 10^{-8}$	$2167 \cdot 10^{-8}$	$388,6 \cdot 10^{-7}$
60	$491,3 \cdot 10^{-9}$	$1941 \cdot 10^{-9}$	$7717 \cdot 10^{-9}$	$1737 \cdot 10^{-8}$	$3086 \cdot 10^{-8}$	$482,3 \cdot 10^{-7}$
65	$680 \cdot 10^{-9}$	$2680 \cdot 10^{-9}$	$10680 \cdot 10^{-9}$	$2400 \cdot 10^{-8}$	$4280 \cdot 10^{-8}$	$664,0 \cdot 10^{-7}$
70	$960 \cdot 10^{-9}$	$3760 \cdot 10^{-9}$	$15080 \cdot 10^{-9}$	$3380 \cdot 10^{-8}$	$6040 \cdot 10^{-8}$	$938 \cdot 10^{-7}$
75	$1360 \cdot 10^{-9}$	$5360 \cdot 10^{-9}$	$21400 \cdot 10^{-9}$	$4880 \cdot 10^{-8}$	$8540 \cdot 10^{-8}$	$1334 \cdot 10^{-7}$
80	$1840 \cdot 10^{-9}$	$7280 \cdot 10^{-9}$	$28800 \cdot 10^{-9}$	$6520 \cdot 10^{-8}$	$11540 \cdot 10^{-8}$	$1846 \cdot 10^{-7}$
85	$2480 \cdot 10^{-9}$	$9800 \cdot 10^{-9}$	$39000 \cdot 10^{-9}$	$8780 \cdot 10^{-8}$	$15560 \cdot 10^{-8}$	$2436 \cdot 10^{-7}$
90	$3320 \cdot 10^{-9}$	$13120 \cdot 10^{-9}$	$52400 \cdot 10^{-9}$	$11740 \cdot 10^{-8}$	$20820 \cdot 10^{-8}$	$3260 \cdot 10^{-7}$

* $P=0,9$ кгс/см², $l=10$ см, $v=1$ л/мин.

душная система должна быть герметична и очищена от пыли. С помощью эталонов проверяется делитель переключателя пределов измерений. Путем изменения яркости свечения лампы ПРК-4 проверяются высокочастотный генератор и источник света. Балансировка фотометра по свету производится таким образом, чтобы изменения яркости источника света приводили к появлению на выходе фотометра минимальных сигналов, что повышает реальную чувствительность прибора [140]. Контроль за постоянством коэффициента усиления усилителей производится с помощью специальной заслонки, которая может перекрывать определенную часть светового потока в измерительной кювете.

Введение заслонки должно приводить к появлению известного сигнала на выходе. Если величина сигнала отличается от заданного значения, то необходимые коррективы вводятся изменением яркости источника света. Усилители фотометра обладают линейной характеристикой во всем рабочем диапазоне.

При анализе твердых проб эталонировка прибора производится ежемесячно. Она осуществляется порошковыми эталонами, которые хранятся в стеклянных сосудах с притертой пробкой. Во время анализа твердых проб чувствительность фотометра проверяется с помощью заслонки (через каждые 10 минут) и стандартной пробы (через 2 часа), хранящейся в стеклянной посуде с притертой пробкой. Объективным критерием оценки качества анализа является «шифрованный» контроль. Исследования показали, что с увеличением концентраций ртути растут средние абсолютные расхождения между результатами измерений, а средние абсолютные расхождения логарифмов концентраций остаются устойчивыми во всем диапазоне измерений. Этот факт свидетельствует о логнормальном распределении погрешностей атомно-абсорбционного анализа [77]. Измерения паров ртути в почвенном воздухе проводятся пешеходным газоанализатором ИМГРЭ-4.

В настоящее время за рубежом применяют фотометры типа Ц. Джеймса и Г. Уэбба [165] с золотыми, серебряными и другими сорбентами. С. Уиллистон [170] создал передвижной газоанализатор для измерения ртути в атмосфере с чувствительностью $n \cdot 10^{-10}$ мг/л. Высокая чувствительность получена, в основном, за счет прокачивания больших объемов воздуха (900 л) через золотой сорбент с большой площадью поверхности.

К. Бристоу [163] создал ртутный газоанализатор на принципе, в основу которого положено изменение частоты пьезокварца за счет адсорбции паров ртути на электродах, сделанных из позолоченных кристаллов кварца.

Чувствительность прибора, равная $5 \cdot 10^{-6}$ мг/л, недостаточна для газортутных исследований. Канадская фирма «Сцинтрекс» выпускает ртутные атомно-абсорбционные газоанализаторы с чувствительностью $1 \cdot 10^{-9}$ мг/л, в которых при измерениях используется эффект Зеемана [168].

ГЛАВА II

РАЗДЕЛЕНИЕ ВАЛОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РТУТИ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ (ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ)

Основные положения. При геохимических исследованиях и поисках, особенно при расшифровке геохимических аномалий, необходимо определять не только валовые концентрации ртути, но и разделять их на составляющие, отвечающие определенным формам ее нахождения в природе. Для определения формы нахождения ртути могут быть использованы минералогические, химические и различные методы фазового анализа. Однако при малых концентрациях ртути в геохимических пробах определение ее форм нахождения перечисленными способами затруднительно, а порой и невозможно.

Как известно, В. И. Вернадский [13] понимал под формой нахождения элементов группы систем равновесия атомов химических элементов следующее: «Формы нахождения были выделены чисто эмпирически, причем оказалось, что каждая из них отличается особым состоянием в ней атомов. По существу это области разного состояния атомных систем». В основу разделения валовых концентраций ртути на составляющие нами положены термодинамические принципы.

При использовании термодинамических способов меняются температура или давление изучаемой пробы или изменяются оба параметра одновременно. Предлагаемые способы условно можно разделить следующим образом:

1. Возгонка (испарение) ртути из проб, находящихся в закрытой системе.
2. Возгонка (испарение) ртути из проб, находящихся в открытой системе.
3. Разделение на составляющие путем изменения давления в системе.

В основе первого способа лежит известный принцип: зависимость давления (концентрации) насыщенных паров от температуры над конденсированной (твердой или жидкой) фазой определяется свойствами вещества. Связь давления насыщенных паров и температуры выражается следующей формулой [99, 110]:

$$P = \frac{\Delta S}{R} l^{-\frac{\Delta H}{RT}}, \quad (6)$$

где P — давление насыщенных паров ртути; ΔS — изменение

энтропии при образовании одного моля пара; ΔH — теплота парообразования (возгонки) одного моля пара; T — абсолютная температура; R — газовая постоянная.

Уравнение (6) представим в более общем виде:

$$P = B \cdot l^{-\frac{A}{T}}, \quad (7)$$

где A и B — постоянные, характеризующие свойства элемента или его соединений.

Уравнение (6) справедливо для давлений, равных единицам атмосфер и интервалу температур 0—400°. При других условиях зависимость насыщенных паров от температуры вещества выражается более сложной формулой [110]

$$P = l^{-\frac{A}{T}} \cdot T^B l^{CT} \cdot l^D, \quad (8)$$

где A , B , C , D — постоянные, зависящие от свойства вещества.

Подставляя равенство (7) в формулу (3), после упрощения получим выражение, показывающее зависимость концентрации насыщенных паров ртути от температуры:

$$C_0 = b \cdot l^{-\frac{a}{T}}, \quad (9)$$

где a и b — постоянные, зависящие от свойства вещества.

Во втором способе используется принцип: каждое вещество имеет максимальную скорость возгонки (испарения), которая определяется только температурой и свойствами вещества [36]. Для определения формы нахождения ртути по второму способу возможно использование эмпирической формулы, которая выражает зависимость количества возгоняемой ртути от температуры. Математическая обработка результатов возгонки ртути из горных пород и руд показала, что эта зависимость хорошо аппроксимируется экспонентой.

Формула зависимости количества возгоняемой ртути от температуры имеет полную аналогию по форме и кинетике процессов с известной формулой Аррениуса, имеющей следующий вид:

$$K = Z \cdot l^{-\frac{E}{R \cdot T}}, \quad (10)$$

где K — константа скорости реакции; Z , E — постоянные величины, характерные для данной химической реакции; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Третий способ основан на том, что количество окклюдируемых паров ртути* в рыхлых горных породах будет уменьшаться с понижением давления.

* Это условное название, так как с уменьшением давления будет уменьшаться и концентрация адсорбированной (физическая адсорбция) ртути в рыхлых породах.

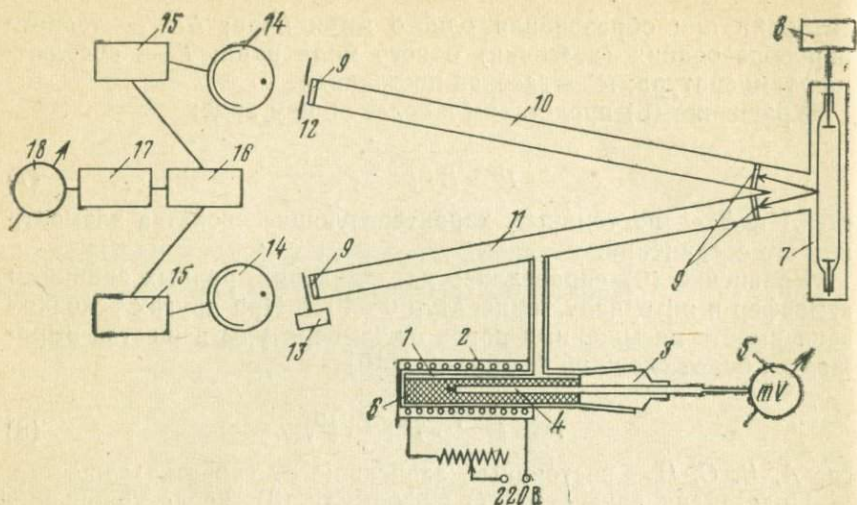


Рис. 7. Схема установки для измерения концентрации насыщенных паров ртути над киноварью:

1 — кварцевый баллон; 2 — подогреватель с реостатом; 3 — кварцевая пробка (шлиф); 4 — термопара; 5 — милливольтметр; 6 — киноварь; 7 — ртутная лампа; 8 — ВЧ генератор; 9 — кварцевые стекла; 10 — сравнительная кювета; 11 — измерительная кювета; 12 — диафрагма; 13 — заслонка; 14 — сравнительная кювета; 15 — усилители постоянного тока; 16 — преобразователь; 17 — усилитель переменного тока; 18 — микроамперметр

Методика разделения. Возгонка ртути в закрытой системе. Как уже указывалось выше, для определения формы нахождения ртути используется зависимость между концентрацией насыщенных паров ртути и температурой. Исследуемая проба (рис. 7) загружается в кварцевый баллон и температура повышается с помощью подогревателя.

На рис. 8 показаны результаты определения форм нахождения ртути. В кварцевом баллоне находилась ртуть в форме киновари, размеры частиц которой 0,1 мм, а также сорбированная ртуть на стенках баллона. Температура баллона повышалась от 20 до 180°. Отсчеты концентраций насыщенных паров ртути производились через 10° при достижении динамического равновесия. В полулогарифмическом масштабе строились графики зависимости концентрации насыщенных паров ртути от обратной температуры. В итоге было получено два линейных графика с разными угловыми коэффициентами, которые отражали наличие двух форм нахождения ртути в кварцевом баллоне. Вначале десорбируется преимущественно ртуть в адсорбированной форме (график 1), затем при температуре 140° начинает разлагаться киноварь, и зависимость концентрации насыщенных паров от температуры выражается графиком 2. Проведено два независимых эксперимента, которые показали идентичные результаты (см. рис. 8). Независимая обработка результатов двух экспериментов по способу наименьших квадратов позволи-

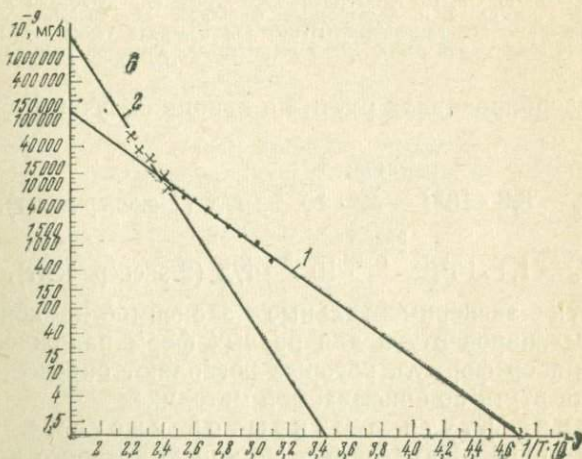
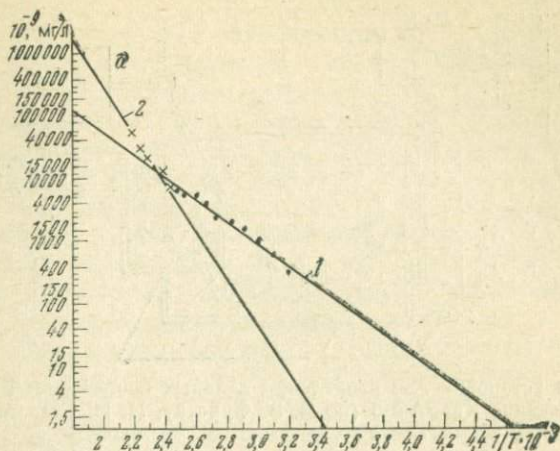


Рис. 8. Зависимость концентрации насыщенных паров ртути от обратной температуры (а — первый эксперимент; б — второй эксперимент):
1 — сорбированная ртуть; 2 — киноварь

ла получить формулы, выражающие зависимость насыщенных паров ртути от температуры. Для киновари получены две близкие формулы:

$$C_k = 3,70 \cdot 10^{11} \cdot l^{-\frac{8084}{T}} \cdot 10^{-8} \text{ мг/л (1-й эксперимент),}$$

$$C_k = 4,57 \cdot 10^{11} \cdot l^{-\frac{8240}{T}} \cdot 10^{-8} \text{ мг/л (2-й эксперимент).}$$

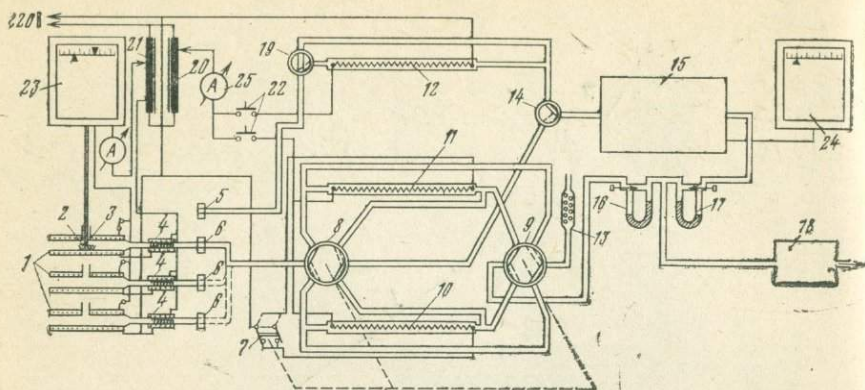


Рис. 9. Схема установки для разделения валовых концентраций ртути на составляющие КазРАФ-5 (по В. З. Фурсову, И. И. Степанову):

1 — печи; 2 — лоток с пробкой; 3 — термопара; 4 — подогревные пылевые фильтры; 5, 6 — разъемы; 7 — переключатели сорбентов; 8, 9 — шестиходовые краны; 10—12 — золотые струнные сорбенты; 13 — сорбент с гидроксидом серебра; 14, 19 — трехходовые краны; 15 — фотометр; 16, 17 — ротаметры; 18 — насос; 20 — регулятор тока сорбентов; 21 — регулятор тока печей и подогревных фильтров; 22 — включатель подогревного устройства сорбентов; 23 — самописец ЭПП-09 для контроля температуры; 24 — ЭПП-09 для регистраций возгоняемой ртути; 25 — амперметр для контроля тока нагрева сорбента

Для адсорбированной ртути на кварце получены две близкие формулы:

$$C_c = 6,3 \cdot 10^5 l^{-\frac{2435}{T}} \cdot 10^{-8} \text{ мг/л (1-эксперимент),}$$

$$C_c = 1,1 \cdot 10^5 l^{-\frac{2238}{T}} \cdot 10^{-8} \text{ мг/л (2-эксперимент).}$$

Исследуя экспериментальные зависимости концентрации насыщенных паров ртути для разных форм нахождения ртути, получаем набор формул, которые позволяют определить формы нахождения ртути по описываемой методике.

Возгонка ртути в открытой системе. На рис. 9 изображен прибор КазРАФ-5, с помощью которого производится разделение валовых концентраций на составляющие ртути [131]. Электронная и оптическая схемы фотометра аналогичны схеме прибора КазРАФ-4. Проба, истертая до 200 меш массой 0,05—1 г, помещается в специальную печь, температура которой повышается линейно от 20 до 1000°. Выделяющаяся ртуть с помощью насоса проходит через подогревный пылевой фильтр, разъем и кран, после чего она поступает в фотометр. Самописец записывает функцию зависимости мгновенной концентрации от времени (температуры) возгонки. Мгновенная концентрация (мгновенная скорость возгонки) при единичной массе пробы равна отношению возгоняемого количества ртути к соответствующему малому промежутку времени. Концентрация искомой формы нахождения ртути может определяться автоматически с помощью интегрирующего устройства по формуле

$$C = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt, \quad (11)$$

где $f(t)$ — функция изменения мгновенной концентрации; t_1 и t_2 — время начала и конца возгонки.

Как указывалось, мешающие примеси могут препятствовать выделению составляющих ртути, поэтому разделение проводится с золотым сорбентом и без него. При анализе с сорбентом воздух с мешающими примесями и ртутью проходит через разъем и кран, после чего попадает на золотой струнный сорбент, а затем через кран в фотометр. При этом ртуть полностью поглощается золотым сорбентом. При наличии большого количества мешающих примесей используются два золотых сорбента, на которых производится попеременное накопление и десорбция ртути (см. рис. 9). Атмосферный воздух вместе с ртутью и мешающими примесями прокачивается насосом через фильтр, разъем, кран, золотой сорбент и ротаметр. При этом ртуть поглощается сорбентом, а воздух с примесями выбрасывается в атмосферу. Ртуть на этом сорбенте накапливается за 30 с, после чего краны переключаются, затем с помощью включателя для десорбции ртути включается подогревное устройство сорбента. Десорбированная ртуть вместе с атмосферным воздухом, проходящим через сорбент и кран, попадает через кран в фотометр. Расход воздуха контролируется ротаметром.

Во время десорбции ртути с первого сорбента продолжается возгонка ртути из пробы, которая проходит через кран и поглощается вторым золотым сорбентом. При этом примеси вместе с воздухом выбрасываются в атмосферу через кран и ротаметр. Спустя 30 с краны вновь переключаются и начинается десорбция ртути со второго сорбента, а на первом сорбенте накапливаются новые порции ртути. Возгонка ртути из пробы происходит за 20—25 мин, что соответствует 40—50 циклам сорбции и десорбции на золотых сорбентах.

По результатам разделения строится график, на оси абсцисс откладывается температура (время), а на оси ординат — абсолютное количество ртути или концентрация, накопленная сорбентами за 30 с.

В табл. 2 показаны результаты сравнения двух методик разделения с золотым сорбентом (с накоплением и без накопления). При этом температуры, соответствующие максимальной скорости возгонки, одинаковы, что говорит о принципиальной адекватности указанных методик разделения валовых концентраций ртути на составляющие. Средняя относительная ошибка измерений концентраций не превышает $\pm 20\%$, среднеквадратичная ошибка измерений температур, соответствующих максимальной скорости возгонки, равна $\pm 10^\circ$.

Методика разделения с накоплением на золотых сорбентах была опробована путем возгонки ртути из каломели, азотно-

Сравнение температур ($t^{\circ}\text{C}$),
соответствующих максимальной скорости
возгонки ртути,
при разных методиках исследования

Минерал	Первая составляющая ртути	Вторая составляющая ртути
Киноварь	<u>360</u>	
	370	
Кобальтин	<u>300</u>	<u>490</u>
	300	510
Молибденит	<u>300</u>	<u>520*</u>
	310	540
Ковеллин	<u>310</u>	<u>650</u>
	310	650
Танталит	<u>300</u>	<u>620*</u>
	300	650
Браунит	<u>560</u>	
	570	
Псиломелан	<u>300</u>	<u>550*</u>
	300	570
Магнетит	<u>310</u>	<u>700**</u>
	310	720
Лимонит	<u>290</u>	<u>560</u>
	290	570
Гранат	<u>320*</u>	
	310	
Циркон	<u>460</u>	
	460	
Хлорит	<u>300*</u>	
	320	
Нонтронит	<u>350</u>	<u>620*</u>
	350	590
Каламин	<u>320</u>	<u>620</u>
	320	630
Церуссит	<u>250</u>	<u>320*</u>
	230	350
Азурит	<u>280</u>	<u>490</u>
	290	490

* Влияние мешающих примесей.

** В числителе — температура без накопления, в знаменателе — с накоплением.

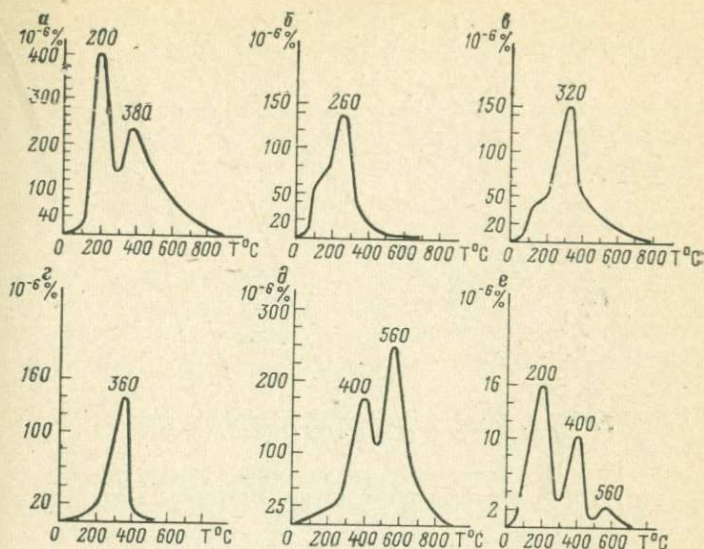


Рис. 10. Разделение валовых концентраций ртути на составляющие. Известные соединения ртути (по И. И. Степанову и В. З. Фурсову):

a — каломель; *б* — азотнокислая соль окиси ртути; *в* — сернокислая соль закиси ртути; *г* — киновари; *д* — окись ртути; *е* — сорбированная ртуть на кварце

кислой соли окиси ртути, сернокислой соли закиси ртути, киновари, окиси ртути и сорбированной ртути. В силу высокой чувствительности прибора были приготовлены эталоны из перечисленных соединений ртути и прокаленного кварца с концентрацией 0,001%. Пробы с адсорбированной ртутью на кварце были приготовлены с помощью специальной установки. Атмосферный воздух с парами ртути, поступающими из эталонирующего устройства, прокачивается через порошок кварца, из которого ртуть удалена путем прокаливания. Температура кварца, на котором сорбируется ртуть, устанавливается с помощью милливольтметра, термопары и реостата. При возгонке ртути из каломели получено два максимума (рис. 10, график *a*). В соответствии с нашими экспериментами и данными Коксои, Брэдшоу и Тумса [167] полагаем, что максимум скорости возгонки ртути при температуре 200° соответствует каломели, а максимум при 380° — адсорбированной ртути. Эта форма нахождения ртути могла возникнуть в процессе механического растирания каломели с кварцем.

При подогреве азотнокислой соли окиси ртути, сернокислой закиси ртути и киновари фиксируется только один максимум скорости возгонки ртути соответственно при температурах 260, 320 и 360°. При термическом разложении окиси ртути фиксиру-

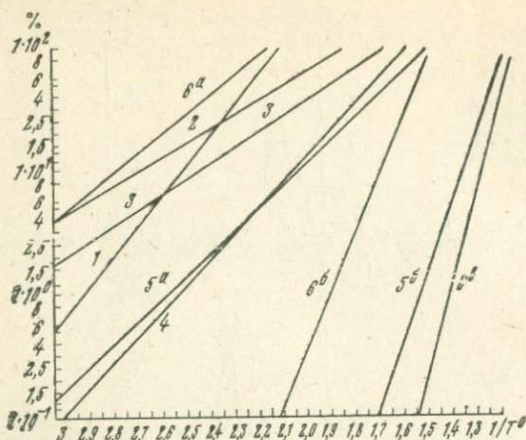


Рис. 11. Зависимость количества возгоняемой ртути от обратной температуры. Известные соединения ртути:

1 — каломель, первая составляющая; 2 — азотнокислая соль окиси ртути; 3 — сернокислая соль закиси ртути; 4 — киноварь; 5 — окись ртути, две составляющие (5а и 5б); 6 — сорбированная ртуть на кварце, три составляющие (6а, 6б, 6в)

ются два максимума скорости возгонки с температурами 400 и 560°.

Первая составляющая ртути с максимальной скоростью возгонки при 400° соответствует окиси ртути, что совпадает с данными Д. Тейлора [169], а вторая составляющая обусловлена, по-видимому, адсорбированной ртутью, образовавшейся на первых стадиях разложения окиси ртути при подогреве.

При термической возгонке адсорбированной ртути (рис. 10, график *e*) возникают три максимума скорости возгонки с температурами 200, 400 и 560°, что говорит о разных формах проявления адсорбции. Для более однозначного определения форм нахождения ртути необходимо использовать не только максимумы скорости возгонки ртути, но и закономерности кинетики ее возгонки. Для этого определяется зависимость количества возгоняемой ртути от абсолютной температуры. Количество возгоняемой ртути из пробы для данной температуры определяется по формуле

$$C = \int_T^{T_i} f(T) dT, \quad (12)$$

где C — количество ртути для наблюдаемой формы нахождения; $f(T)$ — функция мгновенной концентрации; T_1 — начальная абсолютная температура возгонки для наблюдаемой формы нахождения ртути; T_i — данная температура.

Кинетика возгонки ртути исследуется от начальной темпера-

туры до температуры, соответствующей максимальной скорости возгонки, т. е. используется только левая часть графиков скорости возгонки.

На рис. 11 приведены графики зависимости количества возгоняемой ртути от обратной абсолютной температуры. Указанная зависимость хорошо аппроксимируется экспонентой вида

$$C = \alpha l^{-\frac{a}{T}}, \quad (13)$$

где α и a — постоянные, зависящие от формы нахождения ртути в горных породах, рудах и минералах.

Из рис. 10 и 11 видно, что разные формы нахождения ртути имеют одинаковые температуры максимальной возгонки (каломель и адсорбированная ртуть, первая составляющая).

Следовательно, для определения формы нахождения ртути необходимо проводить анализ максимумов скорости возгонки и закономерностей кинетики возгонки ртути.

Проанализируем результаты экспериментов по адсорбции паров ртути на поверхности кварца. Вблизи поверхности частиц кварца происходит увеличение концентрации паров ртути по сравнению с их концентрацией в потоке, который пропускается через зерна кварца. Это явление обусловлено действием особых сил, которые вызывают явление адсорбции. Происхождение их, как и других межмолекулярных сил, вызвано электромагнитным взаимодействием ядер и электронов, входящих в систему рассматриваемых атомов [54]. Если равновесное распределение электронов в атомах ртути и кварце не вызывает обобществления и переноса электронов между молекулой и твердым телом, и электроны во взаимодействующих атомах (молекулах) сохраняют свои связи, то происходит физическая адсорбция [112]. При нарушении равновесного распределения электроны атомов ртути и молекул кварца образуют ковалентные и ионные связи, что приводит к полному изменению химических и электронных свойств реагирующих молекул (атомов), т. е. происходит хемосорбция [35, 54]. Физическая адсорбция и хемосорбция имеют следующие основные различия [106]:

1. Хемосорбция способна изменить электропроводность адсорбента в отличие от физической адсорбции.

2. При хемосорбции образуется, как правило, монослой. При физической адсорбции в определенных условиях температур и давлений можно получить полимолекулярные слои. Пределом физической адсорбции является конденсация насыщенного пара адсорбата.

3. Теплота хемосорбции, как правило, во много раз больше теплоты физической адсорбции.

4. Хемосорбция происходит при низких и высоких температурах и давлениях, а физическая адсорбция может происходить только при температурах, которые ниже точки кипения ртути

(357°). Отсюда в разных условиях могут реализоваться различные формы адсорбции одного и того же вещества.

5. Физическая адсорбция не требует энергии активации, для хемосорбции же необходима энергия активации.

В соответствии с вышеизложенным полагаем, что первая составляющая (см. рис. 10, график *e*) соответствует ртути, находящейся в форме физической адсорбции, вторая (максимум 400°) — слабой хемосорбции с ковалентной связью, а третья (максимум 560°) — хемосорбции с ионной связью. Для рассмотренного случая пары ртути адсорбировались на порошке кварца, который имел температуру 80°. При возгонке адсорбированной ртути из порошка кварца, который имел температуру 20° в момент адсорбции паров ртути, фиксируются только две составляющие с температурами максимальной возгонки ртути 200 и 400°. Отсюда изменение условий адсорбции, как указывалось выше, приводит к разным формам ее проявления. Слабая хемосорбция с ковалентной связью характерна и для второй составляющей ртути (см. рис. 10, график *a*). Хемосорбция с ионной связью проявляется для второй составляющей с максимумом, соответствующим температуре 560° (график 5).

Разделение валовых концентраций ртути на составляющие возможно и при ступенчатой изотермической возгонке ртути из геохимических проб. Впервые ступенчатая изотермическая возгонка была применена В. П. Федорчуком [119] для определения формы нахождения ртути в геохимических пробах. О форме нахождения В. П. Федорчук судил по интенсивности потери ртути в пробах, которые подвергались 8-часовому ступенчатому нагреванию при температурах 100, 200, 300° и более 450°. Содержание ртути до и после нагревания определялось химическим анализом. Этот способ использовался Л. П. Быковской [12] и З. Я. Церцвадзе [154] для определения форм нахождения ртути. Для установления форм нахождения З. Я. Церцвадзе исследовал зависимость логарифма концентрации возгоняемой ртути от обратной температуры [154]. Для изучения форм нахождения ртути М. Коксой и П. М. Брэдшоу [11, 167] применяли также ступенчатую возгонку ртути из проб. Концентрация возгоняемой ртути определялась атомно-абсорбционным фотометром. При количественной изотермической возгонке изучается кривая разложения исследуемого соединения ртути в зависимости от времени. Затем по форме кривой разложения вещества можно судить о самом веществе.

Установка, изображенная на рис. 9, позволяет проводить ступенчатую изометрическую возгонку ртути из проб. Однако интерпретация результатов изотермической возгонки является затруднительной. На графике *a* (рис. 12) показаны результаты возгонки при линейном возрастании температуры, а на графике *б* — изотермической ступенчатой возгонки той же геохимической пробы. На первом графике выделяются три составляющие

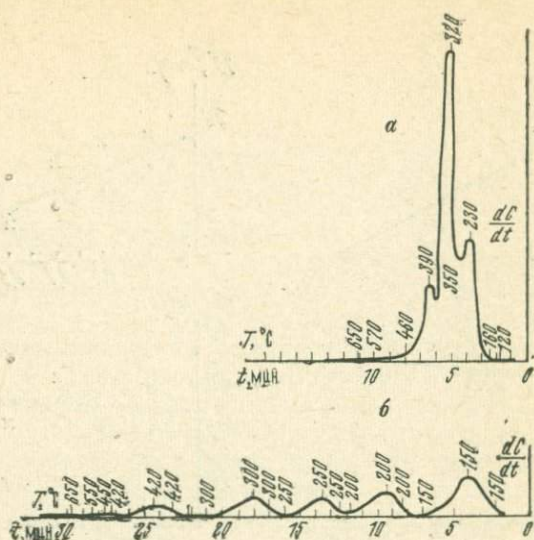


Рис. 12. Разделение валовых концентраций ртути на составляющие. Свинцово-цинковая руда месторождения Рудного Алтая:
 а — возгонка при линейном возрастании температуры;
 б — изотермическая возгонка с заданной температурой

ртути, а на втором — пять. Возникновение двух дополнительных максимумов, как показали исследования, может быть обусловлено самой методикой изотермической возгонки. Составляющая ртути, с максимальной скоростью возгонки при 230° (график а), разделяется при изотермической возгонке (график б) на три отдельных пика. Следовательно, при изотермической возгонке количество составляющих ртути не идентично количеству форм ее нахождения в исследуемой геохимической пробе.

Изотермическую возгонку для определения форм нахождения ртути следует применять для детализации данных, полученных при возгонке, происходящей с непрерывным повышением температуры. При этом необходимо анализировать совмещенные кривые изотермической возгонки при разных температурах, обращая внимание на их характер.

Изменение давления системы. Этот способ необходимо применять для отделения свободных паров ртути от окклюдированных в рыхлых породах.

На рис. 13 приведены результаты исследования зависимости концентрации окклюдированных паров ртути от давления. Герметизированные пробы отбирались в зоне слабой и интенсивной аномалий свободных паров ртути в районе Алма-Аты (профиль Медео—Николаевка). Обе аномалии приурочены к зоне глубинных разломов. В зоне слабой аномалии (графики а и б) установлена четкая зависимость увеличения концентрации окклю-

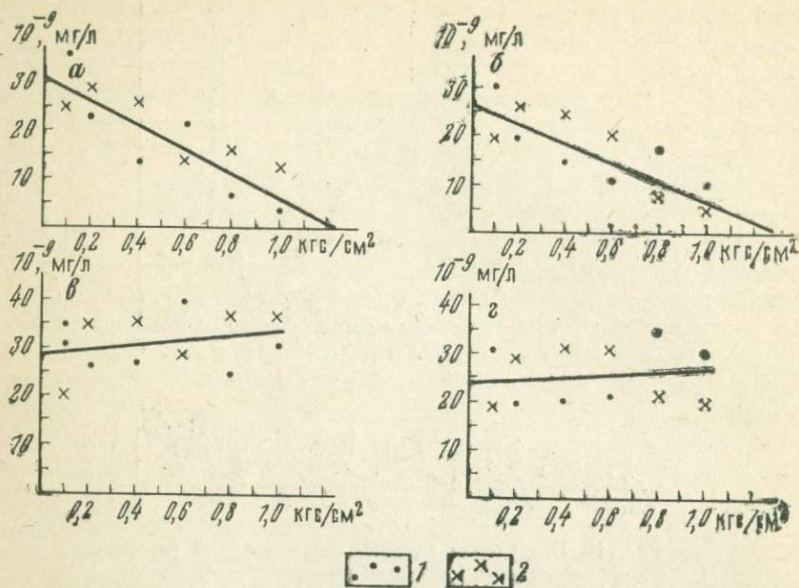


Рис. 13. Графики зависимости концентрации десорбированных паров ртути от давления:

Пробы отобраны в зонах:

а, б — слабой аномалии; *в, г* — интенсивной аномалии

Результаты измерений:

1 — по основным пробам; 2 — по контрольным пробам

дированных паров при увеличении степени разряжения, создаваемого в герметизированной пробе. В зоне интенсивной аномалии (графики *в* и *г*) такой закономерности не наблюдается.

По-видимому, это обусловлено тем, что ртутное «дыхание» глубинного разлома, к которому приурочена слабая аномалия, раньше было более интенсивным. Это следует из резкого преобладания окклюзированной ртути над ее свободными парами.

Для усиления эффекта разделения ртути на составляющие необходимо одновременное увеличение разряжения и температуры подогрева герметизированной пробы. Однако практика работ показала, что при подогреве пробы интенсивные помехи создают пары воды, которые садятся на золотой сорбент и коммуникации. Поэтому необходимо осажать пары ртути на подогретом золотом сорбенте ($180-190^\circ$).

Для практических целей необходимо оптимальное сочетание описанных способов разделения ртути на составляющие.

РТУТЬ В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ

Первые систематические сведения о распределении ртути в различных средах приведены в монографии А. А. Саукова [93]. Наиболее важные данные по геохимии ртути отражены в работе А. А. Саукова, Н. Х. Айдиньян, Н. А. Озеровой [96].

Эти исследования были продолжены нами путем изучения валовых и составляющих концентраций ртути в горных породах, рудах, почвах, нефтях, углях и ультрамалых концентраций ртути в почвенном воздухе и атмосфере.

Методика исследований. Рекомендации отдельных авторов по массе проб бывают резко различны. В частности, при геохимических съемках по коренным породам рекомендуется масса проб от 50 до 500 г [156].

Как известно, увеличение массы пробы приводит к уменьшению ошибки исследований. Однако это уменьшение зависит от характера неоднородности. Нами совместно с Р. И. Дубовым и М. С. Тонкопием [37] проведены специальные исследования по выяснению зависимости ошибки исследований от массы проб. Для исследования были взяты пробы гранитов и гранодиоритов Каркаралинского, Кентского и Бахтинского массивов (Центральный Казахстан).

Исследования показали, что отбор проб массой в 1 кг приводит к относительной ошибке опробования для ртути $\pm 6\%$; 0,2 кг — $\pm 8\%$ и 4 г — $\pm 17\%$. Отсюда массы проб можно определять исходя из требований точности и стоимости работ.

Ошибка опробования, обусловленная массой пробы для руд и первичных ореолов, может иметь большую величину, чем для гранитов. Поэтому пробы из руд месторождений горных пород и почв брались нами массой 200—300 г.

Н. Х. Айдиньян, Н. А. Озеровой и др. [47], а также А. Л. Ковалевским [49] были установлены факты взаимного заражения и потери ртути в геохимических пробах при их хранении.

Автором также были проведены исследования в этом направлении. Для этого были приготовлены специальные эталоны из киновари и кварца разных концентраций. Эталоны массой 100 г в виде порошка (200 меш) помещались в бумажные пакеты. При этом эталоны с низкой концентрацией ртути плотно соприкасались с эталонами высокого содержания*. Четырехкрат-

* Богатая проба помещалась между двумя «бедными», которые имели одинаковую концентрацию.

ный анализ «бедных» проб с рандомизацией и их перемешиванием производился один раз в два месяца.

Как показали исследования И. И. Степанова, для получения более точных результатов пробы перед анализом необходимо перемешать с тем, чтобы уменьшить дисперсию концентрации, которая возникает за счет диффузии паров ртути и их сорбции в пробе при хранении.

Обработка результатов наблюдений показала, что «заражение» проб происходит по экспоненте, вид которой зависит от отношения концентраций ртути в пробах. За два года совместного хранения в «бедных» пробах (начальная концентрация $1 \cdot 10^{-6}\%$) было зафиксировано максимальное увеличение содержания ртути на два порядка. Расчеты показали, что из богатых проб в бедные диффундирует только 1—3% ртути от общего количества. Проведенные нами исследования не позволили зафиксировать потерю ртути в порошковых пробах, которые хранились в течение 3—5 лет, при средней относительной ошибке измерений ± 10 —15%. Пробы были отобраны из руд массивных и рыхлых горных пород.

Для изучения распределения содержаний ртути в горных породах были использованы штучные пробы, которые были отобраны геохимическими и поисковыми экспедициями и партиями. Штучные пробы отбирались из 400 разновозрастных массивов горных пород, а пробы руды — из 160 промышленных месторождений различных генетических типов.

После сбора штучных пород и руд производилось их дробление и истирание до 200 меш с соблюдением меры предосторожности от взаимного заражения. Затем все пробы пород и руд общим числом 1957 были объединены в единую серию, в которой последовательность анализа порошковых проб рандомизировалась с помощью таблиц случайных чисел [150]. Для уменьшения ошибки рандомизация и анализ серии были выполнены четыре раза. Для однородности измерений во времени анализ выполнялся на одном ртутном фотометре КазРАФ-4 непрерывно в течение двадцати дней при двухсменной работе. Время между дроблением первой пробы и анализом последней не превышало четырех месяцев. В связи с тем что пробы руд по объемной массе резко отличаются друг от друга и от горных пород, при их анализе использовалось весовое дозирование. Эталонировка фотометра производилась с помощью твердых и газовых эталонов и показала идентичные результаты. Исползованная методика позволила исключить систематическую ошибку внутри серии проб и получить достаточно низкую среднеотносительную случайную ошибку ($\pm 8\%$).

Математическая обработка результатов измерений производилась с помощью ЭВМ. В большинстве случаев распределение концентраций ртути в горных породах и рудах можно было с

лучшим приближением аппроксимировать логнормальным законом.

Геохимическая дисперсия была использована для определения с надежностью 0,68 доверительных интервалов среднегеометрических содержаний, которые были пересчитаны в среднеарифметические концентрации по формуле максимально правдоподобной оценки для логнормального распределения [150].

По среднеарифметическим содержаниям ртути и геохимической дисперсии для наиболее важных выборок (объектов) с помощью температурного критерия определялась значимость различий между средними значениями в выборках по известным формулам [150]. Во всех случаях уровень значимости был принят 0,9.

Пары ртути в почве изучались путем прокачки 1 л почвенного воздуха со скоростью 1 л/мин через зонд с золотым струнным сорбентом. После откачки почвенного воздуха ртуть десорбировалась путем подогрева сорбента и измерялась газоанализатором. На каждой точке наблюдения производилось два-три измерения паров ртути из шпуров глубиной 0,4—0,6 м, находящихся на расстоянии 0,6—1,5 м.

Пары ртути в приземной атмосфере измерялись на высотах 1,5—2,5 м на стационарных пунктах, удаленных от мест загрязнения. Измерения производились путем прокачивания воздуха объемом 20—70 л со скоростью 1 л/мин через два золотых струнных сорбента, которые соединялись последовательно, что позволило контролировать проскок паров ртути через сорбент. Обычно он составлял 10—20% от измеряемой величины.

Правильность выбранной методики измерений проверялась на каждой точке наблюдения путем последовательного прокачивания разных объемов воздуха. Исследования показали, что между количеством ртути и объемом прокачанного воздуха устанавливается линейная зависимость. При значительных отклонениях от линейности (20—30%) измерения повторялись. Число измерений на каждой точке наблюдения составляло от 2 до 6.

Горные породы. Содержание ртути было изучено в 1326 пробах из разных регионов Советского Союза. Эти пробы характеризуют разновозрастные интрузивные, эффузивные, метаморфические и осадочные породы 13 геологических периодов.

Для разделения валовых концентраций ртути на составляющие приготавливались сборные пробы. В сборную пробу объединялись порошковые пробы, которые представляли разновозрастную разновидность интрузивных, эффузивных, метаморфических или осадочных пород. Перед объединением пробы тщательно перемешивались. В сборную пробу бралось по 7 г из каждой растертой пробы, после чего сборная проба также тщательно перемешивалась.

Ртуть, как и другие элементы, находится в горных породах, согласно В. И. Вернадскому [13], в состоянии всеобщего повсе-

Средние арифметические содержания ртути в горных породах и границы доверительных интервалов в $10^{-6}\%$

Породы	Регионы*	Возраст	Содержания**	Число проб
Интрузивные			2,9—[6,7]—15,6	267
Граниты и гранодиориты	I—IV	Pt, Cm, O, S, D, C, P, Cr	2,8—[6,7]—16,2	83
Диориты	I, II, IV—VI, VIII, IX	ACm, O, S, D, C, P, Cr, Pg	3,4—[7,5]—16,4	61
Габбро	I, V, VI, VIII, IX	Ar, Cm, O, S, D, P, Cr, Pg	2,8—[6,5]—15,7	80
Гипербазиты	I—III, V	ACm, Cm, O, S, D, C	3,2—[6,3]—12,7	43
Эффузивные			2,3—[5,2]—11,5	263
Риолиты	I—IV, VIII—XI	Pt, Cm, O, S, D, C, P, T, J, Cr, Pg, Q	2,4—[5,4]—12,2	100
Андезиты	I—IV, IX	Pt, Cm, O, S, D, C, P, Pg	2,5—[5,1]—10,2	79
Базальты	I, II, IV, V, VIII—X	Cm, O, S, D, C, T, J, Pg, Ng, Q	2,3—[5,1]—11,9	84
Метаморфические			1,7—[4,4]—7,9]	184
Сланцы	I, II, VII, VIII	ACm, O, S, D, C, J	1,9—[4,1]—8,2	59
Мраморы	I, VII, XII	ACm, Cm, S, D	2—[4,2]—8,7	28
Кварциты	I, V, VI	ACm, Cm, O, S, D, C	3,5—[9,4]—24,8	50
Гнейсы	II, V, XI	ACm, Cm, C, P	2,8—[7,6]—21	27
Амфиболиты	II, III, VI	ACm, C	2,2—[4,7]—10	20

Породы	Регионы*	Возраст	Содержания**	Число проб
Осадочные			3,9—[6,6]—15	612
Аргиллиты, глины	I, II, IV, V, XIII, XIV	Cm, O, D, C, P, T, J, Pg, Ng, Q	3,6—[9,1]—22,4	104
Алевролиты, алевроиты	I, II, IV, XI, XIV	ACm, Cm, O, S, D, C, P, T, J, Pg, Q	3,2—[6,6]—13,7	92
Песчаники, пески	I, II, IV, V	ACm, Cm, O, S, D, C, P, T, J, Cr, Pg, Ng	3,2—[7,4]—16,3	111
Гравелиты, конгломераты	I, II, IV, V, VIII, XIV, XV	ACm, Cm, O, S, D, C, P, T, J, Pg, Ng	2,9—[7]—16	78
Силициты	I, II, IV, V, XV, XVI	ACm, Cm, O, S, D, C, J, Cr, Pg, Ng	2,6—[6,8]—18,2	62
Известняки	I, II, IV, V, XIV, XVII	ACm, Cm, O, S, D, C, P, T, J, Cr, Pg, Ng	2,4—[5,2]—10,2	106
Доломиты	I, IV, XI, XIV, XVIII	ACm, Cm, O, S, D, C, P, T	1,8—[3,7]—7,3	59

* Казахстан: I — Южный, II — Центральный, III — Восточный, IV — Северный, V — Западный; VI — Украинский щит; VII — Забайкалье; VIII — Складчатая зона Сихотэ-Алиня; IX — Малый Кавказ; X — Крым; XI — Урал; XII — Гиссарский хребет; XIII — Прибалтика; XIV — Прогиб Большого Донбасса; XV — Русская платформа; XVI — Большой Кавказ; XVII — Западный Тянь-Шань; XVIII — Сибирская платформа.

** В квадратных скобках — среднеарифметическое содержание ртути.

местного рассеяния и только в частных случаях может концентрироваться в верхних слоях литосферы, в месторождениях. Кларк ртути в земной коре, по мнению Н. А. Озеровой [96], равен $4,5 \cdot 10^{-6}\%$. По нашим расчетам, кларк ртути равен $6,7 \cdot 10^{-6}\%$. Средние содержания ртути в кислых (граниты, гранодиориты, риолиты), средних (диориты, андезиты), основных (габбро, базальты), ультраосновных (перидотиты), глинистых породах, сланцах, песчаниках и известняках изменяются в небольшом интервале концентраций от $5,2 \cdot 10^{-6}$ до $9,1 \cdot 10^{-6}$ (табл. 3). Это свидетельствует о высокой однородности распределения ртути в горных породах, несмотря на различные физико-химические условия их образования.

Используя данные А. П. Виноградова [19], Н. И. Сафронова [97], Г. В. Войткевича и др. [52], нами был выполнен анализ отношений между наибольшими и наименьшими содержаниями 68 элементов* вышеперечисленных типов горных пород. Эти отношения при ранжировании разделены на четыре декады. Отношения между наибольшими и наименьшими содержаниями для первой декады изменяются от 1,2 до 10, для второй — от 10,5 до 100, для третьей — от 120 до 1000 и для четвертой — от 1135 до 2000.

В первую декаду входят 23 элемента, во вторую — 38, в третью — 5 и в четвертую — только два. В первой декаде на втором месте, после кислорода, находится ртуть. Отношение между максимальными и минимальными содержаниями кислорода и ртути в горных породах соответственно равно 1,2 и 1,8, а разница в кларках этих элементов в литосфере составляет почти семь порядков. Во второй декаде первое место занимает торий, а последнее — бор. В третьей декаде на первом месте находится уран, а на последнем — хром. В четвертой декаде находятся углерод и кобальт, для которых отношения между максимальными и минимальными содержаниями в горных породах соответственно равны 1135 и 2000. Дальнейшее уточнение содержаний некоторых элементов в горных породах возможно приведет к некоторым изменениям в их ранжировании, однако положение ртути существенно не изменится. Устойчивой корреляции между содержанием ртути в горных породах и их возрастом не обнаружено (рис. 14).

В разновозрастных интрузивных, эффузивных и метаморфических породах при достигнутой чувствительности анализа ($3 \cdot 10^{-8}\%$) фиксируется только одна составляющая ртути (рис. 15). Максимальная скорость возгонки ртути соответствует температурам, лежащим в интервале $260-380^\circ$, наиболее вероятная температура находится в интервале $280-320^\circ$.

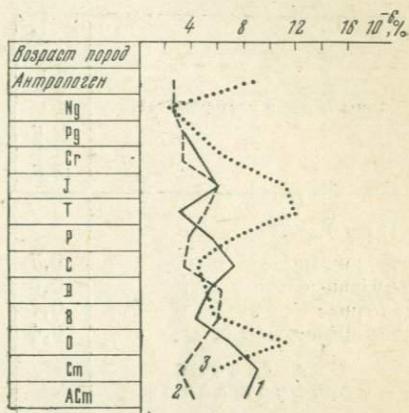
Для осадочных пород характерна одна составляющая ртути

* Отсутствие данных по дисперсии содержаний остальных 67 элементов не позволило провести для них такого анализа.

(табл. 4), а для карбонатных, по сравнению с другими осадочными образованиями, установлен узкий интервал изменения температур, соответствующий максимальной скорости возгонки

Рис. 14. Графики изменения содержания ртути в горных породах в зависимости от возраста

Породы: 1 — интрузивные; 2 — эффузивные; 3 — осадочные



ртути. Температуры изменяются от 250 до 350° с вероятным интервалом 280—320° (рис. 16).

В ранжированном ряду отношений содержаний элементов ртуть занимает второе место после кислорода. Анализ результатов разделения валовых концентраций на составляющие показал, что в различных типах горных пород фиксируется только

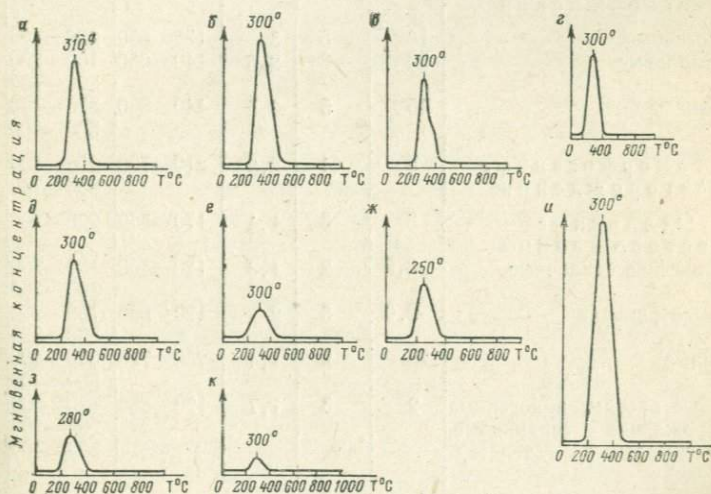


Рис. 15. Разделение валовых концентраций ртути на составляющие.

Породы: а — граниты и гранодиориты ордовика; б — диориты силура; в — габбро перми; г — риолиты кембрия; д — андезиты ордовика; е — базальты кембрия; ж — песчаники карбона; з — силициты докембрия; и — известняки силура; к — гнейсы докембрия

Составляющие ртути в горных породах,
рудах и ореолах

Типы пород и месторождений	Концентрация ртути, 10 ⁻⁵ %	Число составляющих ртути		Температуры максим- альной возгонки		Число проб
		максим- альное	среднее	от min до max	главные	
Породы						
Интрузивные	0,7	1	1	260—380	280—320	31
Эффузивные	0,5	1	1	280—400	280—320	23
Осадочные	0,7	2	1,08	240—340	280—320	53
Метаморфические	0,4	1	1	280—370	280—320	19
Эндогенные месторождения						
Магматические	6	4	2,5	100—620	300—400	10
Карбонатитовые	5	4	2,4	100—520	100—200	5
Альбититовые	4	1	1	140—160	140—160	2
Грейзеновые	6	3	2,6	180—660	200—300	7
Пегматитовые	10	4	2,7	100—700	200—300	9
Скарновые	10	5	2,8	140—820	500—600 200—300 400—500	20
Гидротермальные месторождения						
Плутоногенные	10	5	3	130—860	300—400	34
Телетермальные	23	3	2,5	140—650	100—200 300—400	8
Колчеданные	45	5	3,5	140—860	300—400 500—600	10
Метаморфогенные месторождения	5	4	2,6	210—700	200—300 600—700	6
Осадочные месторождения	8	3	1,4	170—560	200—300	12
Биохимические осадочные	3,5	2	1,3	120—400	100—200 200—300	14
Коры выветривания	2,0	3	2	120—560	100—200 500—600	6
Гипогенные	28	2	1,4	250—740	300—400 500—600	14
Первичные ореолы, эндогенные месторождения (скарновые, гидротермальные, телетер- мальные)	2	3	1,7	120—650	120—200 200—300 300—400	130

одна составляющая ртути, максимальная скорость возгонки которой соответствует в основном узкому температурному интервалу 280—320° (см. табл. 4). Этот факт позволяет утверждать, что ртуть в горных породах в основном находится в одной форме, не входя в кристаллические решетки порообразующих ми-

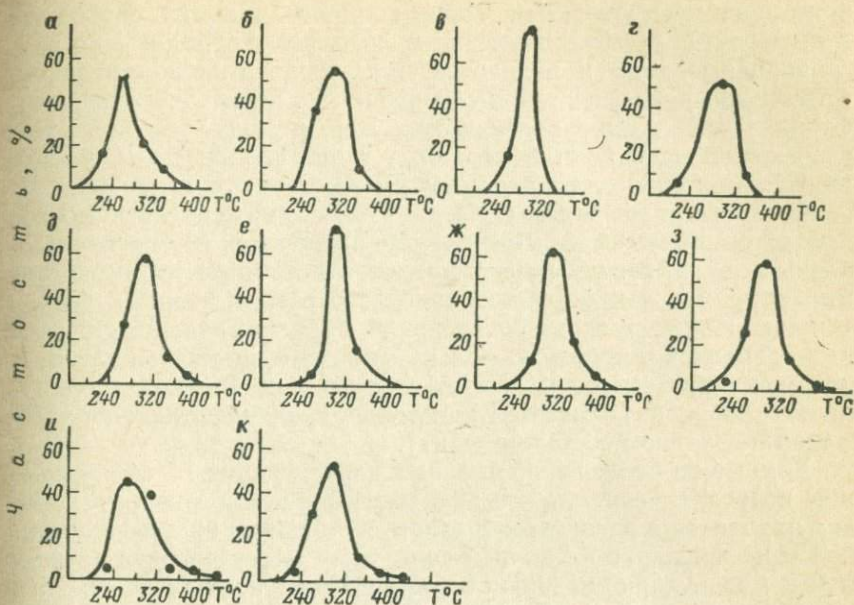


Рис. 16. Вариационные кривые распределения температур максимумов возгонки ртути (n_1 — число оборных проб, n_2 — общее число составляющих ртути для совокупности).

Горные породы: а — аргиллиты, глины, алевроиты и алевролиты, $n_1=n_2=19$; б — пески, песчаники, гравелиты и конгломераты, $n_1=18$, $n_2=20$; в — доломиты и известняки, $n_1=12$, $n_2=14$; г — осадочные породы, $n_1=53$, $n_2=57$; д — интрузивные породы, $n_1=n_2=31$; е — эффузивные породы, $n_1=n_2=23$; ж — метаморфические породы $n_1=n_2=19$; з — горные породы, $n_1=126$, $n_2=130$; и — речной аллювий, $n_1=54$, $n_2=56$; к — горные породы и речной аллювий, $n_1=180$, $n_2=186$

нералов, температуры разрушения которых намного выше 320°. Согласно справочным данным, температуры разрушения кристаллических решеток ортоклаза, альбита, анортита, кварца, слюды, авгита, роговой обманки и оливина, которые по массе составляют 92% литосферы, изменяются от 780 до 1713°.

Крайняя однородность распределения ртути в литосфере и наличие только одной составляющей показывают, что ртуть в горных породах встречается в одной из легкоподвижных форм. Поскольку она здесь наиболее подвижна в форме свободных атомов, можно предполагать, что ртуть в литосфере находится преимущественно в квазигазообразном состоянии, подчиняясь закономерностям, справедливым для газов.

Мысль о квазигазообразном состоянии элементов в литосфере впервые была высказана В. И. Вернадским [13]. Н. И. Сафонов [97, 98] рассматривает квазигазообразное состояние как одну из форм безминерального существования элементов в земной коре.

Как известно, волосно-пленочные и молекулярно-пленочные

воды пропитывают любые горные породы, поэтому свободные атомы ртути, диффундирующие в литосфере, попадают во внутрипородные воды и находятся в растворе этих вод в форме атомов или ионов, не теряя способности к неограниченной диффузии. Часть атомов ртути может находиться в состоянии динамической адсорбции на гранях кристаллов и поверхностях внутрикристаллических разрывов [98].

Согласно положениям Н. И. Сафронова, качественный состав элементов-примесей в молекулярно-пленочных и волосно-пленочных водах, исходя из соображений о наличии тесного взаимодействия, должен быть аналогичен составу в твердых фазах. «Однако количественные соотношения будут отличными для разных элементов и пород, поскольку относительно ничтожная масса рассматриваемых вод может заключить в себе непропорционально большие количества некоторых элементов, находящихся в безминеральном состоянии» [97].

Данные по разделению валовых концентраций на составляющие позволяют считать, что не менее 80% ртути в горных породах находится в квазигазообразном состоянии в волосно-пленочной и молекулярно-пленочной воде. Зная массу волосно-пленочной и молекулярно-пленочной воды [97] и количество в ней ртути, можно определить концентрацию ртути в этих водах. Она равна $8,8 \cdot 10^{-4}\%$ или $8,8 \cdot 10^{-3}$ г/л.

Приведенные данные получены расчетным путем, поэтому носят ориентировочный характер, однако позволяют утверждать, что во внутрипородных водах содержание ртути выше, чем в подземных и речных водах.

Накопление элементов во внутрипородных водах относительно подземных вод установлено эмпирически для меди, серебра, свинца, йода, бора, брома и других элементов [3].

Э. В. Пушкиной [87] установлено повышение концентраций меди, серебра, свинца и висмута в поровых водах горных пород в 50—138 раз относительно иловых вод для кайнозойских отложений Южного Каспия. По данным А. Г. Алиева и др. [3], содержание йода, бора и брома в поровых водах мезозойских отложений Северного Дагестана в десятки—сотни раз превышает концентрации этих элементов в пластовых водах, циркулирующих в горных породах.

Квазигазообразная ртуть, по-видимому, появилась в процессе формирования горных пород, которые могли приобретать свободные атомы ртути за счет эманации ее из глубинных источников земной коры, а также за счет нисходящих и восходящих вод, содержащих ртуть. Высокая степень однородности распределения ртути в литосфере достигнута, вероятно, уже после образования горных пород путем длительного диффузионного перераспределения квазигазообразной ртути.

Следовательно, степень однородности распределения ртути в толщах горных пород, по-видимому, зависит от их возраста.

В горных породах можно выделить сверхкапиллярные, капиллярные и субкапиллярные поры соответственно с диаметрами 0,5; 0,5—0,002 и менее 0,002 мм [105].

Свободные атомы ртути, по нашему мнению, должны находиться в основном в субкапиллярных порах, так как количество этих пор на единицу объема значительно больше, чем других.

В форме свободных атомов во внутрипородных водах находится не только ртуть, но и многие другие элементы. Однако для ртути эта форма нахождения является преимущественной. Это объясняется тем, что однородность распределения содержаний ртути в горных породах выше, чем других элементов, исключая кислород.

Нахождению ртути в горных породах в квазигазообразном состоянии способствует следующее:

1. Благодаря высокому потенциалу ионизации ртуть стремится восстанавливаться до металла из любых ее соединений [93, 95].

2. Несмотря на халькофильные свойства ртути, широкое распространение ее в форме сульфидов из-за дефицита серы маловероятно. По мнению Б. Мейсона [65], сера почти полностью связывается с железом, находящимся в избытке* в земной коре. В соответствии с данными В. И. Лебедева [60], ряд «падающих» способностей элементов к образованию соединений с серой имеет вид: $Cu-Pb-Ni-Bi-Hg-Au$.

Таким образом, остаток серы в первую очередь идет на образование соединений с медью, свинцом, никелем и висмутом, имеющих более высокие кларки, чем ртуть.

3. Энергетический фактор препятствует образованию соединений ртути с кислородом [60], несмотря на избыток последнего в литосфере.

4. Небольшой кларк ртути ($7,7 \cdot 10^{-6}\%$) препятствует образованию многочисленных форм ее нахождения в горных породах.

В горных породах в редких случаях могут образовываться заметные количества самородной ртути. Ф. Ш. Кутыевым и Э. Н. Эрлихом [58] обнаружена самородная ртуть в кислом вулканическом стекле из экструзивного купола, расположенного в северной части Кальдеры Хангар на Камчатке.

Речной аллювий. В течение 1965—1969 гг. были отобраны пробы аллювия из 50 рек Средней Азии и Казахстана. На каждой точке опробования бралось две пробы массой от 0,5 до 1 кг. Отобранная проба состояла из илисто-глинистой и песчанистой фракции, которые отбирались, как правило, в местах спокойного течения рек. Каждая проба состояла из 10—20 мелких проб, которые отбирались вдоль реки через 20—60 м. При обработке из 53 парных проб были приготовлены парные пробы для валового анализа ртути массой 100 г каждая. Оставшиеся

* Кларк серы 0,047%, железа 4,65% [44].

массы парных проб объединялись в одну и производилось фракционирование отмучиванием с помощью набора сит. Затем производилась растирка проб до 200 меш с соблюдением мер предосторожности от заражения. Валовые пробы аллювия были объединены в одну серию проб (106 проб) и проанализированы девять раз с предварительной рандомизацией. Средняя относительная случайная ошибка была $\pm 5\%$. Пробы отдельных фракций также были объединены в единую серию (583 пробы), анализ которой производился в рандомизированной последовательности четырехкратно. Средняя относительная случайная ошибка в этом случае составила $\pm 7\%$.

Пробы из аллювия отбирались в реках Уба, Бухтарма, Курчум, Черный Иртыш (Рудный Алтай), Лепсы, Баскан, Аксу (Джунгарский Алатау), Чон-Кемин, Кара-Балты, Талас (Северный Тянь-Шань), Чу, Сусамыр, Чичкан, Нарын, Карасу, Каранкюр, Кугарт (Внутренний Тянь-Шань), Карасу, Угам, Чирчик, Чаян, Балабугунь, Аксу, Келес, Асса (Западный Тянь-Шань), Гульча; Талдык, Кирколсай, Санзар, Матча, Ягноб, Искандердарья, Кафирниган (Алтай), Бартанг, Пяндж, Язгулем, Ванч, Пшихарв, Оби-Хумбоу, Дударга, Тавильдара, Оби-Хингоу, Чилдара, Сурхоб и Вахш (Памиро-Дарваз).

Пробы отбирались в тех местах, где отсутствовало заражение ртутью вод и аллювия за счет деятельности промышленных предприятий. Пробы аллювия были отобраны в Амударье (низовье), Сырдарье (среднее течение), Карадарье и Таласе.

В распределении ртути по речному аллювию наблюдается большая дисперсия, содержания изменяются от 2,5 (р. Аксу) до $62.10^{-6}\%$ (р. Баскан). При этом в средних и нижних течениях рек Сырдарьи, Амударьи и Пянджа фиксируются относительно высокие содержания ртути 25, 40 и $52.10^{-6}\%$.

Причины относительно высокой дисперсии концентраций ртути в аллювиальных отложениях указанных рек автору в настоящее время неизвестны.

Средние содержания ртути в аллювии рек Тянь-Шаня с доверительными интервалами равны 5,8—[11,1]— $17.5.10^{-6}\%$, Рудного Алтая и Джунгарского Алатау 4,5—[12]— $21.3.10^{-6}\%$, Алая 8,5—[12,9]— $18.10^{-6}\%$ и Памиро-Дарваза 8,6—[14,5]— $22.3.10^{-6}\%$. Среднее содержание ртути в основных реках (Сырдарья, Амударья, Пяндж, Чу, Зеравшан) равно 10,1—[15,2]— $21.4.10^{-6}\%$. Отсюда средние содержания ртути в речном аллювии рек в 1,8—2,5 раза превышают средние содержания ртути в горных породах (см. табл. 3). Повышенное содержание ртути в тонкозернистом аллювии рек по сравнению с горными породами может быть обусловлено перераспределением ртути в процессе денудации, в результате которой значительные количества ее из горных пород и почв попадают в воду, а затем сорбируются илисто-глинистыми отложениями (рис. 17).

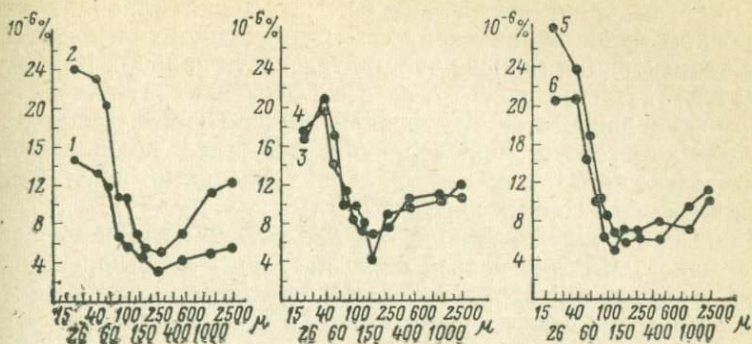


Рис. 17. Графики зависимости концентрации ртути от диаметра частиц аллювия:

1 — реки Рудного Алтая и Джунгарского Алатау ($n=7$); 2 — реки Тянь-Шаня ($n=18$); 3 — реки Алая ($n=8$); 4 — реки Памиро-Дарваза ($n=13$); 5 — Сырдарья, Нарын, Карадарья, Амударья, Пяндж, Зеравшан, Чу; 6 — общий график для исследованных рек ($n=50$)

Исследования, проведенные Н. С. Скиба [102], также показали существенную сорбцию ртути мелкой фракцией аллювия рек Ферганской долины.

В аллювиальных отложениях фиксируется преимущественно одна составляющая ртути. Температуры, соответствующие максимальным скоростям возгонки ртути из проб речного аллювия, составляют $240-280^\circ$ (см. рис. 16, график *u*). Снижение интервала вероятных температур возгонки ртути в аллювиальных пробах ($240-280^\circ$) по сравнению с монолитными горными породами ($280-320^\circ$) может также свидетельствовать о существенном влиянии адсорбции на распределение концентрации ртути в аллювии.

Ртуть в рудах. А. А. Сауков [93] первым изучил распределение ртути в рудах и минералах гидротермальных месторождений. При изучении ореолов рассеяния нами проводилось исследование распределения содержаний ртути в рудах различных генетических типов месторождений [127, 129]. Изучение распределения ртути в рудах месторождений проводилось Н. А. Озеровой [69, 72], З. Я. Церцвадзе [153], Ю. Б. Генкиным [23] и др.

Генетическая классификация месторождений дана в соответствии с работой [22].

Из-за сильного влияния серы, органики и других мешающих примесей изучение составляющих ртути производилось по методике ее накопления на золотых сорбентах.

Каждая составляющая (возгонка при линейном повышении температуры) соответствует определенной форме нахождения ртути, за исключением того, когда температура максимальной возгонки ртути для разных форм ее нахождения близки или равны. В этом случае несколько форм нахождения ртути будут

представлены одной составляющей. Число составляющих ртути в основном будет равно числу форм ее нахождения, в которых же ее концентрация меньше чувствительности прибора КазРАФ-5 ($n \cdot 10^{-8}\%$) нами не рассматривается. Для сравнительного анализа можно допустить, что каждая составляющая ртути однозначно соответствует определенной форме ее нахождения, а число зафиксированных составляющих адекватно числу форм нахождения ее в горных породах и рудах.

Данные по определению форм нахождения ртути способом непрерывной возгонки нельзя было проверить с помощью химических и рентгеноспектральных методов, так как последние имеют недостаточную чувствительность для исследования руд и ореолов нертутных месторождений. Поэтому нами описываются отдельные составляющие ртути и в некоторых случаях говорится о формах нахождения на основании сопоставления температур максимальной возгонки с температурами диссоциации известных ее соединений, разрушения кристаллических решеток минералов, а также с результатами наших экспериментов по

Таблица 5

Среднеарифметические содержания ртути,
 $10^{-6}\%$

Месторождения	Доверительные интервалы содержаний	Регионы	Число проб
Магматические (11) *	22—[62]**—115	IV, V, XIV, XXI, XXII***	49
Пегматитовые (11)	25—[98]—386	III, VI, XII, XIV, XX, XXIII, XXIV	35
Карбонатитовые (3)	20—[46]—72	VII, XXI	11
Скарновые (24)	30—[103]—342	II, IV, IX, XII, XV, XVIII, XIX	90
Альбититовые (2)	13—[35]—93	VII, XX	9
Грейзеновые (7)	28—[61]—104	II, VII, XXVI	26
Гидротермальные (47)	34—[103]—343	I, II, V, VII, VIII, X, XIV, XV, XIX, XX, XXI—XXVII	183
Телетермальные (9)	45—[227]—1142	I, VII, VIII, XXV, XXVII	38
Колчеданные (13)	85—[453]—1847	II, III, V, XIV, XXIV, XXV	61
Метаморфогенные (5)	15—[46]—78	II, VIII, XIX, XXVIII	16
Осадочные (20)	30—[80]—212	I—V, VII, XIII, XIV, XXIV, XXX	99
Коры выветривания (3)	4—[20]—40	V, XIV	14

* В скобках — число месторождений.

** В квадратных скобках — среднеарифметическое содержание ртути.

*** Казахстан: I — Южный, II — Центральный, III — Восточный, IV — Северный, V — Западный; VI — Украинская ССР; VII — Забайкалье; VIII — Якутия; IX — Хабаровский край; X — Армянская ССР; XII — Приморье; XIII — Грузинская ССР; XIV — Урал; XV — Таджикская ССР; XVIII — Кавказ; XIX — Киргизская ССР; XX — Восточная Сибирь; XXI — Кольский полуостров; XXII — Красноярский край; XXIII — Узбекская ССР; XXIV — Карельская АССР; XXV — НРБ; XXVI — Чукотка; XXVII — Тувинская АССР; XXVIII — КМА; XXX — Коми АССР.

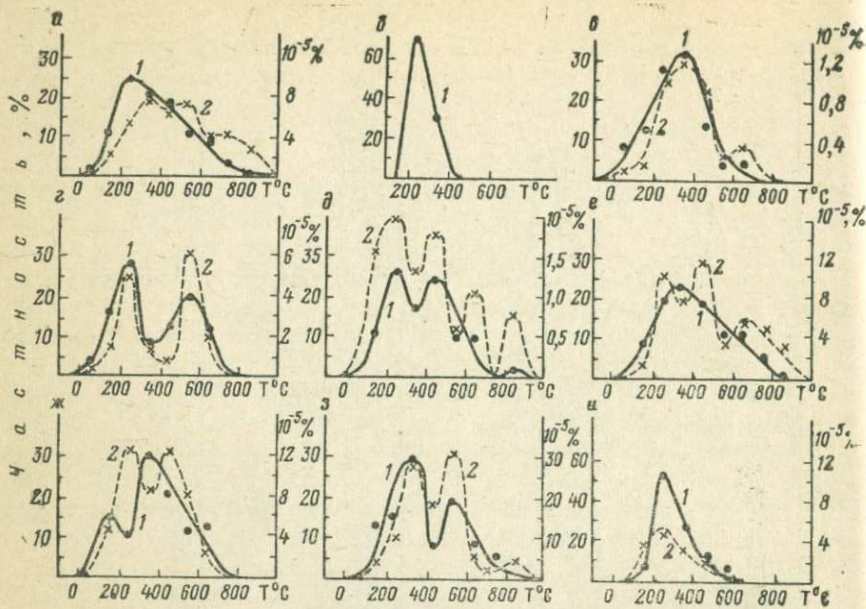


Рис. 19. Вариационные кривые распределения температур максимумов возгонки ртути (1) и соответствующие им концентрации в пробах (2):

а — рудные месторождения ($n_1=129$, $\bar{n}_2=2,7$, где n_1 — число месторождений, \bar{n}_2 — среднее число составляющих ртути); б — горные породы ($n_1=100$, $\bar{n}_2=1,05$); в — магматические месторождения ($n_1=10$, $\bar{n}_2=2,5$); г — пегматитовые ($n_1=9$, $\bar{n}_2=2,7$); д — скарновые ($n_1=20$, $\bar{n}_2=2,8$); е — гидротермальные ($n_1=34$, $\bar{n}_2=3$); ж — телетермальные ($n_1=8$; $\bar{n}_2=2,5$); з — колчеданные ($n_1=10$, $\bar{n}_2=3,5$); и — осадочные ($n_1=12$, $\bar{n}_2=1,4$)

возгонке ртути из различных химических соединений (киноварь, каломель и др.).

В табл. 5 приведены среднеарифметические содержания ртути в рудах различных типов месторождений.

Магматические месторождения. Наибольшие средние концентрации ртути содержатся в сульфидных медно-никелевых месторождениях ($79-110 \cdot 10^{-6}\%$), а наименьшие — в месторождениях титана ($18 \cdot 10^{-6}\%$).

Согласно данным М. Н. Годлевского [28], при образовании медно-никелевых месторождений существенную роль играли постмагматические процессы и активный концентратор — сера. По-видимому, эти условия способствовали накоплению ртути в рудах.

Число форм нахождения ртути в рудах магматических месторождений изменяется от 2 до 4 (см. табл. 4). Широко распространены такие температуры максимальной возгонки, которые характерны для киновари (рис. 18), а также те формы находде-

ния ртути, из которых максимальная возгонка ее происходит при температурах 300—400°. Наибольшее количество ртути сосредоточено именно в этих формах (рис. 19).

Пегматитовые месторождения. Наименьшие средние концентрации ртути ($5.10^{-6}\%$ и $13.10^{-6}\%$) установлены для руд оловянного месторождения и месторождения пьезокварца.

Число форм нахождения ртути в рудах пегматитовых месторождений колеблется от 2 до 4, а температуры, при которых происходит максимальная возгонка ртути, изменяются в интервале 100—700° (см. рис. 19). Часто в рудах встречаются такие формы нахождения, из которых максимальная возгонка ртути происходит при температурах 200—300° и 500—600°. Наибольшие концентрации ртути наблюдаются в этих формах.

Карбонатитовые месторождения. Средние концентрации ртути в рудах месторождений изменяются от 33.10^{-6} до $60.10^{-6}\%$. Число форм нахождения ртути колеблется от 2 до 4, температуры максимальной возгонки варьируют от 120 до 620°.

Скарновые месторождения. Наименьшие средние концентрации ртути характерны для бериллиевых месторождений (3.10^{-6} — $5.10^{-6}\%$), а наибольшие — для свинцово-цинковых (101.10^{-6} — $488.10^{-6}\%$). Число форм нахождения ртути в рудах колеблется от 2 до 5; температуры максимальной возгонки ртути изменяются от 140 до 820° (см. рис. 19 и табл. 4).

Альбититовые месторождения. Изучены руды двух месторождений тантала и ниобия. Средние содержания ртути изменяются от 34.10^{-6} до $48.10^{-6}\%$. В рудах одного из месторождений зафиксирована только одна составляющая ртути. Максимальная возгонка ртути из руд этого месторождения происходит при температуре 160°.

Грейзеновые месторождения. Наименьшие концентрации ртути зафиксированы в рудах оловянных месторождений Экуг ($22.10^{-6}\%$) и Северное (39.10^{-6}), наибольшие — в рудах оловянного месторождения Тыринское ($102.10^{-6}\%$) и молибденового Восточный Коунрад ($79.10^{-6}\%$).

В рудах указанных месторождений фиксируется 2—3 формы нахождения ртути.

Гидротермальные месторождения (плутоногенные). Наименьшие средние концентрации ртути зафиксированы в месторождениях пьезокварца I и II (4.10^{-6} — $8.10^{-6}\%$) и асбеста (7.10^{-6} — $6.10^{-6}\%$). Наибольшие средние концентрации ртути установлены в рудах Текелийского свинцово-цинкового месторождения ($1570.10^{-6}\%$). В рудах фиксируется от 2 до 5 форм нахождения ртути, среднее число форм 3, температуры максимальной возгонки ртути изменяются от 130 до 860°. Наиболее распространены такие формы, из которых максимальная возгонка ртути происходит при температурах 300—400°.

Телетермальные месторождения. Наименьшие средние концентрации ртути зафиксированы в месторождениях плавленого шпата $10-12 \cdot 10^{-6}\%$ (Солонечное и Усуглинское), а наибольшие — в кобальтовом месторождении Ховуаксы ($1619 \cdot 10^{-6}\%$). Для руд этого типа месторождений характерно широкое распространение ртути в легковозгоняемых формах. Температура максимальной возгонки для таких форм изменяется от 100 до 200° .

Колчеданные месторождения. Наибольшие концентрации ртути зафиксированы в медноколчеданных месторождениях Урала ($861-2212 \cdot 10^{-6}\%$), наименьшие в медноколчеданном месторождении Центрального Казахстана ($35 \cdot 10^{-6}\%$).

По данным Н. А. Озеровой [72], в рудах колчеданных месторождений Урала среднее содержание ртути равно $700 \cdot 10^{-6}\%$. Относительно высокие концентрации ртути в медноколчеданных рудах могут быть обусловлены блеклой рудой, распространенной в пиритной руде колчеданных месторождений. Число форм нахождения ртути в рудах изменяется от 2 до 5, среднее их число 3,5. Температуры максимальной возгонки ртути колеблются от 140 до 860° .

Наиболее распространены такие формы, из которых максимальная возгонка ртути происходит в интервале температур $300-400^\circ$ и $500-600^\circ$. Из десяти исследованных месторождений в рудах девяти зафиксированы составляющие с температурами максимальной возгонки ртути $360-380^\circ$. По-видимому, эти составляющие соответствуют киновари, что подтверждается находками ее в рудах медноколчеданных месторождений Урала.

В рудах пегматитовых и скарновых месторождений ртуть преимущественно находится в квазигазообразном состоянии в субкапиллярных порах, в форме амальгам и в состоянии сорбции, а также изоморфной и неизоморфной примеси в кристаллических решетках минералов. Благодаря избытку серы ртуть в рудах гидротермальных и колчеданных месторождений находится преимущественно в форме киновари. В телетермальных месторождениях широко распространена самородная ртуть, которая приурочена к субкапиллярным порам руд.

Обогащение ртутью рудных тел увеличивается от магматических к гидротермальным и особенно телетермальным месторождениям, что может быть объяснено, по мнению А. А. Саукова [93], высокой летучестью паров ртути. Вследствие этого ртуть обособлялась из магматического расплава в виде газообразной фазы, концентрируясь в большей степени в низкотемпературных телетермальных месторождениях.

В рудах медноколчеданных месторождений необходимо отметить три особенности распределения ртути: 1) относительно высокие содержания ($45 \cdot 10^{-5}\%$); 2) широко распространены такие составляющие ртути, из которых максимальная возгонка ее про-

исходит при температурах 500—600°; 3) зафиксировано наибольшее число составляющих ртути (среднее — 3,5).

Первая особенность, по-видимому, объясняется избытком серы и относительно высокой концентрацией паров ртути при формировании месторождений, так как, по мнению В. И. Смирнова [22], «все колчеданные месторождения рассматриваются как продукты восходящих газо-гидротермальных потоков, генерированных глубинными вулканическими очагами».

Не подлежит сомнению, что в таких газогидротермальных потоках наблюдались повышенные концентрации ртути. Вторая особенность обусловлена перераспределением форм нахождения ртути в процессе сильного зеленокаменного метаморфизма [22] в сторону трудновозгоняемых ее форм*.

Большое число форм нахождения ртути обусловлено разнообразием физико-химических условий образования медноколчеданных месторождений и повышенными концентрациями ртути в газо-гидротермальных потоках.

Метаморфогенные месторождения. Наиболее вероятные температуры максимальной возгонки ртути из руд метаморфогенных месторождений заключены в интервалах 200—300° и 600—700° (см. табл. 4). Наличие составляющих ртути с максимумами возгонки при температурах 600—700°, по-видимому, обусловлено перераспределением форм нахождения ртути при динамотермальном метаморфизме в сторону трудновозгоняемых форм ее нахождения.

Осадочные месторождения. Наименьшие средние концентрации ртути установлены в месторождениях железа Керчи ($6 \cdot 10^{-6}\%$). Наибольшие концентрации ртути зафиксированы в Чиатурском марганцевом месторождении ($86 \cdot 10^{-6}\%$)**, в фосфоритах Вятско-Камского месторождения ($112 \cdot 10^{-6}\%$) и бокситах Северо-Уральского месторождения ($99 \cdot 10^{-6}\%$). Максимальные температуры составляющих ртути изменяются в интервале 170—560° (см. табл. 4), максимальное число составляющих 3, среднее 1,4. В рудах указанных месторождений ртуть находится преимущественно в форме свободных атомов в субкапиллярах, а также в сорбированной форме.

Меньшее количество составляющих ртути, по сравнению с эндогенными месторождениями, объясняется двумя особенностями: 1) относительно малой концентрацией ртути в рудах осадочных месторождений; 2) однообразием термодинамических (температура, давление) условий образования руд осадочного генезиса.

* Это характерно для руд колчеданных месторождений зеленокаменной полосы Урала.

** По данным А. А. Саукова [93], в рудах Чиатурского месторождения содержится $36 \cdot 10^{-6}$ — $53 \cdot 10^{-6}\%$ ртути.

Сравнение оценок средних концентраций *

Типы горных пород и месторождений	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Породы																	
Интрузивные		+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Эффузивные			-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Метаморфические				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Осадочные					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Месторождения																	
Магматические						-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+
Пегматитовые							+	-		-	-	+	+	-	-	-	+
Карбонатитовые								+		-	-	+	+	-	-	-	+
Скарновые									+	-	-	+	+	+	+	+	+
Альбититовые									+	+	+	+	+	-	+	+	+
Грейзеновые										+	+	+	+	-	+	+	+
Гидротермальные											+	+	+	+	+	+	+
Телетермальные												+	+	+	-	+	+
Колчеданные													+	+	+	+	+
Метаморфогенные														+	-	+	+
Осадочные																+	+
Коры выветривания																	+

* (+) — значимое, (-) — незначимое различие между двумя средними концентрациями. Доверительный уровень 0,1.

Анализ табл. 6 показывает, что средние концентрации ртути в рудах любых генетических типов месторождений всегда отличаются от средних содержаний ртути в горных породах. Средние концентрации ртути в рудах месторождений коры выветривания никеля и колчеданных месторождений значительно отличаются от содержаний ртути в рудах месторождений других генетических типов.

Наибольшие количества ртути установлены в месторождениях халькофильных элементов. Относительно высокие концентрации ртути обнаружены в рудах медных ($303 \cdot 10^{-6}\%$), никель-кобальтовых ($237 \cdot 10^{-6}\%$), свинцово-цинковых ($229 \cdot 10^{-6}\%$) и сурьмяных ($146 \cdot 10^{-6}\%$) месторождений. Низкие содержания ртути отмечены в месторождениях пьезокварца ($8 \cdot 10^{-6}\%$), бериллия ($14 \cdot 10^{-6}\%$), бора ($19 \cdot 10^{-6}\%$) и асбеста ($20 \cdot 10^{-6}\%$).

По данным Н. А. Озеровой [72], в кварц-золоторудных месторождениях Южной Африки, Австралии и Чили установлены промышленные содержания киновари. По данным А. А. Саукова [93], в некоторых золото-кварцевых месторождениях в сульфидных минералах содержание ртути равно $n \cdot 10^{-4}$ — $n \cdot 10^{-3}\%$.

По данным В. П. Федорчука [121], в шеелиито-антимонито-золоторудных месторождениях Китая отмечается наличие вторич-

ной киновари и самородной ртути, образование которых обусловлено распадом ртутьсодержащей блеклой руды. А. Д. Щеглов [157] и В. С. Кормилицын [50] в ряде вольфрамовых месторождений Забайкалья отмечают наличие в рудах киновари.

Минералы. Исследования распределения содержаний ртути в мономинеральных пробах нертутных месторождений, которые проводились совместно с М. З. Фурсовой, показали, что во всех исследованных минералах сульфидных месторождений зафиксированы повышенные концентрации ртути, которые в 10—100 раз превышают содержания во вмещающих породах. Высокие концентрации ртути характерны для минералов зоны окисления, которые, по-видимому, обогащаются в процессе своего образования за счет ртути сульфидов. Так, например, в зоне окисления свинцово-цинкового месторождения Ачисай в церуссите зафиксированы содержания ртути 0,01—0,1%.

Ртуть в большинстве исследованных минералов находится не в кристаллических решетках, так как температуры разрушения решеток выше температур максимальной возгонки ртути (табл. 7).

Таблица 7

Температуры разрушения минералов и температуры максимальной возгонки для составляющих ртути

Минералы	$t_{пл}^{\circ}$ *	$t_{эф}^{\circ}$	$t_{р}^{\circ}$	$t_{п}^{\circ}$	t_1°	t_2°	t_3°
Сульфиды							
Кобальтин				350	300	510	—
Молибденит	730				310	540	—
Ковеллин	1175				310	390	650
Окислы и гидроокислы							
Браунит			940		570	—	—
Гаусманит	1560				580	—	—
Лимонит			250—300		290	570	—
Магнетит	1591				310	720	—
Силикаты							
Циркон	2430				460	—	—
Каолинит			590		350	410	—
Нонтронит	210	495			350	590	—
Карбонаты							
Церуссит			285—362		230	350	—
Малахит			250—500		280	580	—
Азурит			350—500		290	490	—

* $t_{пл}^{\circ}$ — температура плавления; $t_{эф}^{\circ}$ — температура термических эффектов;

$t_{р}^{\circ}$ — температура разложения; $t_{п}^{\circ}$ — температура перехода из одной формы в другую; t_1° ,

t_2° , t_3° — температуры максимальной возгонки для первой, второй и третьей составляющих,

Содержания ртути в нефтях,
углях ($10^{-6}\%$) и в газе (10^{-7} мг/л)

Месторождение, скважина, регионы	Доверительные интервалы содержаний	Число проб
Нефть*		
Ромны, Украина	30—[33]**—36	2
Глинско-Разбежанское, Украина	35—[38]—41	2
Гнединцы »	105—[110]—115	4
Кибиницы »	24—[27]—30	5
Зачепиловка »	32—[37]—42	6
Бельское »	33—[37]—41	2
Скважина 531, Керчь—Тамань	32—[34]—36	2
Скважина 460, » »	37—[40]—43	3
Скважина 533 » »	27—[30]—33	2
Скважина 703 » »	33—[37]—41	2
Скважина 46 » »	30—[31]—32	3
Скважина 49 » »	37—[44]—51	2
Скважина 3 » »	107—[117]—127	2
Скважина 2 » »	33—[39]—45	2
Скважина 129 » »	33—[39]—45	2
Жетыбай, Мангышлак	34—[39]—44	8
Сары-Таш, Средняя Азия	28—[30]—32	2
Южный Аламышик, Средняя Азия	22—[24]—26	6
Марковское, Западная Сибирь	32—[34]—36	4
Охинское, Сахалин	40—[43]—46	2
Красноборское, Прибалтика	34—[41]—48	3
Датых, Северный Кавказ	30—[33]—36	4
Газ		
Узень, Западный Казахстан	4—[6]—8	6
Жетыбай » »	10,8—[13]—15,2	4
Учкыр, Узбекистан	28—[53]—78	3
Каракатай »	26—[37]—48	4
Газли »	6—[25]—44	2
Шахпахты »	3,4—[10]—16,4	5
Мубарек »	2,9—[4]—5,1	4
Бурый уголь		
Экибастуз, Центральный Казахстан	15—[40]—65	4
Тентек, » »	4,5—[5,4]—6,3	5
Каменный уголь		
Юбидейное, Восточный Казахстан	42—[66]—90	10

* Использованы образцы нефти, полученные от Н. А. Кудрявцева.

** В квадратных скобках — среднеарифметическое содержание ртути.

Данные по температурам плавления, разрушения, перехода и термическим эффектам для минералов заимствованы из работ Фр. Берча и др. [8], Н. И. Горбунова, И. Г. Цюрупы и Е. А. Шурьиной [30], а также А. И. Цветкова, Е. Н. Вальяшихиной и Г. О. Пилюяна [152].

Наибольшее количество составляющих ртути зафиксировано в рудных минералах (среднее 1,8), а наименьшее — в нерудных минералах рудных месторождений (среднее 1,5). В гипергенных минералах установлено больше составляющих ртути (среднее 2,2) по сравнению с гипогенными (среднее 1,4). Для гипогенных минералов температуры максимальной возгонки ртути изменяются в интервале 200—800°, а для гипергенных — в интервале 200—700°.

Уголь, нефть и углеводородные газы. Измерения содержаний ртути в нефтях и углях проводились с помощью атомно-абсорбционного фотометра с использованием двух золотых сорбентов.

Пробы угля и нефти были объединены в единую серию, анализ которой проводился девятикратно в рандомизированном порядке. Средние содержания ртути в нефтях, взятых из различных месторождений СССР, изменяются от $24 \cdot 10^{-6}\%$ (Узбекистан) до $117 \cdot 10^{-6}\%$ (Керчь) (табл. 8). По данным Н. А. Озеровой и др. [76], в нефтях многих месторождений СССР содержания ртути изменяются от $4 \cdot 10^{-6}\%$ до $4 \cdot 10^{-5}\%$, только в одной пробе зафиксировано $1 \cdot 10^{-4}\%$. Содержания ртути в газах нефтяных и газовых месторождений изменяются от $4 \cdot 10^{-7}$ до $53 \cdot 10^{-7}$ мг/л (см. табл. 8). По данным Н. А. Озеровой и др. [76] содержания ртути в газовых месторождениях СССР варьируют от $1 \cdot 10^{-8}$ до $4 \cdot 10^{-6}$ мг/л, преимущественные содержания $n \cdot 10^{-7}$ мг/л, а в газовых месторождениях ФРГ — от $1,5 \cdot 10^{-4}$ до $4,5 \cdot 10^{-4}$ мг/л. А. М. Эдельман [158] в метановом газе Донбасса и Приазовья обнаружил пары ртути с содержанием от $4 \cdot 10^{-7}$ до $39 \cdot 10^{-7}$ мг/л.

В процессе преобразования растительных и животных остатков в нефть и газ могло происходить накопление ртути и в углеводородах. Во время миграции от места возникновения к месту накопления углеводороды могли обогащаться ртутью за счет ее выщелачивания из горных пород, а также за счет паров ртути, фильтрующихся из глубинных источников к поверхности Земли.

В вязкой нефти месторождения Узень (КазССР) зафиксировано две составляющие ртути: одна с температурами возгонки 120—180°, другая 300—400°. Обе составляющие, вероятно, соответствуют ртути, находящейся в форме разных ртутноорганических соединений.

Средние содержания ртути в углях изменяются от $5,4 \cdot 10^{-6}$ до $66 \cdot 10^{-6}\%$ (см. табл. 8). По данным М. А. Карасика и др. [75], средние содержания ртути в углях Донбасса равны $590 \cdot 10^{-6}\%$. По данным Б. И. Ткача [115], содержания ртути в углях изменяются от $8 \cdot 10^{-6}$ до $600 \cdot 10^{-6}\%$.

Н. А. Озерова [96] подчеркивает, что в угольных месторождениях, которые пространственно не связаны с сульфидными месторождениями, содержание ртути в углях незначительно, оно колеблется от $2 \cdot 10^{-6}$ до $6 \cdot 10^{-6}\%$.

По нашим данным, в горючих сланцах Эстонии среднее содержание ртути с доверительными интервалами равно $23 \cdot 10^{-6}$ — $35 \cdot 10^{-6}\%$ (8 образцов). По данным Н. А. Озеровой и Н. Х. Айдиньян [73], среднее содержание ртути в горючих сланцах Прибалтийского бассейна равно $40 \cdot 10^{-6}\%$ (10 образцов).

В соответствии с В. М. Гольдшмидтом [164] и Б. Мейсоном [65] полагаем, что имеются два основных пути накопления ртути в углях и горючих сланцах: 1) во время жизнедеятельности растений и в ходе последующего их преобразования в горючие ископаемые; 2) при адсорбции и химических реакциях, сопровождающих углефикацию.

При жизни растений происходит незначительное накопление ртути. Существенное накопление ртути наблюдается при минерализации растений. Подземные воды, фильтруясь через углестые вещества, оставляют в них значительную часть ртути благодаря физической адсорбции и хемосорбции. За счет сорбции происходит, по-видимому, преобладающее накопление ртути в углях и горючих сланцах.

В углях зафиксированы две составляющие ртути с температурами возгонки 180 — 200° и 240 — 300° . Первая составляющая, по-видимому, соответствует адсорбированной (физическая адсорбция), а вторая — хемосорбированной ртути.

В. Э. Поярков [85, 86] полагает, что распределение содержания ртути в углях должно контролироваться расстояниями от краевых разломов, так как последние ограничивают депрессии, в которых накапливаются угли (например, Донбасс). В этом случае краевые разломы являются каналами, по которым ртуть поступала из глубин Земли.

Почвы. Содержания ртути в почвах, отобранных в разных ландшафтах Казахстана и по различным генетическим горизонтам, приведены в табл. 9.

Средние концентрации ртути в различных генетических горизонтах почв изменяются от $2,7 \cdot 10^{-6}$ до $8,8 \cdot 10^{-6}\%$. Средние содержания ртути в почвах различных элементарных ландшафтов* различаются незначительно, изменяясь от $3,4 \cdot 10^{-6}$ до $5,8 \cdot 10^{-6}\%$. Средние содержания ртути для всех исследованных почв в горизонте *A* равны $3,1 \cdot 10^{-6}$ — $5,8 \cdot 10^{-6}$ — $8,9 \cdot 10^{-6}\%$ (43 пробы), в горизонте *B* — $2,7 \cdot 10^{-6}$ — $4,4 \cdot 10^{-6}$ — $6,3 \cdot 10^{-6}\%$ (41 проба), в горизонте *C* — $2,0 \cdot 10^{-6}$ — $3,4 \cdot 10^{-6}$ — $5 \cdot 10^{-6}\%$ (43 пробы). При этом средние содержания значительно отличаются друг от друга. Отсюда в процессе формирования горизонтов почв наибольшие концентрации ртути фиксируются в гумусовом горизонте, а наименьшие — в горизонте материнских пород.

Увеличение содержания ртути в гумусовом горизонте, по-видимому, происходит за счет сорбции ртути из водных растворов

* Классификация по Б. Б. Полюнову с дополнениями М. А. Глазвской [26].

Содержание ртути в почвах
по горизонтам в 10⁻⁶%

Типы почв	Содержания*	Регионы**
Автономный ландшафт		
Чернозем южный, на оглеенной мезозойской глинистой коре выветривания	4,4; 1,7; 1,4	I
То же	5,0; 2,0; 1,2	I
Чернозем горный на гранодиоритах палеозоя	7,5; 4,5; 2,5	II
То же	6,8; 4,4; 2,4	II
Горная каштановая на третичных глинах	4,2; 2,8; 1,6	III
То же	4,7; 3,5; 2,3	III
Каштановая обыкновенная на диабазе	5,3; 3,0; 1,1	IV
Чернозем обыкновенный на древней коре выветривания	1,6; 2,6; 9,1	I
Трансальпийский ландшафт		
Чернозем горный на гранодиоритах палеозоя	5,6; 4,2; 3,4	II
То же	7,2; 5,4; 3,9	II
Каштановая обыкновенная на диабазе	4,3; 3,8; 5,6	IV
Каштановая на диабазе	2,3; 3,3; 8,6	IV
Горная каштановая на сланцах	4,1; 3,4; 3,0	III
Горная каштановая на сланцах	5,2; 3,5; 1,6	III
Чернозем горный на гранодиоритах	6,3; 4,7; 2,9	II
Элювиально-аккумулятивный ландшафт		
Горный чернозем на гранодиоритах	4,8; 6,7; 3,4	II
То же	6,4; 8,1; 4,3	II
Горный чернозем на гранодиоритах	6,1; 4,1; 2,8	II
Чернозем солонцеватый	3,7; 2,5; 2,5	I
Горная каштановая на сланцах	4,1; 3,4; 3,0	III
То же	5,2; 3,5; 1,6	III
Каштановая обыкновенная	4,4; 4,3; 3,1	IV
Каштановая солонцеватая	10,2; 4,6; 1,2	IV
Каштановая глубокосолонцеватая	2,7; 6,4; 3,9	IV
Луговая на неогеновых глинах	6,5; 8,2; 1,0	IV
То же	11,2; 4,8; 3,7	IV
» »	8,7; 6,1; 4,5	IV
Солончак на неогеновых глинах	5,0; —; 2,0	IV
Солонец на неогеновых глинах	3; 1,7; 1,8	IV
Аккумулятивно-элювиальный ландшафт		
Чернозем выщелоченный на оглеенной мезозойской коре выветривания	19,1; 2,3; 2,2	I
Чернозем выщелоченный	9,6; 4,9; 3,8	I
Чернозем солончачоватый на древней коре выветривания	8,9; 5,7; 3,8	I
То же	7,1; 5,8; 4,1	I
Горный чернозем на кислых интрузивных породах	5,3; 4,5; 3,5	II
То же	6,3; 4,2; 3,0	II

Типы почв	Содержания*	Регионы**
Горная каштановая на осадочных породах Супераквальный ландшафт	5,4; 5,1; 4,1	III
Каштановая на неогеновых глинах	2,8; 2,7; 3,3	IV
То же	3,5; 3,8; 2,9	IV
Солонец	5,4; 4,8; 5,0	IV
Солончак	9,2; —; 8,9	IV
Каштановые	4,9; 5,4; 4,4	III
То же	15,4; 6,3; 6,3	III
» »	5,0; 5,6; 5,6	III

* Первая цифра — содержание в горизонте А, вторая — в В и третья — в С.

** I — Северный Казахстан, Кокчетавская область; II — Заилийский Алатау, район Алма-Аты; III — Южный Казахстан, район Красногорки; IV — Западный Казахстан, район Эмбы.

и атмосферы. Средние содержания ртути в каштановых почвах равны $4,2 \cdot 10^{-6}\%$ (17 разрезов), в черноземных $4,8 \cdot 10^{-6}\%$ (18 разрезов), в луговых и солончаковых (8 разрезов) $5,2 \cdot 10^{-6}\%$. Средние концентрации ртути в почвах Казахстана равны $2,1 \cdot 10^{-6}$ — $4,6 \cdot 10^{-6}$ — $7,5 \cdot 10^{-6}\%$. Приведенные цифры позволяют утверждать, что количества ртути в почвах наследуются от горных пород без существенных изменений.

По данным А. П. Виноградова [18], содержания ртути в лесных почвах изменяются от $10 \cdot 10^{-6}$ до $29 \cdot 10^{-6}\%$, в культурных — от $3 \cdot 10^{-6}$ до $7 \cdot 10^{-6}\%$. По данным Н. Х. Айдиньян, А. И. Троицкой и Г. А. Белавской [2], содержания ртути в почвах СССР и Вьетнама изменяются от $n \cdot 10^{-7}$ до $n \cdot 10^{-4}\%$ *. По данным С. Уллистона [170], содержания ртути в почвах Невады и Техаса (США) изменяются от $2 \cdot 10^{-6}$ до $4 \cdot 10^{-6}\%$.

Атмосфера. Изучение паров ртути в приземной и почвенной атмосфере проводилось в течение 1972—1974 гг. с помощью ртутных газоанализаторов КазРАФ-6 и ИМГРЭ-4 в пределах Карпат, Русской, Скифской и Туранской плит, Большого и Малого Кавказа, Предкопетдагского прогиба, варисцид Тянь-Шаня, складчатой зоны Памира и Богемского массива (Чехословакия) на высотах до 3400 м.

Средние содержания ртути в почвенном воздухе вне пределов месторождений, зон глубинных разломов и участков загрязнения (контаминации) изменяются в узких пределах $1,14 \cdot 10^{-8}$ — $1,30 \cdot 10^{-8}$ — $1,46 \cdot 10^{-8}$ мг/л (122 пункта измерений). Такие незначительные вариации в определении содержаний паров ртути обусловлены небольшой дисперсией концентраций ртути в гор-

* Можно предполагать, что высокие содержания ртути отвечают вторичным ореолам рассеяния рудных месторождений.

ных породах и почвах. Общее количество паров ртути в почвенном горизонте до глубины 0,5 м для всей суши составляет 0,4 т.

Таблица 10

Средние арифметические содержания паров ртути (С) в 10^{-10} мг/л и средние температуры (t°) воздуха в приземной атмосфере.
Доверительные интервалы с надежностью 0,68

Регионы	$\frac{C}{t^{\circ}}$	Дата Высота, м	Число пунктов
Азербайджан. Карабахский хребет, Ленкоранская и Кура-Араксинская низменность	7,5—11—14,5	VII. 72 г	13
	24—29—34	0—2365	
Туркмения. Туранская плита. Предкопетдагский прогиб	9,5—12—14,5	VII—VIII—72	9
	23—27—31	0—300	
Таджикистан. Тянь-Шаньская, Алайская и Памиро-Дарвазская горные системы	8,5—11—13,5	VIII—IX—72	14
	13—19—25	600—3372	
Южный и Западный Казахстан. Туранская плита, Уральская складчатая зона, Прикаспийская синеклиза	7—12—17	IX—72, IX—73	16
	8—15—22	50—300	
Южный Урал. Уральская складчатая зона	9—11—13	VII—73	6
	15,5—18—20,5	100—400	
Поволжье. Волго-Уральская антеклиза	6—8—10	IX—72, VII—IX, 73	10
	5—10—15	50—250	
Центральные области РСФСР. Воронежская антеклиза и Московская синеклиза	5,5—9—12,5	IX—72, IX—73	14
	4,5—8—11,5	50—250	
Украина. Прогиб Большого Донбасса, Восточные Карпаты	8,5—12—15,5	VI—72	6
	13—18—23	50—839	
Различные регионы СССР. Молдавия, Узбекистан, Большой Кавказ	7,5—10—12,5	VII—VIII—72, VI—74	6
	17—22—27	10—1700	
Чехословакия. Шумава, Рудные горы, Ясеник	7—10—13	VIII—IX—74	7
	15—19—23	400—750	

При расчетах было принято, что объем почвенного воздуха составляет 40%, а содержание паров ртути $1,3 \cdot 10^{-8}$ мг/л. Общее количество ртути в твердой фазе в том же объеме почвы (вся суша) составляет $782 \cdot 10^4$ т (объемная масса почвы $1,5$ т/м³, содержание ртути $7 \cdot 10^{-6}\%$, среднее из кларков).

Величина отношения массы свободных паров ртути в почве к массе ртути в твердой фазе названа нами коэффициентом ртутиотдачи. В целом для всей территории суши Земли этот коэффициент равен $5 \cdot 10^{-8}$.

Содержания ртути в приземной атмосфере для разных регионов с различным геологическим строением изменяются в небольших интервалах от $8 \cdot 10^{-10}$ до $12 \cdot 10^{-10}$ мг/л (табл. 10). По данным А. Иепсена [166], в Северной Калифорнии содержания ртути вне зон загрязнения в приземной атмосфере составляют менее $10 \cdot 10^{-10}$ мг/л.

В приземной атмосфере, в 27 км от Тихого океана (в районе Лос Алтоса, удаленного на 27—38 км от крупных ртутных рудников Калифорнии), концентрация паров ртути в летнее время колебалась от $15 \cdot 10^{-10}$ до $500 \cdot 10^{-10}$ мг/л, а в зимнее — от $10 \cdot 10^{-10}$ до $200 \cdot 10^{-10}$ мг/л [170]. По данным А. Иепсена [166], в городах Калифорнии фиксируются следующие концентрации паров ртути в приземной атмосфере: Сан-Франциско 2000×10^{-10} мг/л, Окланде $800 \cdot 10^{-10}$, Эмервиле $5000 \cdot 10^{-10}$, Беркли $15000 \cdot 10^{-10}$, Питтсбурге $4000 \cdot 10^{-10}$, Ричмонде $18000 \cdot 10^{-10}$ мг/л.

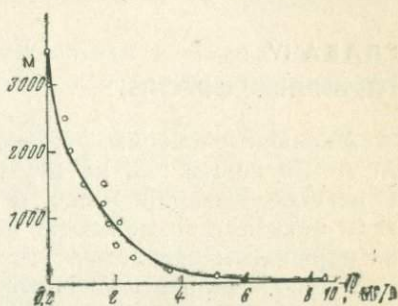
Основное количество ртути в атмосферу Земли, по-видимому, попадает за счет испарения воды (моря, океаны, озера), так как возгонка ртути с поверхности суши более затруднительна при существующих температурах, чем с поверхности океанов. Существенное количество ртути поступает в атмосферу за счет транспирации растений. Антропогенные источники пока не имеют существенного влияния на распределение содержаний ртути в атмосфере. Приближенные расчеты показывают, что время жизни (среднее время пребывания) паров ртути в атмосфере равно пяти дням. Время жизни в атмосфере сернистого газа — пять дней, водяного пара — десять дней, сероводорода — сорок дней, углекислого газа — четыре года, гелия $2 \cdot 10^6$ лет [161]. Столь короткое время жизни ртути в атмосфере обусловлено интенсивным удалением ее за счет осадков и адсорбцией на аэрозолях.

Для изучения распределения содержаний ртути в атмосфере на разных высотах выполнены специальные исследования Институтом прикладной геофизики Гидрометеослужбы и ИМГРЭ (Б. П. Абрамовский, В. А. Ионов, И. М. Назаров и В. З. Фурсов) с помощью ртутного газоанализатора ИМГРЭ-4, установленного на самолете ИЛ-14. Использование золотых сорбентов позволило выбрать такую методику исследований, которая предотвратила потерю паров ртути на коммуникациях за счет сорбции, а также «заражение» при десорбции. Исследования выполнялись летом в Каракумах вне зоны загрязнения.

Содержания паров ртути существенно уменьшаются с высотой (рис. 20), что, вероятно, обусловлено малым временем жизни паров ртути в атмосфере.

За столь короткое время жизни конвекционные потоки не успевают выравнять концентрации паров ртути в атмосфере по вертикали. Поэтому наибольшие концентрации находятся ближе к поверхности Земли, т. е. к источнику.

Рис. 20. График изменения содержания паров ртути в атмосфере с высотой



В глубинах континентов, исходя из малого времени жизни ртути, основным источником паров ртути для атмосферы являются горные породы, почвы и транспирация растений.

Помимо паров, ртуть в атмосфере содержится в частицах пыли, количество которой, по данным Л. Дж. Баттан [7], составляет $9 \cdot 10^6$ т. Общее количество ртути в частицах пыли не превышает 1 т, не считая адсорбцию ртути частицами.

ГЛАВА IV

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ

Первичные ореолы ртути изучались еще в довоенные годы А. А. Сауковым [93] на ртутных месторождениях Дагестана (Хпекское, Казардикамское и Гапцинское). Полученные результаты показали возможность поисков ртутных месторождений по их первичным ореолам ртути. О. В. Вершковской [17] в 1953—1955 гг. изучались первичные ореолы ртутно-сурьмяных месторождений Средней Азии. Результаты исследований полностью подтвердили возможность использования первичных ореолов ртути для поисков ртутно-сурьмяных месторождений. Условиям формирования первичных ореолов ртути посвящены работы В. П. Федорчука [119—121, 123]. Большие работы по изучению первичных ореолов ртутных и ртутно-сурьмяных месторождений выполнены Н. А. Озеровой [72]. Изучению первичных ореолов ртути посвящены работы Г. А. Тереховой [113, 114]. В работе С. В. Григоряна, Е. М. Янишевского и К. Аманова [33] обращено внимание на необходимость использования при оценке первичных ореолов ртути элементов-спутников ртутных месторождений. С. В. Григоряном исследованы первичные ореолы ртути и элементов-спутников ряда месторождений Средней Азии, Кавказа и Закавказья и установлены для этих месторождений ряды вертикальной зональности отложения элементов. Изучению первичных ореолов ртути посвящены работы Л. П. Быковской [12], З. Я. Церцвадзе [154], А. П. Большакова и С. В. Пивоворова [10].

Ниже приводятся основные выводы, полученные вышеперечисленными исследователями:

1. В период формирования ртутных месторождений «за счет восходящих рудных термальных растворов» наряду с рудными телами вокруг последних образовались первичные ореолы ртути. Формированию их способствовала высокая упругость паров киновари и ртути, которые «могли проникать по капиллярам горных пород дальше от рудных тел» [93].

2. Наряду с ореолами ртути вокруг ртутных залежей формируются ореолы элементов-спутников — мышьяка, сурьмы, бария, серебра, свинца, цинка, меди, олова, никеля, кобальта, молибдена, таллия, висмута, вольфрама и др. [33, 114, 154].

3. «Форма первичных ореолов зависит от структурных факторов в еще большей степени, чем форма рудных тел», и для согласных залежей определяется положением рудоподводящих

разрывных нарушений и конфигурацией рудолокализирующих складчатых структур [123].

4. Ореолы ртути распространяются в подстилающих породах на 1200 м, а в перекрывающих на 1500 м. Ореолы рассеяния ртути в 50—100 раз и более превышают мощность рудных залежей. Площадь ореолов в плане в 2—2,5 раза больше площади рудоносных зон [114].

5. Ртуть в первичных ореолах находится в форме тонкорасеянной киновари, металлической ртути и в нертутных минералах [12, 121, 154].

6. При окислении и процессах выветривания первичные ореолы могут изменяться по форме и интенсивности. При этих процессах может изменяться и форма нахождения ртути в ореолах [121].

Нертутные месторождения. Свинцово-цинковые месторождения. Исследования проведены на месторождениях Алайгыр, Карагайлы, Джайрем, Узун-Жал (Центральный Казахстан) и Ачисай (Южный Казахстан).

Алайгыр. Рудное поле гидротермального месторождения сложено в основном эффузивно-осадочными образованиями девона, представленными глинистыми сланцами, известняками, кварцевыми порфирами и альбитофирами.

На месторождении зафиксированы первичные ореолы свинца, ртути, цинка, индия, висмута, таллия, галлия, серебра, мышьяка, меди, сурьмы, кобальта, олова и бария.

Ореолы свинца и ртути с поверхности полностью оконтуривают рудную залежь и соответственно в 5—6 раз превышают площадь горизонтальной проекции рудных тел. (табл. 11). Количество ртути, заключенное в первичных ореолах и рудах, примерно равно. В рудах фиксируется 2—3 составляющие ртути, а в первичных ореолах — две составляющие (табл. 12). Исходя из температур максимальной возгонки ртути, в рудах и первичных ореолах вторая составляющая ртути, по-видимому, соответствует киновари.

Изучение ореолов ртути по керну скважин показало, что ореолы ртути имеют прерывистый характер и их распределение в пространстве во многом определяется тектонической трещиноватостью пород.

Карагайлы. В строении рудного поля скарнового месторождения Карагайлы принимают участие песчаники, сланцы и песчаные известняки средне-верхнедевонского возраста, а также граниты и гранодиориты среднегерцинского возраста и серия дайковых пород разного состава.

На месторождении установлены ореолы свинца, ртути, цинка, индия, висмута, таллия, германия, галлия, серебра, мышьяка, меди, сурьмы, кобальта, молибдена, бария и олова.

Площади ореолов свинца в 6,7 раза больше площади горизонтальной проекции рудных залежей.

Распределение содержаний ртути в рудных телах
и первичных ореолах в $10^{-6}\%$

Месторождения	C_p^*	C_{op}	C_a	C_f	$\frac{Q_{op}}{Q_p}$	$\frac{S_1}{S}$	$\frac{S_2}{S}$	$\frac{2a_1}{2p}$	$\frac{2a_2}{2p}$
Свинцово-цинковые									
Алайгыр	80	20	6	3	0,9	5	6	2,4	3,1
Карагайлы	90	25	5	2	0,8	4	6,7	1,3	1,6
Бестюбе	60	20	8	3	0,3	—	—	2,2	2,6
Джайрем Западный	50	20	10	5	0,7	—	—	2,4	2,6
Джайрем Дальнезападный	50	25	10	5	0,5	—	—	1,2	1,8
Узун-Жал	140	30	10	3	1,3	3,2	2,5	—	—
Ачсай	230	20	5	2	1,8	2,5	1,5	—	—
Полиметаллические									
Белоусовское	80	20	9	5	1,6	12	10	—	—
Иртышское	100	15	8	4	1,7	8	7	—	—
Зыряновское	82	20	9	4	1,3	6	7,5	—	—
Тишинское	135	20	8	4	0,05	1,5	5,2	—	—
Шубинское	105	25	10	5	—	8	4,2	—	—
Орловское	141	20	9	5	0,6	6	4,5	—	—
Медноколчеданные									
Кусмурун	878	20	15	5	—	—	—	—	—
50 лет Октября	114	20	8	4	—	—	—	—	—

* C_p — средняя концентрация ртути в руде, C_{op} — в ореолах; C_a — нижеаномальное содержание, C_f — фоновое; Q_p — количество ртути в руде; Q_{op} — в ореолах; S_1 — эффективная горизонтальная площадь ореолов ртути; S — горизонтальная площадь (проекция) рудных залежей; S_2 — эффективная горизонтальная площадь ореолов рудообразующего элемента; $2a_1$ — эффективная ширина ореола ртути; $2p$ — ширина (мощность) рудной залежи; $2a_2$ — эффективная ширина ореолов рудообразующего элемента.

Ореолы ртути представлены несколькими разобщенными контурами. При этом большой контур ореола ртути почти полностью обнимает Большую и Малую линзы месторождения. Ореолы ртути по скважинам наиболее интенсивно проявлены в верхней части месторождения, тяготея к рудным телам и зоне разлома. Площадь ореолов ртути в 4 раза превышает площадь проекции рудных залежей на поверхности.

В рудах максимальное число составляющих ртути равно трем, а в ореолах — двум (см. табл. 12).

Главными носителями оруденения являются баритовые и кварцевые породы, в меньшей степени скарны, роговики и ороговикованные сланцы. Основные рудные минералы-хозяева ртути — галенит, сфалерит, халькопирит и барит.

Бестюбе. В строении рудного поля участвуют кремнисто-глинисто-карбонатные породы верхнедевонского возраста, собран-

**Составляющие ртути
свинцово-цинковых месторождений**

Месторождения (место отбора проб)	Составляющие ртути		
Алайгыр			
Галенитовая руда	<u>250*</u>	<u>350</u>	—
	70	30	
То же	<u>240</u>	<u>360</u>	<u>680</u>
	60	20	20
Поверхность, ореол ртути в кварцевых порфирах в 10 м от рудного тела	<u>260</u>	<u>350</u>	—
	80	20	
Поверхность, ореол ртути в кварцевых порфирах в 20 м от рудного тела	<u>280</u>	<u>340</u>	—
	80	20	
Карагайлы			
Галенитовая руда	<u>240</u>	<u>340</u>	<u>670</u>
	50	20	30
То же	<u>230</u>	<u>360</u>	
	80	20	
Поверхность, ореол ртути в кремнистых сланцах, в 20 м от рудного тела	<u>220</u>	<u>340</u>	—
	80	20	
Узун-Жал			
Сфалерито-галенитовая руда	<u>240</u>	<u>360</u>	—
	70	30	
То же	<u>250</u>	<u>340</u>	—
	60	40	
Поверхность, ореол ртути в известняках в 20 м от рудного тела	<u>250</u>	<u>340</u>	—
	70	30	
То же	<u>250</u>	<u>350</u>	—
в 30 м от рудного тела	80	20	
Ореол ртути в песчано-сланцевых породах в 110 м вверх от рудной залежи	<u>140</u>	<u>260</u>	—
	90	10	
Ореол ртути в песчано-сланцевых породах в 70 м вверх от рудной залежи	<u>130</u>	<u>240</u>	—
	90	10	
Ачисай			
Сфалерито-галенитовая руда, 23 Северная залежь	<u>240</u>	<u>350</u>	<u>700</u>
	10	10	80
Сфалерито-галенитовая руда, 23 Северная залежь	<u>200</u>	<u>500</u>	—
	70	30	

Месторождения (место отбора проб)	Составляющие ртути		
Сфалерито-галенитовая руда, 23 Северная залежь	<u>230</u> 80	<u>380</u> 20	—
Галенитовая руда, Основная залежь	<u>300</u> 20	<u>410</u> 35	<u>650</u> 45
Ореол ртути в доломитах искристого горизонта в 170 м от рудного тела	<u>240</u> 90	<u>360</u> 10	—
То же в 140 м от рудного тела	<u>240</u> 90	<u>360</u> 10	—
Ореол ртути в доломитизированных известняках Турланского горизонта в 60 м от рудного тела	<u>140</u> 90	<u>250</u> 10	—
То же в 80 м от рудного тела	<u>130</u> 95	<u>270</u> 5	—
Ореол ртути на поверхности над Северной залежью	<u>140</u> 97	<u>270</u> 3	—
То же	<u>130</u> 95	<u>290</u> 5	—
» »	<u>140</u> 90	<u>260</u> 10	—
Ореол ртути на поверхности над Бельдургенской залежью, глубина до рудного тела 120—180 м	<u>130</u> 95	<u>270</u> 5	—
То же глубина до рудного тела 120—180 м	<u>120</u> 90	<u>280</u> 10	—

* В числителе — температура, в знаменателе — величина составляющей ртути от общего ее количества в пробе, %.

ные в узкие, глубокие, линейно вытянутые синклиналильные складки северо-восточного простирания.

Рудный горизонт представлен ритмичным переслаиванием кремнисто-карбонатно-глинистых пород с железными рудами и наложенным гидротермальным сфалерит-галенит-баритовым оруденением.

На месторождении установлены первичные ореолы свинца, цинка, ртути, меди, молибдена, серебра, мышьяка, бария, стронция, кадмия, кобальта, иттрия и олова.

Ореолы ртути имеют сложное строение, как и ореолы свинца. Наиболее высокие концентрации ртути в ореолах фиксируются на глубине 30—100 м. Линейная продуктивность ореолов ртути увеличивается к верхам месторождения, достигая макси-

мума на глубине 50 м. Развитие коры выветривания и зоны окисления приводит к уменьшению интенсивности ореолов ртути. Наибольшее количество ртути сосредоточено в рудных телах, меньшее — в ореолах. Ореолы свинца по ширине в 2,6 раза больше рудных тел, а ореолы ртути — в 2,4 раза (см. табл. 11).

Джайрем. В пределах рудного поля совмещаются пластовые тела железо-марганцевых и свинцово-цинковых руд с наложенным гидротермально-метасоматическим свинцово-цинково-баритовым оруденением. Слагающие рудное поле месторождения углисто-глинисто-карбонатно-кремнистые породы верхнего девона — нижнего карбона разделены на ряд горизонтов и пачек, среди которых выделяется продуктивная пачка, включающая руды двух типов — осадочные и гидротермально-метасоматические. На месторождении установлены первичные ореолы свинца, ртути, цинка, меди, молибдена, серебра, мышьяка, стронция, бария, кадмия и иттрия.

Ореолы свинца развиваются по всему рудному горизонту и выходят за его пределы как в подрудную, так и в надрудную толщу. Ореолы ртути развиваются в подрудной и надрудной толще месторождения. В целом для месторождения намечается уменьшение линейной продуктивности ореолов ртути с глубиной. Однако развитие зоны окисления месторождений приводит к уменьшению линейных продуктивностей ореолов ртути на верхних горизонтах.

Узун-Жал. Рудная залежь месторождения приурочена к толще мраморизованных известняков этрена. Рудное тело выходит на поверхность небольшой своей частью, большая же часть его находится в «слепом» залегании.

На месторождении установлены ореолы свинца, ртути, цинка, индия, висмута, таллия, галлия, германия, мышьяка, серебра, молибдена, олова и сурьмы. Линейные продуктивности ореолов ртути и их интенсивность в верхней части месторождения более значительны по сравнению с нижней. Установлено проникновение ореолов ртути сквозь песчано-сланцевую перекрывающую толщу мощностью 60—70 м, которая являлась экраном для ореолов свинца, цинка и других элементов.

Площадь ореолов ртути в 3,2 раза больше площади горизонтальной проекции рудной залежи, а площадь ореолов свинца в 2,5 раза больше площади рудной залежи.

При удалении вверх от рудных тел составляющие ртути в первичных ореолах изменяются в сторону образования легковозгоняемых форм нахождения ртути.

Ачисай. Месторождение приурочено к северо-восточной части Бельмазарской синклинали, сложенной известняками и доломитами нижнего карбона, которые рассечены сложной системой тектонических трещин и разломов. Рудные тела месторождений, сложенные агрегативными рудами, контролируются сложной системой крутых и межпластовых тектонических трещин. Все 65

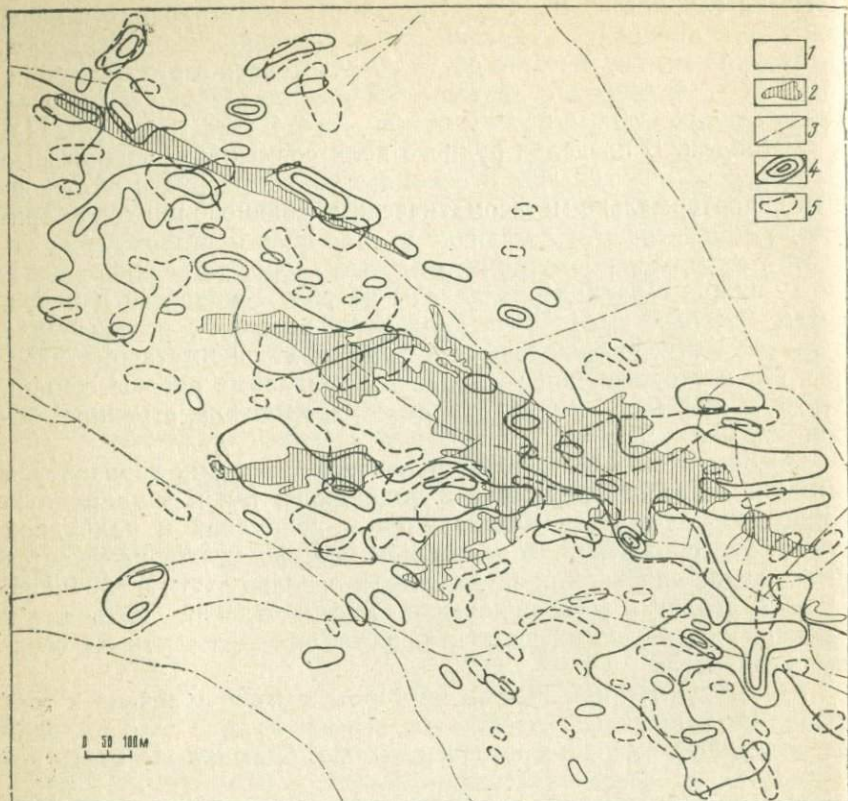


Рис. 21. Первичные ореолы ртути и свинца над слепыми свинцово-цинковыми залежами. Месторождение Ачисай (Казахстан):

1 — известняки и доломиты нижнего карбона и верхнего девона; 2 — проекции рудных тел на горизонтальную плоскость; 3 — тектонические трещины; 4 — изоконцентрации ртути в $10^{-6}\%$ (первая изоконцентрация — 5, вторая — 20, третья — 100); 5 — изоконцентрации свинца 5—10· $10^{-3}\%$

рудных залежей Ачисайского месторождения «слепые», исключая два небольших выхода, и залегают в основном на глубинах 200—400 м.

На месторождении выявлены первичные ореолы свинца, цинка, ртути, бария, серебра, индия.

Ореолы свинца имеют сложный характер распространения. Суммарная площадь их в 1,5 раза больше суммарной площади проекции рудных тел на горизонтальную плоскость.

Ореолы ртути над рудными залежами имеют также сложный характер, подчиняясь в основном тектонической макро- и микро-трещиноватости (рис. 21).

Ореолы ртути с поверхности фиксируются по простиранию рудных залежей. Максимальное содержание ртути $2000 \cdot 10^{-6}\%$.

установлено с поверхности над 18 Южной залежью. Суммарная площадь ореолов ртути в 2,5 раза больше площади проекции рудных залежей на поверхность.

Эффективная ширина ореолов ртути над рудными залежами на разных горизонтах (опробование скважин и подземных горных выработок) в 3—10 раз больше рудных тел, а ореолы свинца — только 2—5 раз.

Намечается четкая тенденция зависимости интенсивности и формы ореолов ртути от тектонической трещиноватости.

Ореолы ртути вытягиваются вверх от рудных залежей веерообразно, подчиняясь преобладающему направлению тектонических трещин и зон фильтрации, а также образуя прерывистые оболочки [129].

Наибольшие продуктивности ореолов ртути фиксируются над рудными залежами в 150—250 м от них, затем по мере удаления вверх от залежей на 300—400 м величины продуктивности понижаются в 2—3 раза. Это обусловлено уменьшением количества ртути в потоке и снижением трещиноватости в вышележащих известняках Бельмазарского горизонта.

Над Бельдургенсайской залежью с поверхности в известняках бельмазарского горизонта выявлен широкий ореол ртути при отсутствии ореолов свинца, цинка и других элементов (глубина залегания руды 120—180 м). Отсутствие ореолов свинца и других элементов объясняется, по-видимому, тем, что соединения свинца и других элементов не смогли продвинуться вверх до современной поверхности при гидротермальной деятельности в силу недостаточной тектонической трещиноватости перекрывающих известняков. Пары же ртути, обладая большей упругостью и подвижностью, достигли современной поверхности при тех же геологических условиях [128].

В ореолах, развитых в трещиноватых искристых доломитах и находящихся в 140—170 м от рудного тела, установлены две составляющие ртути с температурами максимальной возгонки 240 и 360°.

В ореолах, развитых в менее трещиноватых породах Турланского горизонта и находящихся в 60—80 м от рудного тела, фиксируются также две составляющие с температурами максимальной возгонки 130—140 и 250—270°.

Смена составляющих ртути обусловлена, по-видимому, тем, что источником формирования ореолов ртути в трещиноватых доломитах искристого горизонта в основном были растворы, а в менее трещиноватых известняках — пары ртути.

Исследования по изучению первичных ореолов ртути на свинцово-цинковых месторождениях Средней Азии (Алтын-Топкан, Кан и др.) и Нагольного Кряжа проводились Н. А. Озеровой [69, 72]. В результате этих исследований установлено, что первичные ореолы ртути в десятки раз шире рудных зон месторож-

дений. Эффективная ширина ореолов значительно больше ширины зон околорудных изменений.

Исследования А. Г. Дворникова [34], проведенные на свинцово-цинковых месторождениях Нагольного Кряжа, показали, что ширина первичных ореолов ртути в десятки раз превышает ширину рудных зон. По данным Ю. А. Лейе и А. К. Авгитова [63], на Беганьском свинцово-цинковом месторождении (Закарпатье) фиксируются ореолы ртути, ширина которых существенно увеличивается в верхней части месторождения. На свинцово-цинковом месторождении Западное Текели (Южный Казахстан) установлены относительно широкие первичные ореолы ртути [79].

Полиметаллические месторождения. Изучение первичных ореолов ртути выполнено на следующих месторождениях Рудного Алтая: Белоусовском, Иртышском, Зырянском, Тишинском, Шубинском и Орловском.

Белоусовское. На месторождении развиты вулканогенно-осадочные образования среднего и верхнего девона, представленные порфирами, туффоидами кварцевых порфиров, известковистыми, кремнисто-глинистыми серицит-хлорит-кварцевыми и слюдисто-кварцевыми сланцами.

Вокруг рудных залежей зафиксированы первичные ореолы свинца, цинка, меди, молибдена, серебра, мышьяка, бария, стронция, кадмия и иттрия.

Первичные ореолы свинца распределены узкой полосой вдоль гидротермально измененных пород, оконтуривания рудные тела. Параллельно основной полосе первичных ореолов свинца в висячем боку рудных залежей установлена серия параллельных прерывистых ореолов свинца.

Первичные ореолы ртути четко оконтуривают рудную зону и рудные залежи. В висячем боку залежи установлены ореолы ртути, которые простираются в виде параллельных прерывистых и непрерывных полос по зонам тектонической трещиноватости и отслаивания. Линейная продуктивность ореолов ртути в верхней части месторождения в 1,5—2 раза больше по сравнению с нижней частью.

Количество ртути в рудах несколько меньше по сравнению со ртутью, концентрирующейся в первичных ореолах.

Исследования ртутного ореола, находящегося в верху висячего бока месторождения, показали, что в нем фиксируется две составляющие ртути при температурах максимальной возгонки 140—160° и 250—270°.

Составляющие с низкой температурой максимальной возгонки содержат 80% от общего количества ртути. Формирование ртутного ореола вдали от рудных залежей, по-видимому, происходило за счет паров ртути, источником которых были гидротермальные растворы. Вторая составляющая ртути сингенетична породам.

Иртышское. Район месторождения сложен вулканогенно-осадочными образованиями среднего и верхнего девона, представленными преимущественно порфироидами по кварц-плагиоклазовым порфирирам с прослоями углисто-серицито-кварцевых сланцев, туфами и туфолавами андезитовых порфиритов с прослоями песчаников и известняков, а также дайками диабазовых порфиритов, микродиоритов и кварцевых альбитофиров.

На месторождении установлены первичные ореолы свинца, цинка, ртути, меди, молибдена, серебра, мышьяка, бария, стронция, висмута, кадмия и иттрия.

Первичные ореолы свинца четко оконтуривают рудное тело. В всячем боку рудной зоны фиксируются разобщенные ореолы свинца. Линейная продуктивность их достигает максимума на глубине 250 м от поверхности.

Ореолы ртути сложным образом оконтуривают рудное тело. По зонам трещиноватости и отслоения со стороны всячего бока фиксируются разобщенные ореолы ртути, протягивающиеся параллельно рудным телам. Линейная продуктивность их уменьшается с глубиной. На глубине 550 м она в 8 раз меньше, чем на глубине 50 м.

Количество ртути в ореолах в 1,7 раза больше, чем в рудах.

Зырянское. Участок месторождения сложен туфогенно-осадочными отложениями среднего девона. На месторождении установлены ореолы ртути, свинца, цинка, меди, молибдена, серебра, мышьяка, бария, стронция, висмута, кадмия, кобальта, иттрия и олова.

Линейная продуктивность ореолов ртути в верхней части рудной зоны месторождения в 8—10 раз больше по сравнению с нижней. Количество ртути в ореолах в 1,3 раза больше, чем в рудах.

Тишинское. Вертикальная жилообразная рудная залежь локализуется в гидротермально измененных кварц-хлорит-серицитовых сланцах. Залежь состоит из агрегативных и прожилково-вкрапленных руд. На месторождении зафиксированы первичные ореолы свинца, ртути, меди, цинка, молибдена, серебра, мышьяка, бария, стронция, висмута, кадмия, иттрия, кобальта, ниобия и олова.

Первичные ореолы свинца четко оконтуривают рудную зону. Ильинская свита, находящаяся в всячем боку залежи, насыщена серией параллельных разобщенных ореолов свинца.

Сложные по форме ореолы ртути оконтуривают рудную залежь месторождения. Серия разобщенных ореолов ртути развита в всячем боку (ильинская свита) залежи. Наиболее интенсивные ореолы ртути характерны для средней части рудной залежи, их линейная продуктивность сложно меняется по падению рудной зоны и достигает максимума на глубине 600 м (рис. 22).

Такой характер распределения ореолов ртути по вертикали можно объяснить следующим.

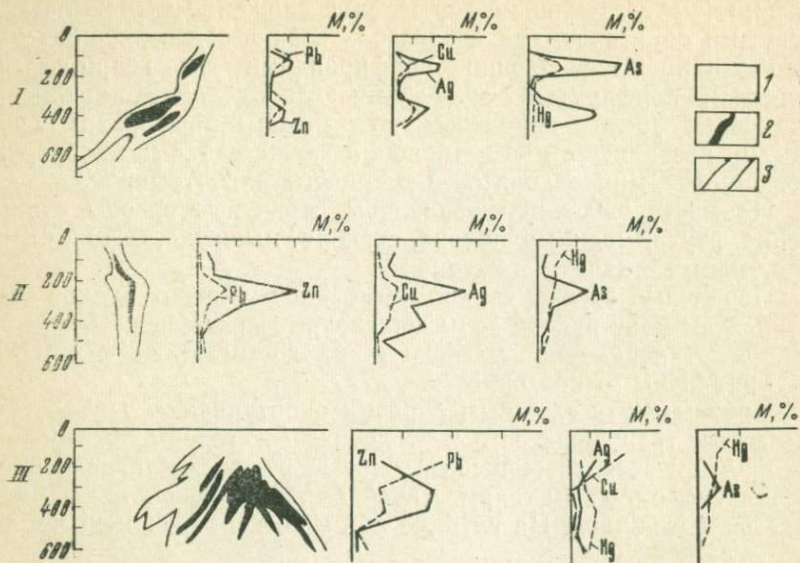


Рис. 22. Изменение линейной продуктивности элементов первичных ореолов с глубиной.
 -Полиметаллические месторождения Рудного Алтая (I — Орловское, II — Иртышское, III — Зыряновское):
 1 — эффузивно-осадочные породы; 2 — рудные тела; 3 — первичные ореолы

При вертикальной ориентировке трещиноватости в силу высокой упругости паров ртути последние могли уходить дальше вверх от мест локализации полиметаллических руд. Повышенные линейной продуктивности ореолов ртути на глубине 600 м, по-видимому, обусловлено локальным повышением трещиноватости на этом участке. Развитие первичных ореолов на глубоких горизонтах залежи говорит о том, что залежь еще далека от полного выклинивания.

Структурно-морфологический фактор оказал существенное влияние на количественное распределение ртути в рудах и ореолах. Количество ртути в ореолах в 20 раз ниже, чем в рудных телах. Ширина ореолов ртути всего в 1,5 раза больше мощности рудной зоны.

Шубинское. Рудные тела месторождения тяготеют к контакту успенской (D_2) и белоубинской свит (D_2-D_3). Первая представлена кварц-серицитовыми сланцами по кислым эффузивам, вторая — песчано-сланцевыми отложениями.

На месторождении установлены первичные ореолы свинца, цинка, меди, ртути, серебра, молибдена, мышьяка, бария, стронция, кадмия и иттрия.

Первичные ореолы свинца полностью оконтуривают рудные тела, развиваясь более интенсивно в успенской свите, находя-

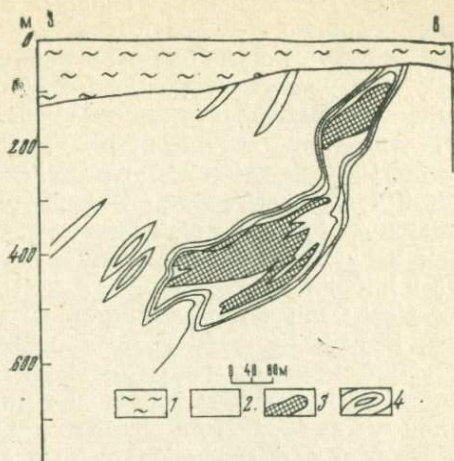


Рис. 23. Первичные ореолы меди. Орловское месторождение, профиль 0:

1 — суглинки и глины неогена; 2 — эффузивно-осадочные породы девона; 3 — агрегативные и вкрапленные руды; 4 — изоконцентрации меди в 10–3% (первая изоконцентрация — 10, вторая — 30, третья — 100)

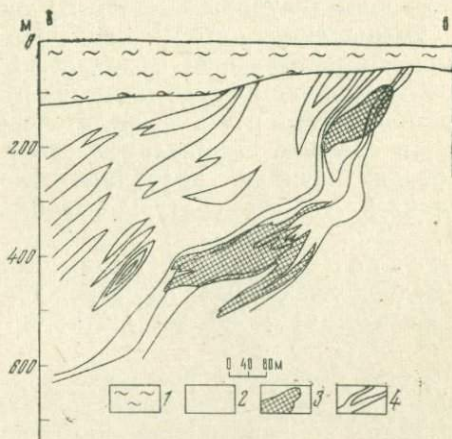


Рис. 24. Первичные ореолы ртути. Орловское месторождение, профиль 0:

1 — суглинки и глины неогена; 2 — эффузивно-осадочные породы девона; 3 — агрегативные и вкрапленные руды; 4 — изоконцентрации ртути в 10–6% (первая изоконцентрация — 10, вторая — 20, третья — 40)

щейся в лежащем боку залежи. Ореолы ртути оконтуривают рудную залежь, развиваясь во вмещающих породах всячего и лежащего боков. Наиболее интенсивно они развиваются в по-

родах лежащего бока. Это обусловлено большей проницаемостью кварц-серицитовых сланцев успенской свиты по сравнению с песчано-сланцевыми отложениями белоубинской свиты.

Орловское. Рудное поле месторождения сложено метаморфическими сланцами и метаморфизованными песчаниками (условно ордовик), лавами и лавобрекчиями кварцевых альбит-порфиоров, кремнистыми и кремнисто-глинистыми алевролитами, песчаниками и туфами (D_2-D_3). Вокруг рудных залежей установлены первичные ореолы меди, цинка, ртути, свинца, молибдена, серебра, мышьяка, бария, стронция, висмута, кадмия, иттрия, кобальта и ниобия.

Первичные ореолы меди четко оконтуривают верхнее и нижнее рудные тела. В всячем боку горных пород фиксируются отдельные разобщенные ореолы меди (рис. 23). Графики линейной продуктивности меди и свинца имеют два максимума, которые отражают положение верхнего и нижнего рудных тел.

Ореолы ртути четко оконтуривают рудные тела месторождения. В всячем боку вмещающих пород развиты прерывистые полосы ореолов ртути (рис. 24), простираясь параллельно рудной зоне. Наиболее богатые ореолы характерны для верхней части рудной зоны. Линейная продуктивность ореолов ртути в верхней части в 7 раз больше, чем в нижней. В самой верхней части рудной зоны (глубины 80—130 м) линейные продуктивности резко уменьшаются, что обусловлено развитием процессов окисления и выветривания. В ходе этих процессов вмещающие породы и руды частично обедняются ртутью.

Наибольшее количество ртути сосредоточено в рудных телах, меньшее — в ореолах. С удалением вверх от рудных тел в первичных ореолах начинают преобладать легковозгоняемые формы нахождения ртути. Температуры максимальной возгонки ртути равны 140—250°.

Медные месторождения. Первичные ореолы были изучены на медноколчеданных месторождениях Кузмурун (Центральный Казахстан) и 50 лет Октября (Западный Казахстан).

Кузмурун. Рудное поле месторождения сложено туфолавами, лавобрекчиями андезито-дацитового состава, туфопесчаниками, конгломератами и субвулканическими порфиритами андезито-дацитового состава. На месторождении установлены первичные ореолы меди, свинца, ртути, цинка, серебра, молибдена, мышьяка, бария, стронция, висмута, кадмия, иттрия и олова.

Первичный ореол меди четко оконтуривает верхнее и нижнее рудное тело расширяясь к поверхности. В зоне окисления ореол меди обедняется.

Первичные ореолы ртути фиксируются только в верхах рудной зоны. При погружении рудной зоны концентрации ртути вокруг залежей существенно уменьшаются.

50 лет Октября. Участок месторождения сложен эффузивно-осадочными образованиями среднего девона и интрузивными породами среднего и верхнего палеозоя.

На месторождении зафиксированы первичные ореолы меди, свинца, цинка, ртути, мышьяка, серебра, сурьмы и молибдена.

Ореолы меди полностью оконтуривают рудное тело месторождения (Южная зона). Отдельные разобщенные полосы ореолов меди развиваются в лежащем и всiachем боках залежи, простираясь параллельно рудному телу. Максимальные линейные продуктивности меди фиксируются на глубине 150—180 м от поверхности. Ореолы ртути полностью оконтуривают рудную залежь. В всiachем и лежащем боках залежи фиксируются разобщенные ореолы ртути, которые простираются параллельно рудной зоне. Максимальная линейная продуктивность ореолов ртути фиксируется в верхней части рудного тела (в 4 раза выше, чем в нижней части).

На медноколчеданных месторождениях Северного Кавказа, по данным Б. Т. Коновалова и В. П. Ермашкевич, вокруг рудных тел и зон фиксируются широкие и интенсивные первичные ореолы ртути. На месторождении Уруп эффективная ширина ореола ртути равна 442 м, что в 15—25 раз больше мощности рудных тел. В всiachем боку залежи проявляются наиболее интенсивные ореолы ртути, их продуктивность в 30 раз больше продуктивности ореолов в лежащем боку. Среднее содержание ртути в ореоле $182 \cdot 10^{-6} \%$. На Худесском месторождении также интенсивно проявляются ореолы ртути в всiachем боку залежи. Среднее содержание ртути в ореолах всiachего бока залежи составляет $400 \cdot 10^{-6} \%$, а в ореолах лежащего бока $150 \cdot 10^{-6} \%$.

По данным Г. Н. Засухина, вокруг рудных тел Гайского медноколчеданного месторождения развиваются широкие первичные ореолы ртути. По данным А. С. Малахова, на медном месторождении Чатыркуль (Южный Казахстан) ореолы ртути развиты только в верхней части месторождения, в отличие от ореолов меди, наиболее интенсивно развитых в нижней части (рис. 25, 26).

Золоторудные месторождения. Исследования первичных ореолов проведены на трех месторождениях.

Первое является типичным кварцево-жильным месторождением [155]. На размещение рудных жил влияли физические свойства туфогенно-осадочной толщи: кварцевые жилы интенсивно развиты в толще песчаников, менее интенсивно в туфогенных породах и фактически не встречаются в сланцах.

Геохимические исследования проведены по горным выработкам шахты. Среднее арифметическое содержание ртути в кварцевых жилах с самородным золотом $10 \cdot 10^{-6}$ — $52 \cdot 10^{-6} \%$ (6 проб). Среднее содержание ртути в золотоносных пиритах и арсенипиритах $25 \cdot 10^{-6}$ — $178 \cdot 10^{-6} \%$ (10 проб).

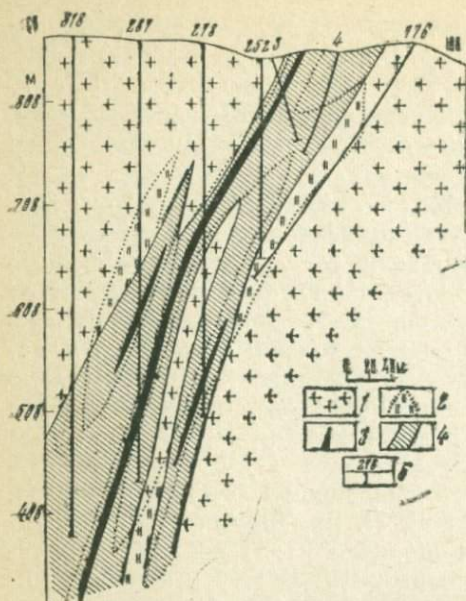


Рис. 25. Первичные ореолы меди. Месторождение Чатыркуль, профиль 41 (по А. С. Малахову):

1 — биотитовые граниты; 2 — гидротермально измененные породы; 3 — агрегативные и прожилково-вкрапленные руды; 4 — первичные ореолы меди, содержания 0,01—0,05%, 5 — скважины

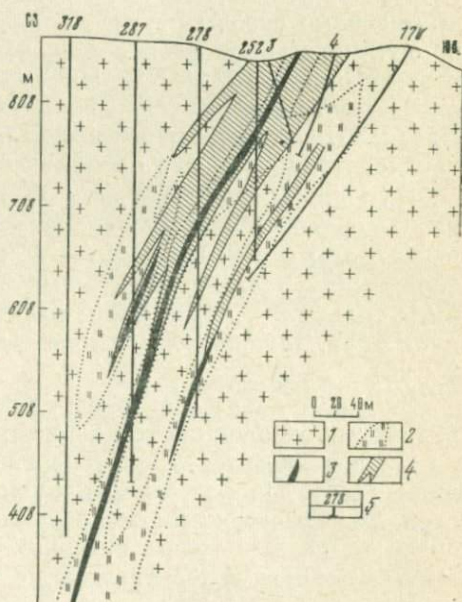


Рис. 26. Первичные ореолы ртути. Месторождение Чатыркуль, профиль 41 (по А. С. Малахову):

1 — биотитовые граниты; 2 — гидротермально измененные породы; 3 — агрегативные и прожилково-вкрапленные руды; 4 — первичные ореолы ртути с содержанием $6 \cdot 10^{-6}$ — $20 \cdot 10^{-6}\%$; 5 — скважины

На месторождении зафиксированы ореолы ртути, мышьяка, таллия, серебра, ванадия, сурьмы и меди. Наиболее интенсивно развиты ореолы мышьяка и ртути. Ореолы мышьяка широко

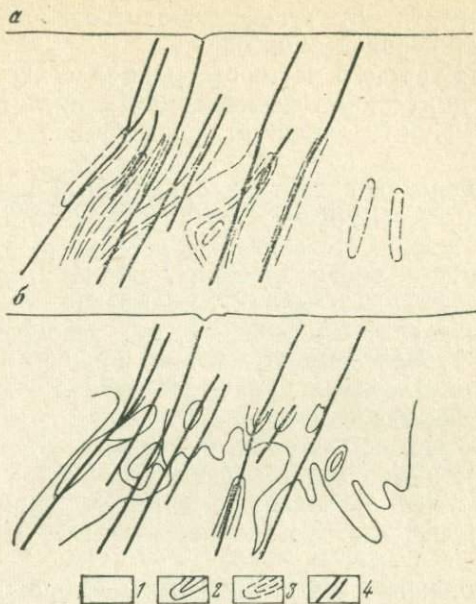


Рис. 27. Первичные ореолы ртути и мышьяка над золоторудными жилами (а — ореолы As и б — Hg):

1 — туфосланцы, туфопесчаники и кварцевые диориты; 2 — изоконцентрации ртути в $10^{-6}\%$, первая изоконцентрация — 10, вторая — 50, третья — 250; 3 — изоконцентрации мышьяка в $10^{-3}\%$, первая изоконцентрация — 5, вторая — 10, третья — 100; 4 — кварцевые жилы с золотом

развиты вокруг рудных тел, четко оконтуривая отдельные кварцевые жилы или группу жил (рис. 27). В верхних горизонтах площадь ореолов мышьяка возрастает. Ртуть образует более широкие ореолы по сравнению с мышьяком. Площадь ореолов в верхних горизонтах значительно больше, чем в нижних. Ртуть образует широкие ореолы и в слабопроницаемых туфосланцах. Мышьяк же в туфосланцах формирует отдельные разобщенные ореолы.

На втором месторождении оруднение представлено кварцевыми жилами и рудными штокверками, приуроченными к местам расположения мелких интрузий.

Средние арифметические содержания ртути в контуре золотокварцевого штокверка равны $8 \cdot 10^{-6}$ — $27 \cdot 10^{-6}\%$ (10 проб). Вокруг рудного штокверка развиты ореолы мышьяка, висмута, серебра, ванадия, свинца, ртути, вольфрама, меди, цинка, иттербия, таллия и фосфора. Ртуть образует слабые по интенсивности и малые по размерам ореолы, что, по-видимому, характерно для кварцево-золотого оруденения без сульфидов. Вероятно, в самом гидротермальном растворе были очень низкие

концентрации ртути, что существенно отразилось на ее содержаниях в руде и первичных ореолах.

Рудные тела третьего месторождения залегают в кварц-серицитовых и серицит-хлоритовых сланцах и представлены серноколчеданными, баритово-полиметаллическими и баритовыми рудами.

Среднее содержание ртути в сульфидных рудах равно $45 \cdot 10^{-6}$ — $137 \cdot 10^{-6}\%$ (10 проб).

На месторождении установлены первичные ореолы свинца, бария, меди, ртути, олова, иттербия, цинка, мышьяка, сурьмы, индия, висмута, ванадия, таллия и молибдена.

Ртуть образует относительно малые разобщенные ореолы, тяготеющие к рудной зоне. Отсутствие широких ореолов ртути, по-видимому, обусловлено наличием древней коры выветривания, во время формирования которой ореолы ртути существенно обеднялись до почти полного исчезновения. Вмещающие породы (порфириды и сланцы) в большинстве своем превращены в рыхлые глинистые образования, которые иногда образуют оползни в карьере, где проводилось изучение первичных ореолов.

С. В. Григорьяном на золоторудных месторождениях вокруг рудных залежей установлены широкие ореолы ртути, ширина которых наибольшая в верхних частях месторождений.

По данным Н. А. Китаева, А. М. Нарышева и В. В. Поликарпочкина [48], на Балейском месторождении четкие ртутные ореолы сопровождают золоторудные жилы на всем их протяжении по вертикали. Наиболее интенсивные ($n \cdot 10^{-4}\%$) и широкие ореолы ртути развиваются в верхней части месторождения. Широкие ореолы фиксируются в породах кровли, удаленной от верхней части залежи по вертикали на 300 м. В ореолах ртуть находится в форме киновари и в самородном виде.

Месторождения других элементов. Анализ распределения ртути в рудах месторождений различных элементов показывает, что можно ожидать наличие первичных ореолов ртути вокруг залежей никеля, молибдена, вольфрама, олова и флюорита.

По данным С. В. Григорьяна, вокруг рудных залежей скарново-вольфрамового месторождения фиксируются относительно широкие ореолы ртути.

По данным А. И. Бурого, над рудными телами оловянного месторождения зафиксированы первичные ореолы ртути высокой интенсивности ($400—20\,000 \cdot 10^{-6}\%$).

Л. В. Оганесяном и И. Л. Комовым отмечены первичные ореолы над хрусталеносными гидротермальными жилами [68].

Результаты последних исследований показывают, что первичные ореолы ртути фиксируются на всех типах эндогенных месторождений.

ГЛАВА V

ВТОРИЧНЫЕ ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ

Вторичные ореолы рассеяния ртути изучались нами на ртутных месторождениях — Западно-Палянское, Пламенное, Заозерное, Приозерное** (Чукотка), Северное (Якутия), Терлигхая (Тува), Хайдаркан и Улутуо (Киргизия).

Западно-Палянское. Месторождение приурочено к песчаникам, алевролитам и сланцам триаса. Контуры рудных тел устанавливаются только по данным опробования.

Месторождение находится в тундровой зоне. На элювио-делювиальных образованиях мощностью 0,3—4 м развиты тундровые глеевые и торфянисто-глеевые почвы.

Помимо ртути, четкие вторичные остаточные ореолы на месторождении образует мышьяк. Во вторичных ореолах рассеяния зафиксированы составляющие с температурами максимальной возгонки ртути, равными 300, 360—380, 400 и 630°. Первая составляющая, по-видимому, соответствует ртути, находящейся в сульфатной форме, вторая — киновари и третья — окиси ртути. Данные, полученные О. В. Вершковской путем химических исследований, подтверждают наши соображения. Четвертая составляющая ртути соответствует, по-видимому, амальгаме какого-либо элемента.

Пламенное. Вмещающими породами на месторождении являются крупновкрапленниковые липариты нижнего мела, а в отдельных случаях «вторичные» кварциты. С различной степенью интенсивности киноварь вкраплена в основную массу липарита, наиболее густая вкрапленность наблюдается в зонах дробления и трещиноватости.

На исследованных участках развиты в основном механические ореолы рассеяния ртути, мышьяка, сурьмы, молибдена и свинца. Наиболее четко рудные залежи оконтуриваются вторичными остаточными ореолами ртути, мышьяка и сурьмы. Величина смещения остаточных ореолов рассеяния вниз по склону составляет 10—20 м.

Вторичные ореолы ртути месторождения Пламенное являются наиболее богатыми из всех известных вторичных ореолов рассеяния, установленных на ртутных месторождениях СССР.

Содержание ртути в ореолах достигает 1,5—2%. Линейные

* Рудопровявление.

Параметры вторичных ореолов
рассеяния ртути
ртутных и нертутных месторождений

Месторождения, рудопоявления	C_A^*	C_Φ	$q, \text{т/м}$	$M, \text{м\%}$	k	$\frac{S_1}{S}$	$\frac{2a}{2p}$
Ртутные							
Западно-Паляинское (Чукотка)	70	50	—	—	—	30	7
Пламенное (Чукотка)	300	50	208	88—110	0,9	20	6
Заозерное (Чукотка)	300	50	10	4,5	0,7	6	5
Приозерное (Чукотка)	300	30	6—11	0,4—5	0,8	7	6
Северное (Якутия)	300	20	25	6,2	—	6	4
Терлигхайское (Тува)	200	20	14	2,9	—	6	4,5
Хайдаркан (Киргизия)	300	20	3,5	0,6—1,2	—	5	3
Сымап (Киргизия)**	40	3	14	—	0,9	—	—
Шамиши (Киргизия)**	40	2,6	—	—	0,2	—	—
Сарыбаль (Киргизия)**	300	15	—	—	1,0	—	—
Кончоч (Таджикистан)**	50	5	19,0	—	0,7	—	5
Кавнок (Таджикистан)**	40	4	1,4	—	0,06	—	—
Имаган (Таджикистан)**	—	—	4,2	—	0,7	—	—
Рудопоявления Приамурья**	—	—	—	—	0,1—0,15	—	—
Белоосиповское (Кузнецкий Алатану)**	—	—	—	—	0,08	—	—
Улутуо (Киргизия) наложенные ореолы	6	2	—	—	—	—	15
Нертутные							
Кусмурун	4	2	0,01	—	—	10	4,5
Шубинское	9	4	0,006	—	—	8	4
Иртышское, наложенные ореолы	15	5	—	—	—	—	8
Белоусовское, наложенные ореолы	4	2	—	—	—	—	8
Орловское, наложенные ореолы	6	3	—	—	—	—	7
50 лет Октября	—	—	—	—	—	—	—
вторичные остаточные	4	4	—	—	—	—	10
наложенные	4	2	—	—	—	—	10

* C_A — нижеаномальное содержание в 10-⁻⁶%, C_Φ — фоновое в 10-⁻⁶%, q — количество ртути в тоннах и однометровом слое ореола, M — линейная продуктивность в м%, k — коэффициент пропорциональности между количеством металла в ореоле и рудном теле, S_1 — эффективная площадь вторичного ореола, S — площадь рудного тела, $2a$ — эффективная ширина ореола, $2p$ — мощность рудного тела.

** Данные по Киргизии заимствованы из работ Э. А. Суеркулова, по Таджикистану — К. И. Литвиненко, по Приамурью — Ю. Б. Сазонова, по Кузнецкому Алатану — Ю. С. Парилова.

продуктивности ореолов на месторождении изменяются от 88 до 110 м%, площадная продуктивность в пределах единого ореола равна 6924 м² %, количество ртути для слоя 1 м составляет 208 т, коэффициент остаточной продуктивности $k=0,9$ (табл. 13). Средние значения коэффициентов рассеяния приведены в табл. 14. Расчеты параметров проводились в соответствии с формулами, предложенными А. П. Солововым [107].

Значения коэффициентов рассеяния ртути * σ
в твердой и газовой фазе
с доверительными интервалами надежностью 0,68

Месторождения, рудопроявления	Число наблюдений	σ_1 , м	σ_2 , м	$\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$
		для остаточного литохимического ореола рассеяния	для газового ореола рассеяния	
Пламенное	4	13±2	25±5	1,9
Заозерное	3	11±2	26±6	2,4
Приозерное	5	10±2	20±6	2,0
Северное	3	14±4	27±7	1,9
Терлигхайское	3	10±3	8±2	0,8
Хайдаркан	3	8±2	6±1,5	0,8

* Коэффициенты рассеяния определялись по интерпретационным профилям (шаг 10 м) по способу трех уровней, предложенному А. П. Солововым, и палеткам Р. И. Дубова [38].

Коэффициент k для рудопроявлений Заозерное и Приозерное равен соответственно 0,7 и 0,8 (см. табл. 13).

Исследование содержания ртути в различных фракциях (1—4 мм, 0,5—1 мм, 0,25—0,5 мм, 0,09—0,25 мм и менее 0,09 мм) показало, что над рудными залежами четко фиксируются ореолы во всех фракциях.

Во вторичных ореолах рассеяния, по данным дифференциальной термовозгонки, ртуть, по-видимому, находится в сульфидной, окисной и амальгамной форме.

Северное. Изометричное рудное тело с максимальными размерами в плане 40×80 м залегает в известняках верхнего ордовика и приурочено к оперяющим трещинам Себикчанского разлома.

На месторождении развиты в основном механические ореолы рассеяния. Мощность элювио-делювиального слоя колеблется от 0,3 до 0,7 м. Максимальное содержание ртути во вторичном ореоле составляет 0,2%, количество ртути в метровом слое равно 25 т, а коэффициент рассеяния 14 м (см. табл. 13, 14).

Терлигхайское. Рудовмещающими породами на месторождении являются интрузивные порфириды, рудные тела приурочены к зонам дробления.

Ландшафт гористый, почвы маломощные (20—40 см), развиты горизонты А и С. Горизонт А имеет мощность до 5—8 см. В основном развиты механические ореолы рассеяния. Мощность элювио-делювия 0—0,6 м. Над рудными телами зафиксированы остаточные ореолы рассеяния ртути, мышьяка и молибдена. Наиболее четкие и широкие ореолы образует ртуть.

Максимальные концентрации ртути наблюдаются в ореоле 0,3—0,4%. Наибольшая линейная продуктивность вторичного ореола рассеяния равна 2,8 м%, количество ртути в слое 1 м составляет 14 т (см. табл. 13, 14).

Исследование концентраций ртути в различных фракциях (0,5—1, 0,25—0,51, 0,09—0,25 и менее 0,09 мм) показало, что практически все они являются представительными для поисков по вторичным ореолам рассеяния.

Хайдаркан. Ведущим типом оруденения на месторождении является пластовый, приуроченный к джаспероидам. Подчиненное значение имеют трещинные рудные тела. Джаспероиды развиты по тонкоплитчатым известнякам нижнего карбона и являются продуктом гидротермальной деятельности [121].

Месторождение находится в горном расчлененном рельефе с неразвитым почвенным профилем и в пределах его проявляются в основном механические ореолы рассеяния. Мощность элювио-делювия 0—0,5 м.

Изучение вторичных литохимических и газовых ореолов рассеяния производилось на участке месторождения Северная Плавиновая Гора (6 профилей) и Южная Ишма (3 профиля). Четкие вторичные литохимические ореолы на изученных участках образуют ртуть и сурьму. Ореолы ртути оконтуривают выходы оруденелых джаспероидов. Линейная продуктивность вторичных ореолов изменяется от 0,6 до 1,2 м%, количество ртути в слое 1 м вторичного ореола равно 3,5 т.

Основная часть оруденения для рассматриваемого участка находится в «слепом» залегании. Исследование распределения ртути в различных фракциях элювио-делювия показало, что практические результаты для изученных фракций различаются незначительно.

По данным разделения валовых концентраций во вторичных ореолах рассеяния ртуть находится в сульфидной, а также в сульфатной, окисной и самородной форме.

Исследования вторичных ореолов рассеяния на ртутных месторождениях проводились А. П. Большаковым, Л. И. Птушко [9], К. И. Литвиненко, Ю. С. Париловым [78], Ю. Б. Сазоновым, Э. А. Суеркуловым, П. В. Храмышкиным [151] и З. Я. Церцвадзе [154]. По данным З. Я. Церцвадзе [154], на ртутных рудопроявлениях Горной Абхазии коэффициент остаточной продуктивности k изменяется от 0,04 до 0,20, площадная продуктивность от 1,6 до 10 м²%, количество ртути в остаточном ореоле рассеяния для слоя 1 м — от 0,04 до 0,26 т/м, среднее значение коэффициента рассеяния $\sigma=33$ м.

По нашим данным, коэффициент пропорциональности k в разных регионах СССР изменяется от 0,9 до 0,04, что указывает на интенсивную миграцию ртути в газовой фазе и водных растворах за пределы рудной зоны.

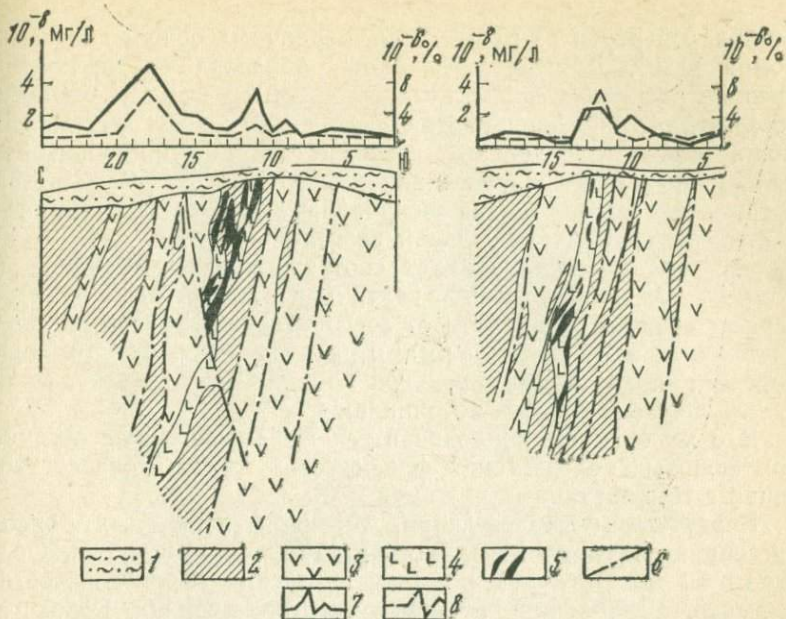


Рис. 28. Графики концентрации паров ртути в газовой и твердой фазе по разрезам III и XII месторождения Улутоо:

1 — аллохтонные суглинки; 2 — сланцы; 3 — основные эффузивы; 4 — листвениты; 5 — рудные тела; 6 — тектонические трещины; 7 — содержания паров ртути в почвенном воздухе; 8 — содержания ртути в суглинках с поверхности

Улутоо. На этом месторождении были проведены исследования ореолов рассеяния ртути над погребенными залежами месторождения. Оруденение приурочено к зоне субширотных разломов. Рудные тела в форме линз, столбов и гнезд локализируются в лиственитах. Размеры отдельных рудных тел по падению и простиранию измеряются единицами и первыми десятками метров. Распределение ртутного оруденения в рудной зоне крайне неравномерно. Значительная часть месторождения перекрыта аллохтонными лессовидными суглинками мощностью 10—25 м. Древняя кора выветривания здесь отсутствует. С поверхности над рудной зоной месторождения установлены наложенные* ореолы рассеяния ртути при полном отсутствии ореолов мышьяка, сурьмы и других элементов-спутников ртутного оруденения.

Концентрация в наложенных ореолах ртути равна $20 \cdot 10^{-6}$ при фоне $3 \cdot 10^{-6} \%$ (рис. 28). По некоторым профилям (меньшее число) наложенные ореолы ртути не фиксировались. Аномальные концентрации ртути в аллохтонных суглинках, отвечающие наложенным ореолам, могли образоваться за счет подтока га-

* Термин предложен Н. И. Сафроновым.

зобразной ртути из рудных тел, первичных ореолов и зон разломов [130]. Другим источником образования наложенных ореолов рассеяния в аллохтонных суглинках могли быть грунтовые воды, обогащенные за счет рудной зоны ртутью. Возможно совместное действие обоих источников при образовании наложенных ореолов рассеяния ртути. Над рудной залежью в ореоле с поверхности зафиксированы две составляющие ртути с температурой максимальной возгонки 200—220° и 270—290°. Первая составляющая может соответствовать хлоридной (каломель) и адсорбированной ртути (физическая адсорбция), которая содержит 85% ртути от всего количества. Вторая составляющая, по аналогии с формами распределения ртути в горных породах, является сингенетичной породам и, возможно, не имеет отношения к рудным источникам ртути.

В 3 км от месторождения в тех же аллохтонных суглинках при фоновых содержаниях фиксируется только одна составляющая с температурами возгонки 270°.

Нертутные месторождения. Изучение вторичных ореолов рассеяния ртути производилось на медных (Кусмурун, Орловское и 50 лет Октября), полиметаллических (Белоусовское, Иртышское, Шубинское) и других месторождениях Казахстана.

Кусмурун. Рудное тело медноколчеданного месторождения с поверхности представлено железной шляпой. Четвертичные отложения представлены суглинисто-щебенистым элювиоделювием мощностью 0,5—1,5 м. В пределах площади исследования развита древняя кора выветривания мощностью от 0 до 5 м. На месторождении развиты каштановые почвы на элювиоделювиальных образованиях или древней коре выветривания. Исследования генетических горизонтов почв показали, что наибольшие концентрации ртути в ореолах и вне их приурочены к гумусовому горизонту А (в 1,5 раза больше, чем в горизонтах В и С). Это объясняется большей сорбционной способностью этого горизонта к ртути, а также возможным биологическим ее накоплением. В пределах месторождения во вторичных ореолах зафиксированы медь, свинец, ртуть, мышьяк, цинк, молибден, серебро, барий и висмут.

Ореол меди оконтуривает выход рудного тела и гидротермально измененные породы. Большинство ореолов рассеяния ртути по интенсивности и размерам развито в юго-западной части месторождения со стороны всячего бока рудных залежей, где прослеживаются интенсивные первичные ореолы ртути. Наибольший ореол ртути оконтуривает рудную залежь и часть гидротермально-измененных пород. Разобщенность ореолов ртути и меди обусловлена спорадическим развитием с поверхности аллохтонных суглинков. Ореолы ртути в 4,5 раза шире рудной залежи и в 10 раз больше ее площади. В пробе, взятой в точке с максимальным содержанием ртути (60·10⁻⁶%), зафиксированы две ее составляющие с температурами макси-

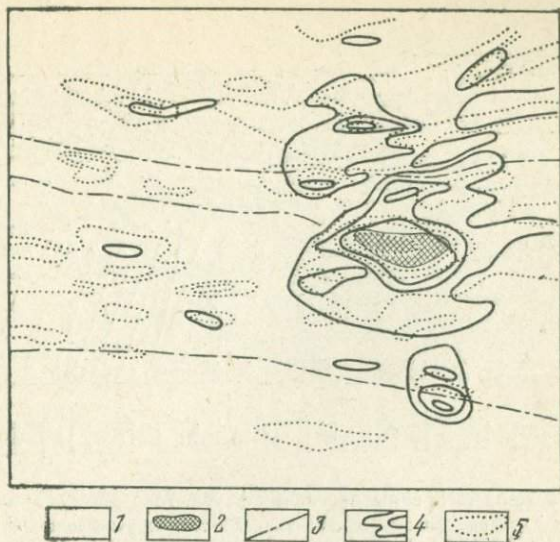


Рис. 29. Вторичные ореолы рассеяния ртути и свинца. Месторождение Бестюбе (по А. Г. Никитину):

1 — терригенно-карбонатные породы; 2 — свинцово-баритовое рудное тело; 3 — тектонические нарушения; 4 — изоконцентрации ртути в 10⁻⁶% (первая изоконцентрация — 10, вторая — 30, третья — 100); 5 — изоконцентрации свинца в 10⁻³% (первая изоконцентрация — 20, вторая — 60, третья — 200)

мальной возгонки 310° и 370°. Вторая составляющая, по-видимому, соответствует ртути, находящейся в форме сульфида.

Шубинское. Полиметаллическое месторождение с поверхности частично перекрыто аллохтонными отложениями мощностью 0,5—10 м. На месторождении установлены вторичные ореолы рассеяния свинца, меди, ртути, серебра, цинка, висмута, молибдена и мышьяка. Наибольшие площади ореолов ртути развиты со стороны лежачего бока рудных залежей, что обусловлено более интенсивным проявлением первичных ореолов ртути в лежачем боку залежи. В метровом слое вторичных ореолов рассеяния содержится только 0,006 т ртути. Вторичные ореолы рассеяния свинца, ртути и других элементов не полностью оконтуривают рудное тело из-за влияния аллохтонных отложений.

Во вторичном ореоле ртути по двум пробам зафиксированы составляющие ртути с температурами максимальной возгонки 260°, 360° и 600°.

Бестюбе. Основная часть площади полиметаллического месторождения перекрыта рыхлыми мезокайнозойскими отложениями (гравелиты, глины, пески и суглинки). Рудная залежь,

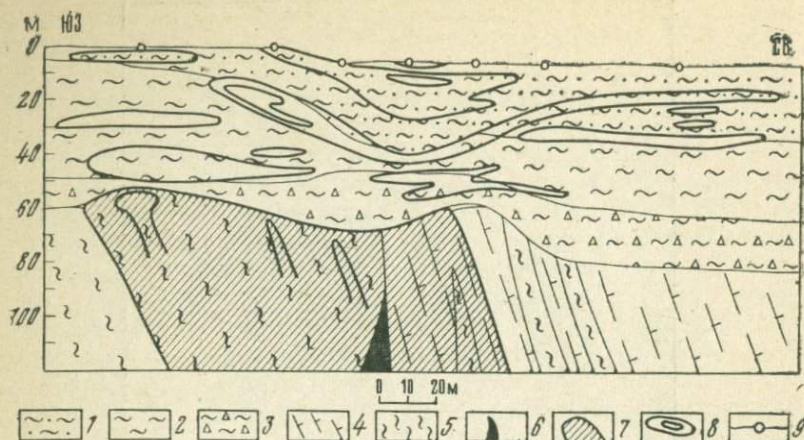


Рис. 30. Наложенные ореолы рассеяния ртути. Месторождение Иртышское: 1 — суглинки; 2 — глины, пески и суглинки; 3 — глинисто-щебенистый древний пролювий; 4 — расланцованные порфиры и микродиориты; 5 — серицито-кварцевые сланцы; 6 — агрегативные руды; 7 — первичные ореолы ртути; 8 — наложенные ореолы рассеяния ртути (внешняя изоконцентра 15·10⁻⁶%, внутренняя 30—10⁻⁶%); 9 — скважины

исключая небольшой выход на поверхность, перекрыта аллохтонными отложениями мощностью 10—15 м. С поверхности установлены ореолы рассеяния свинца, ртути, меди, цинка молибдена, серебра, мышьяка, бария, стронция и германия. Наиболее интенсивны и широки ореолы ртути и свинца (рис. 29). Отсутствие четких ореолов вдоль рудной зоны объясняется наличием аллохтонных отложений. Наибольшие концентрации ртути установлены в гумусовом горизонте (горизонт А) светлокаштановых почв.

И р т ы ш с к о е. Полиметаллическая залежь месторождения, исключая небольшой выход, находится в слепом залегании. Она перекрыта неоген-четвертичными глинами и суглинками мощностью 30—60 м и древнепролювиальными отложениями. С поверхности установлены наложенные ореолы рассеяния ртути над погребенной залежью по трем профилям из шести. Для изучения морфологии наложенных ореолов рассеяния ртути и других элементов была пробурена колонковая скважина глубиной 40—80 м. Над рудной зоной зафиксированы первичные ореолы ртути, которые трансформируются в наложенные ореолы, развивающиеся в аллохтонных отложениях. Наложенные ореолы более интенсивно развиты в северо-восточной части разреза, что объясняется более широким развитием здесь первичных ореолов. Наложенные ореолы ртути с разрывом приближаются к поверхности (рис. 30). Разобшение ореолов обусловлено различной сорбционной способностью аллохтонных отложений. Доказательством этого служит узкий ореол ртути, который

четко следует по горизонту илистых суглинков, являющихся хорошим сорбентом ртути.

Белоусовское. Изучение наложенных ореолов рассеяния производилось над пятой Глубочанской залежью. Залежь находится частично в слепом залегании и перекрыта неоген-четвертичными глинами мощностью 40—50 м. В основании рыхлых отложений залегают древние пролювиальные отложения мощностью от 5 до 20 м. С поверхности наложенные ореолы рассеяния ни ртути, ни других элементов не обнаружены. Для изучения морфологии наложенных ореолов Белоусовской геологоразведочной партией было пробурено три профиля колонковых скважин глубиной 50—60 м.

В древних пролювиальных отложениях и глинах зафиксированы наложенные ореолы свинца и ртути. Зафиксированы также узколокальные ореолы рассеяния меди, серебра, мышьяка и молибдена.

Над скрыто-погребенной частью месторождения установлены только наложенные ореолы ртути небольших размеров.

Орловское. Рудные тела месторождения, исключая небольшой выход (50×25 м), находятся в слепом залегании и перекрыты аллохтонными суглинками и глинами неоген-четвертичного возраста мощностью 30—50 м. Ниже их залегают глинисто-щебенистые пролювиальные отложения мощностью 3—15 м. Над погребенной рудной залежью с поверхности зафиксированы локальные наложенные ореолы рассеяния ртути по двум профилям из восьми [134]. Нложенные ореолы других элементов с поверхности не установлены.

Для изучения морфологии наложенных ореолов Орловской ГРП были пройдены колонковые скважины глубиной от 50 до 80 м. Результаты изучения ореолов по скважинам подтвердили наличие наложенных ореолов рассеяния ртути, развивающихся в нижних и верхних горизонтах аллохтонных отложений над погребенной и скрыто-погребенной частью рудного тела. Нложенные ореолы меди, серебра, мышьяка, цинка и молибдена формируются только в нижнем горизонте древнепролювиальных отложений.

5 0 л е т . О к т я б р я . Аллохтонные отложения в районе месторождения мощностью 5—15 м представлены суглинками и практически полностью экранируют вторичные ореолы рассеяния свинца, меди, цинка, молибдена и других элементов.

Рудные тела месторождения большей частью находятся в слепом залегании. Контур наложенного ореола ртути, зафиксированный с поверхности, полностью окаймляет рудную зону месторождения. Размеры этого ореола составляют 4,5—5×0,5—2,5 км.

Нложенные ореолы рассеяния ртути, развитые на глубине 3—5 м, практически повторяют контуры ореолов, зафиксированных с поверхности. Максимальные концентрации ртути в

наложенных ореолах с поверхности достигают $12 \cdot 10^{-6}\%$ при фоне $2 \cdot 10^{-6}\%$.

Вторичные остаточные ореолы рассеяния ртути, развитые в коре выветривания, имеют большие размеры, чем ореолы меди, свинца, цинка и других элементов.

Вторичные ореолы рассеяния ртути установлены на свинцово-цинковых месторождениях Алайгыр, Карагайлы, Узун-Жал и медно-колчеданном месторождении Тесиктас (Центральный Казахстан).

ГЛАВА VI

ГАЗОВЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ

Исследования газовых ореолов (радон, торон) на урановых месторождениях выполнялись Б. С. Айдаркиным, В. И. Барановым, Ю. П. Булашевичем, А. Г. Граммаковым и др. [88]. Опытные работы по изучению газов на рудных месторождениях выполнялись В. С. Глебовской, С. С. Глебовским- [27] и Н. Н. Куликовой [57] и в настоящее время проводятся А. И. Фридманом [51, 126] и М. М. Элинсон [160].

Большие работы по разработке методики гелиевой съемки для поисков рудных месторождений проводятся А. Н. Еремеевым, А. Д. Ершовым и И. Н. Яницким [40]. Исследования газов в рудах месторождений Урала выполнены Л. Н. Овчинниковым, А. С. Шур и др. [59].

Не отрицая необходимости изучения ореолов углеводородов, сернистого газа, редких газов и углекислого газа, а также применения их в практике поисков рудных месторождений, считаем, что главной задачей в становлении и развитии газовых методов является изучение паров таких элементов, которые служат основными компонентами или ближайшими элементами — спутниками оруденения.

Как известно, при существующей чувствительности массовых методов спектрального анализа в рудах месторождений и их первичных и вторичных ореолах рассеяния фиксируется до 20—30 рудообразующих элементов и элементов-спутников. Согласно теоретическим и практическим данным химической термодинамики, над рудными зонами и рудными телами должна существовать целая гамма элементов в форме паров, которая в общем случае должна соответствовать элементному составу руд и ореолов. Возможно существование паров соединений элементов в форме галогенидов и др. [137].

Первые работы по измерению паров ртути на ртутном месторождении были выполнены Е. А. Сергеевым в 1955 г. в долиненной части рудника Хайдаркан [101]. Определение содержания паров ртути проводилось известным колориметрическим методом.

Сложная и громоздкая методика полевых наблюдений не позволила получить ясных геологических результатов. Однако эти работы впервые доказали наличие измеримых количеств паров ртути в почвенном воздухе над киноварью.

Благодаря созданию ртутных атомно-абсорбционных газоанализаторов нами уже в 1964 г. были проведены опытные

исследования паров ртути на месторождении Хайдаркан. В течение 1964—1974 гг. аппаратура для измерений ртутных паров и методика работы с ней непрерывно совершенствовались.

Большие работы по изучению газовых ореолов на ртутных месторождениях с применением методики химического колориметрического анализа проведены М. А. Карасиком, А. П. Большаковым, Л. И. Герасимовой, А. З. Анищенко [44, 45, 90] и А. М. Эдельманом [159].

Исследование газовых ореолов ртути с помощью химического колориметрического анализа проведены И. А. Хайретдиновым [148] на некоторых месторождениях ртути и золота в Туве и Восточных Саянах.

Однако практика работ показала, что колориметрические методы анализа не пригодны для газортутных исследований по причине низкой чувствительности. Поэтому к 1972 г. газортутные исследования на рудных месторождениях с применением колориметрических методов анализа были прекращены.

Основные предпосылки. Над ртутными залежами и ртутноносными зонами за счет возгонки, происходящей при любых температурах земной поверхности, образуются газовые ореолы рассеяния ртути. Гипергенез усиливает процессы перехода ртути из твердого состояния в парообразное, что приводит к формированию более интенсивных газовых ореолов рассеяния.

Газовые ореолы ртути образуются и над рудными залежами нетрутных месторождений, так как в рудных телах и ореолах эндогенных месторождений содержание ртути в 5—1000 раз больше, чем в горных породах [137—139, 141]. Количество ртути, переходящей из твердой фазы в газовую, зависит от температуры, формы нахождения ртути и концентрации ее в твердой фазе, а также от площади рудной и ореольной поверхности и условий открытости или закрытости поверхности по отношению к атмосфере.

Как известно, чем выше температура, тем большее количество вещества будет переходить из твердого в газовое состояние. При этом количество возгоняемой ртути зависит от формы ее нахождения в руде и ореоле.

Чем выше концентрация ртути в твердой фазе и больше площадь рудной и ореольной поверхности, тем большее относительное количество ее перейдет в газовую фазу.

Ореольная и рудная поверхности особенно возрастают при образовании вторичных остаточных ореолов рассеяния. Чем меньше по размерам частицы в остаточном ореоле, тем большее количество ртути переходит в газовую фазу.

Если рудные и ореольные частицы находятся на поверхности, то возгонка ртути из них идет более интенсивно, чем из частиц, находящихся внутри вторичного ореола рассеяния. Это обусловлено тем, что над поверхностной частицей не образуются насыщенные пары ртути, которые препятствуют дальнейшей воз-

гонке ее. Пары ртути из поверхностных частиц удаляются ветром в атмосферу.

Для частиц, находящихся внутри ореола, удаление паров ртути затруднено и образуется практически закрытая термодинамическая система, что препятствует интенсивной возгонке ртути. Интенсивная возгонка киновари в атмосферу происходит только с поверхностных частиц руд и ореолов, имеющих небольшой объем, что и объясняет относительно малые концентрации ртути в атмосфере над ртутными месторождениями [135].

В практически замкнутом объеме вторичного ореола рассеяния при постоянной температуре устанавливается динамическое равновесие между конденсированной и газовой фазами сульфида ртути.

Как известно, сернистая ртуть диссоциирует на ртуть и серу. При повышении температуры динамическое равновесие нарушается, и концентрация газообразной сернистой ртути и продуктов ее диссоциации увеличивается. При уменьшении температуры часть ртути вновь соединяется с серой, и газообразная сернистая ртуть переходит в твердую фазу. Оставшаяся часть паров ртути может переходить в несulfидные формы, включая и самородную ртуть.

Таким образом, циклические (суточные, месячные, годовые, вековые) изменения температуры верхних частей рудных месторождений обуславливают синхронные процессы возгонки — конденсации паров ртути и ее соединений. При этом в течение длительного геологического времени происходит необратимый медленный процесс преобразования ртути из одних форм нахождения в другие. Тенденция этого процесса состоит в образовании таких форм ртути, из которых она испаряется более интенсивно при меньших температурах, что подтверждено специальными экспериментами.

Помимо этого существуют различные физико-химические процессы в зоне гипергенеза, которые также приводят к преобразованию первоначальных форм нахождения ртути. Эти процессы в основном направлены, по-видимому, в сторону образования легковозгоняемых форм нахождения ртути. Такая тенденция соответствует положению А. А. Саукова [93, 95] о том, что ртуть в силу высокого потенциала ионизации стремится перейти из любых соединений в самородную ртуть.

Отсюда, газовый ореол на ртутных и других рудных месторождениях формируется за счет разных форм нахождения ртути (киноварь, сорбируемая и металлическая ртуть и др.).

Возгонка ртути происходит и из горных пород, не несущих рудной минерализации и ореолов. В этом случае в почвенном воздухе образуются пары ртути, которые находятся в динамическом равновесии с конденсированной фазой ртути горных пород.

На основании измерений содержаний ртути в твердой и газовой фазе в различных регионах европейской части СССР и Средней Азии нами установлено, что коэффициент ртутьотдачи для различных горных пород разного возраста изменяется от $3,9 \cdot 10^{-8}$ до $7 \cdot 10^{-8}$. В целом для всей земной поверхности этот коэффициент равен $5 \cdot 10^{-8}$. Для вторичных ореолов рассеяния ртутных месторождений он изменяется от $40 \cdot 10^{-8}$ до $7000 \cdot 10^{-8}$, а для полиметаллических равен $10 \cdot 10^{-8}$ — $50 \cdot 10^{-8}$. Из этих данных видно, что коэффициент ртутьотдачи значительно выше у рудных и ореольных зон, чем у горных пород.

Все это свидетельствует о том, что над ртутьносными зонами и телами в элювио-делювиальных отложениях формируются газовые ореолы ртути, которые пространственно совпадают с вторичными остаточными и первичными ореолами. В ореолах между ртутью в газовой и конденсированной фазе, несмотря на фильтрацию и диффузию паров ртути в атмосферу, устанавливается динамическое равновесие.

Над погребенными и скрыто-погребенными месторождениями за счет фильтрации и диффузии паров ртути от рудных тел, первичных и вторичных ореолов рассеяния к поверхности также в почвенном воздухе формируются газовые ореолы рассеяния ртути.

Пары ртути, образующиеся за счет рудных тел и ореолов, идут на формирование сорбированных, окклюдированных и свободных газовых ореолов рассеяния.

Под сорбированными (наложенными) нами понимаются такие ореолы, которые формируются за счет абсорбции, адсорбции и хемосорбции ртути рыхлыми отложениями из газов или растворов. В остаточных ореолах рассеяния сорбированная ртуть имеет резко подчиненное значение и пока при геохимических поисках отдельно не изучается.

В наложенных литохимических ореолах, формирующихся в аллохтонных отложениях за счет погребенных рудных тел, сорбированная ртуть имеет главное значение, и изучение ее при геохимических поисках погребенных ртутных месторождений обязательно. Окклюдированные ореолы образуются за счет поглощения паров ртути микропорами горных пород. При этом окклюдированные пары ртути можно извлечь из микропор путем понижения давления до $0,5$ — $0,05$ кгс/см². Свободные газовые ореолы формируются за счет паров ртути, идущих от рудных зон и накапливающихся в почвенном воздухе, который занимает макропоры и поры рыхлых отложений и имеет обмен с атмосферным воздухом. При этом свободные пары ртути легко изымаются из почвы путем разрежения до $0,9$ — $0,5$ кгс/см².

Более интенсивная возгонка ртути с поверхностных частиц вторичного ореола рассеяния, по сравнению с внутренними частицами ореола, объясняет относительно малые концентрации ртути в атмосфере над ртутными месторождениями. Тем не ме-

нее наличие в атмосфере паров ртути указывает на возможность поисков рудных месторождений и рудоносных зон, образующих открытые механические ореолы, путем исследования ртути в воздухе. Теоретическое распределение концентраций паров ртути в атмосфере по профилю наблюдений над рудным месторождением (диффузия от непрерывного точечного источника) для фиксированной высоты можно выразить формулой

$$C = b \frac{l^{-\frac{a}{x}}}{x}, \quad (14)$$

где C — концентрация паров ртути от рудных тел месторождения в точке наблюдения; x — координата по профилю наблюдений; a — параметр, равный отношению скорости ветра и коэффициенту турбулентной диффузии паров ртути в атмосфере; b — параметр, равный отношению количества ртути, поступающей в атмосферу от месторождений за единицу времени, к коэффициенту диффузии.

Выражение (14) получено нами путем упрощения формулы, применяемой в метеорологии для определения концентрации загрязнений в атмосфере от наземных источников [149]. Атомно-абсорбционными фотометрами с золотыми сорбентами — накопителями измеряется в движении линейная продуктивность газового ореола рудных тел и рудоносных зон, которая выражается формулой

$$M_x = b \int_{x_1}^{x_2} \frac{l^{-\frac{a}{x}}}{x} dx. \quad (15)$$

Вычисление интеграла в выражении (15) производится путем разложения подынтегральной функции в ряд. Пределы интегрирования x_2 и x_1 — координаты отрезка, на котором происходит накопление паров ртути в системе сорбентов. Длина отрезка накопления выбирается с учетом параметров рудных тел и зон, а также ореолов рассеяния, флуктуации фона в атмосфере, скорости движения и ветра [135]. Нами рассчитаны линейные продуктивности ореолов в атмосфере рудных полей ртутных месторождений путем уменьшения измеренных линейных продуктивностей паров ртути в почвенном воздухе на три порядка* (данные по месторождению Пламенное). Линейная фоновая продуктивность подсчитана для отрезка накопления, равно 200 и 1200 м, при фоновой концентрации паров ртути в атмосфере, составляющей $1 \cdot 10^{-9}$ мг/л. Отношения продуктивностей для отрезка накопления, равного 200 м, изменяются от 6 до 3000, что позволит фиксировать газовые ореолы от рудных зон всех исследованных объектов (автомобильный вариант).

* Концентрация ртути в почвенном воздухе в 1000 раз выше, чем в атмосфере.

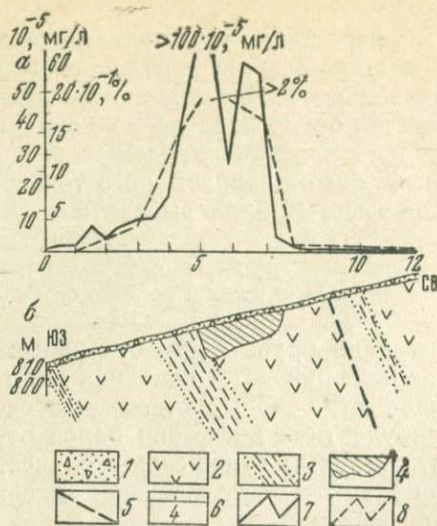


Рис. 31. Графики концентраций ртути: в газовой и твердой фазе (а) и разрез по месторождению Пламенное (б) профиль III.

1 — Шебенный элювио-делювий; 2 — липариты мела; 3 — зона дробления; 4 — рудное тело; 5 — тектонические трещины; 6 — точки измерений; 7 — содержание паров ртути в почвенном воздухе в 10^{-6} мг/л; 8 — содержание ртути в элювио-делювии в $10^{-1}\%$

При отрезке накопления в 1200 м (вертолетный вариант) газовые ореолы фиксируются только от рудных зон месторождений типа Пламенное и Терлигхая.

В тех случаях, когда рудные тела ртутных месторождений и их вторичные ореолы перекрыты небольшой мощностью аллотонных отложений, вышеприведенные расчеты не имеют значения.

Ртутные месторождения. Изучение газовых ореолов ртути проведено на следующих ртутных месторождениях: Пламенное (Чукотка), Северное (Якутия), Терлигхая (Тува), Хайдаркан, Улутоо (Киргизия), Кончоч, Кавнок (Таджикистан), Агкая (Азербайджан).

Пламенное. В почвенном воздухе над рудным телом фиксируются аномалии от 30 до $11000 \cdot 10^{-8}$ мг/л. Изоконцентрации ртути в газовой фазе четко оконтуривают коренное рудное тело и остаточные ореолы рассеяния. Между концентрациями ртути в газовых и вторичных остаточных ореолах намечается четкая пространственная корреляция (рис. 31).

Пары ртути в приземной атмосфере в пределах месторождения при чувствительности измерений $2 \cdot 10^{-7}$ мг/л зафиксированы

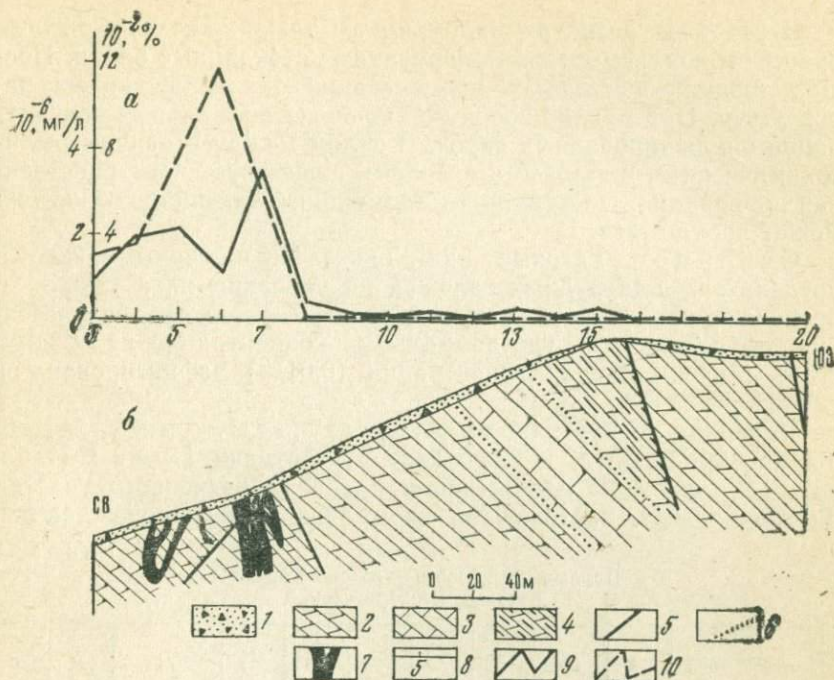


Рис. 32. График концентраций ртути: в газовой и твердой фазе (а) и разрез по месторождению Северное (б) профиль VII.

1 — элювио-делювий; 2 — косослоистые известняки верхнего ордовика; 3 — среднеслоистые известняки верхнего ордовика; 4 — тонкослоистые известняки верхнего ордовика; 5 — тектонические нарушения; 6 — стратиграфические границы; 7 — рудное тело; 8 — точки измерений; 9 — концентрации паров ртути в почвенном воздухе; 10 — концентрации паров ртути в элювио-делювии

только в трех точках из двухсот. Концентрации паров ртути в атмосфере на высоте 1 м от поверхности земли над открытыми механическими ореолами киновари составили $3 \cdot 10^{-7}$ — $5 \cdot 10^{-7}$ мг/л. Соответствующие содержания паров ртути в почвенном воздухе были равны 1000 — $5000 \cdot 10^{-8}$ мг/л.

На рудопроявлениях Заозерное и Приозерное над рудной минерализацией установлены газовые ореолы ртути в почвенном воздухе, которые пространственно коррелируются с вторичными ореолами рассеяния ртути. Линейная продуктивность газового ореола рудопроявления Заозерное равна $33 \cdot 10^{-4}$ м, мг/л, а площадная $0,6$ м² мг/л. Коэффициент α равен $60 \cdot 10^{-8}$.

Терлигхая. Рудная зона месторождения четко прослеживается по газовым ореолам ртути на трех профилях. На других трех профилях зафиксированы слабые аномалии на уровне чувствительности измерений. Это обусловлено низкой концентрацией ртути во вторичных ореолах рассеяния, а также разубоживанием почвенных паров ртути атмосферным воздухом при измерениях в маломощном элювио-делювии (0,2 м).

В условиях развития маломощного элювио-делювия рыхлые пробы отбирались в герметизированные стеклянные банки. После дегазации измерялись концентрации окклюдированных паров ртути. Над рудной зоной установлены аномальные концентрации окклюдированных паров. В целом между вторичными литохимическими и газовыми ореолами существует пространственная корреляция. На участках маломощного элювио-делювия она может нарушаться.

Северное. Газовые аномалии зафиксированы только в пределах выхода рудных залежей на поверхность, а также в пределах развития вторичного литохимического ореола рассеяния ртути (рис. 32), где аномальных концентраций не обнаружено. Максимальная концентрация (0,01%) зафиксирована в единичной пробе.

Линейная продуктивность ореола равна $8 \cdot 10^{-4}$ м мг/л, а площадная $0,2$ м² мг/л, коэффициент ртутоотдачи $110 \cdot 10^{-8}$ (табл. 15). Тектонические нарушения в пределах изученного участка ни вторичными, ни газовыми аномалиями не сопровождаются.

Таблица 15

Параметры * ртутных газовых ореолов
ртутных месторождений

Месторождения	h	t°	C _a ^I	C _a	C _{ср}	C _ф	C _м	M	P	α
Пламенное	840	2—5	300	30	400	3	11000	200—500	2,6	7000
Приозерное	750	5—8	300	30	70	1	400	6	0,3	40
Заозерное	700	5—7	300	30	70	1	500	12	0,6	60
Северное	550	6—8	300	5	40	1	70	8	0,2	110
Терлигхая	1300	8—10	200	5	50	1	300	76	—	560
Хайдаркан	2100	18—20	100	10	40	1	170	4	—	80
Кончоч	3000	10—15	50	10	50	1	200	6	—	90

* h — высота над уровнем моря в м; C_a^I — нижеаномальное содержание в твердой фазе в 10⁻⁶%; C_a — нижеаномальное содержание в газовой фазе в 10⁻⁸ мг/л; C_{ср} — среднее арифметическое содержание в газовом ореоле в 10⁻⁸ мг/л; C_ф — фоновое содержание в газовой фазе в 10⁻⁸ мг/л; C_м — максимальное содержание в газовой фазе в 10⁻⁸ мг/л; M — линейная продуктивность в 10⁻⁴ м·мг/л; P — площадная продуктивность газового ореола, м²·мг/л; α — коэффициент ртутоотдачи в 10⁻⁸.

Хайдаркан. На участке Северная Плавиковая Гора в области развития оруденелых джаспероидов (промышленные руды находятся в слепом залегании) выявлены пары ртути. Газовые ореолы рассеяния приурочены к выходам оруденелых джаспероидов. Между концентрациями ртути в газовых и вторичных остаточных ореолах рассеяния существует четкая пространственная корреляция. На западном фланге рудного поля Хайдаркан в пределах месторождения Новое над слепыми рудными телами, которые перекрыты сланцами мощностью 160—400 м, в почвенном воздухе зафиксированы газовые ореолы рассеяния

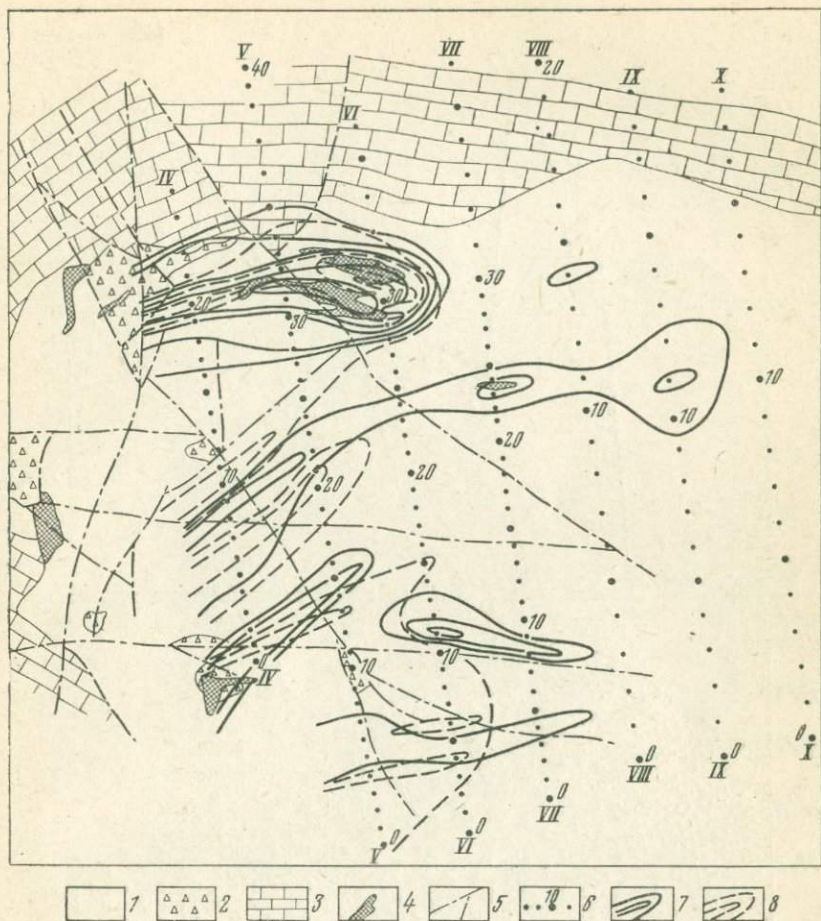


Рис. 33. Изоконцентрации паров ртути:

1 — сланцы и известняки среднего девона — нижнего карбона; 2 — брекчия; 3 — известняки нижнего девона; 4 — рудные тела; 5 — тектонические нарушения; 6 — профили съемки; 7 — изоконцентрации паров ртути в почвенном воздухе в 10^{-8} мг/л (первая — 15, вторая — 30, третья — 60); 8 — изоконцентрации паров ртути в рыхлых отложениях в $10^{-6}\%$ (первая — 150, вторая — 300, третья — 500)

ртути интенсивностью $20-40 \times 10^{-8}$ мг/л при фоне $4-8 \times 10^{-8}$ мг/л.

Кончоч. В геологическом строении месторождения Кончоч участвуют известняки девон-нижнекарбонического возраста и терригенная толща верхнего палеозоя, состоящая из алевролитов, песчаников и конгломератов. Рудная зона месторождения в виде брекчированных оруденелых пород простирается на 500—600 м при мощности 5—100 м. В ней выделяется ряд рудных тел, имеющих линзообразную форму с частыми пережимами.

Участок месторождения характеризуется резко расчленен-

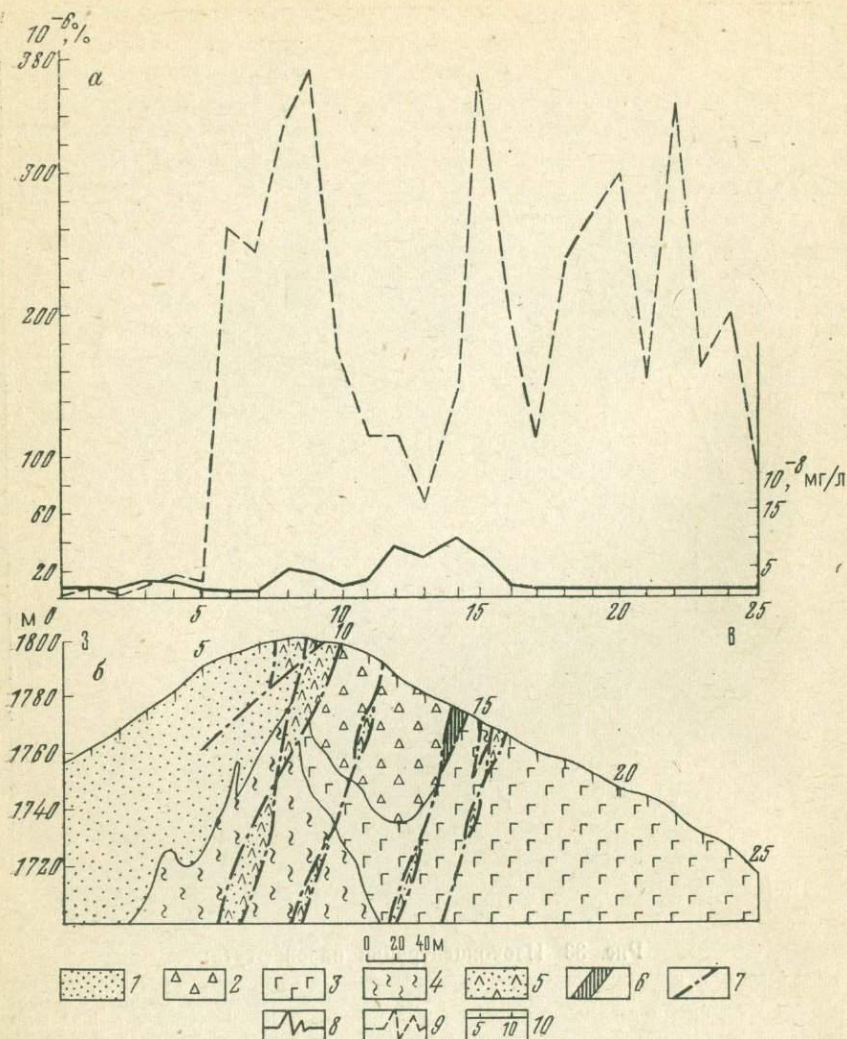


Рис. 34. Графики содержания паров ртути (а) и разрез через месторождение Агкая (б):

1 — туфопесчанники мела; 2 — туфобрекчи мела; 3 — габбро-диабазы мела; 4 — серпентинизированные гипербазиты мела; 5 — листовиты с вкрапленностью и примазками кино-вари; 6 — рудное тело; 7 — тектонические нарушения; 8 — содержание паров ртути в почвенном воздухе; 9 — содержание ртути в элювио-делювию; 10 — точки измерения

ным скалистым рельефом с колебанием высот от 2400 до 3200 м. Проведение газортутных исследований затруднялось наличием крутых склонов и небольшой мощностью элювио-делювиальных отложений (0,15—0,30 м). Аномальными концентрациями паров ртути в почвенном воздухе оконтуриваются рудная зона и от-

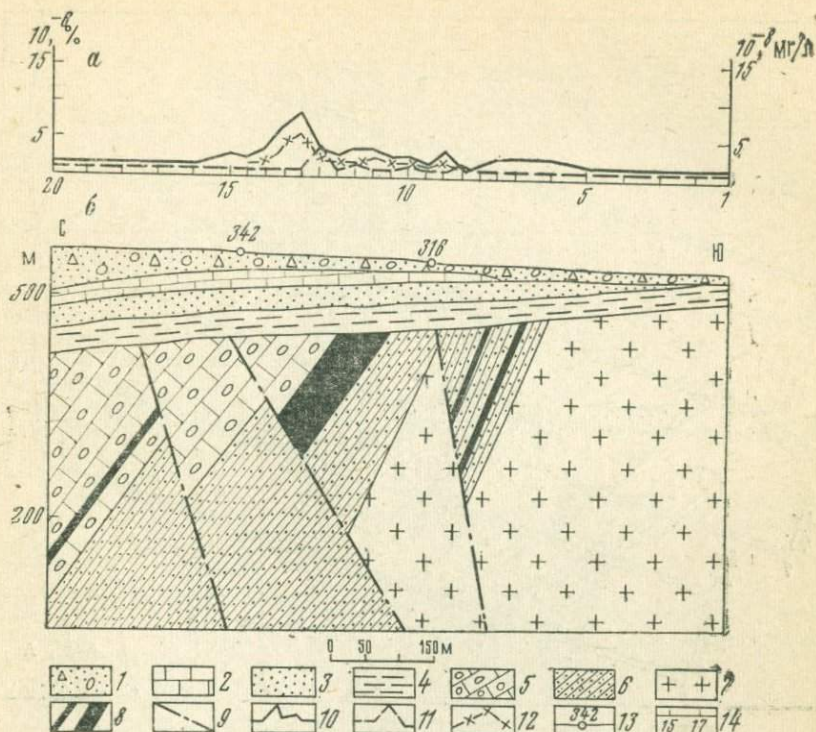


Рис. 35. Графики содержания паров ртути (а) и разрез через месторождение Ташбулак (б):

1 — галечники с песком; 2 — известняки палеогена; 3 — кварцевые песчаники палеогена — мела; 4 — бентонитовые глины палеогена — мела; 5 — известняки и мергели верхнего девона; 6 — песчаники и алевролиты верхнего и среднего девона; 7 — гранитоиды; 8 — рудные тела; 9 — тектонические нарушения; 10 — содержание паров ртути в почвенном воздухе; 11 — содержание паров ртути в рыхлых отложениях; 12 — контрольное содержание паров ртути; 13 — скважины; 14 — точки измерения

дельные рудные тела. Газовые ореолы ртути носят более локальный характер по сравнению с вторичными литохимическими ореолами рассеяния, что обусловлено перемещением последних вниз по склону.

Кавнок. На месторождении Кавнок (Таджикистан) развиты известняки девона и терригенная толща девона—карбона. Общая протяженность ртутоносной зоны составляет с перерывами 3,5 км при ширине 0,3 км. Ртутное оруденение приурочено к кремнистым сланцам (низы терригенной толщи). Промышленные руды в основном концентрируются в зонах интенсивного дробления. Наряду с кристаллической киноварью встречается и порошковая. В рудных телах месторождения установлена самородная ртуть.

Газовыми ореолами ртути четко фиксируются рудные тела. Они более локальны, чем вторичные остаточные ореолы рассеяния (рис. 33).

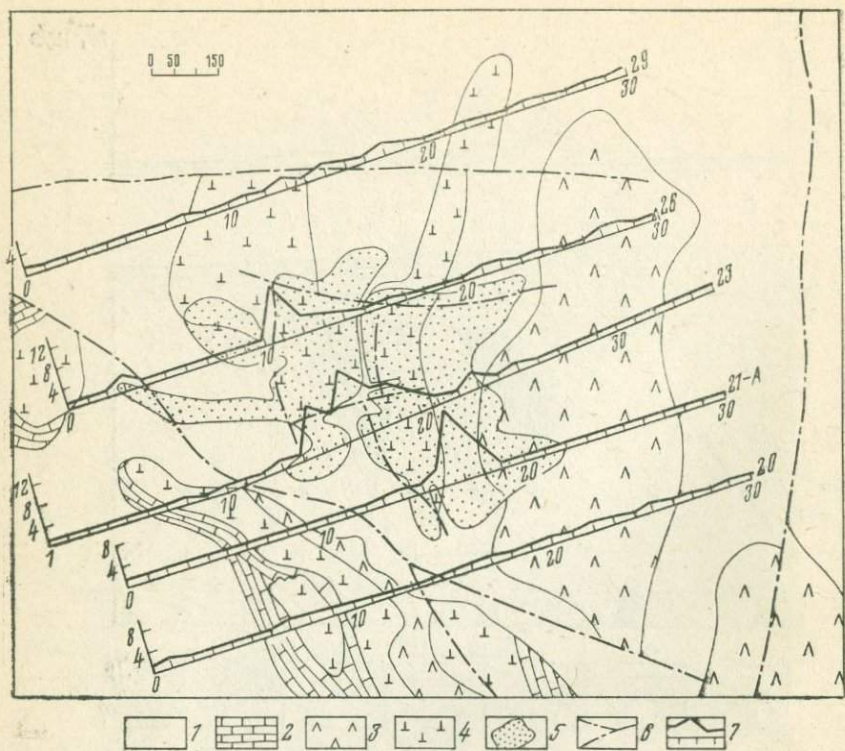


Рис. 36. Графики содержания паров ртути (по Г. П. Шорохову). Схематический план месторождения Молодежное:

1 — туфы основного и смешанного состава; 2 — известняки; 3 — эффузивы андезитового состава; 4 — липариты; 5 — проекции слепых рудных залежей на дневную поверхность; 6 — тектонические нарушения; 7 — графики содержаний паров ртути в почвенном воздухе в 10^{-8} мг/л

А г к а я. В пределах месторождения Агкая (Азербайджан) развиты туфопесчаники, туфобрекчии, кремнисто-серицитовые сланцы верхнего мела, а также габбро-диабазы и серпентинизированные гипербазиты. Три аномалии паров ртути наибольшей протяженности оконтуривают ртутоносные зоны и рудные тела, находящиеся в слепом и открытом залегании. Сравнение результатов газовых и остаточных ореолов рассеяния ртути показывает, что последние при смещении вниз по склону образуют значительный шлейф. Газовые ореолы ртути более локальны и их максимумы отвечают непосредственному выходу рудных тел или вкрапленной ртутной минерализации (рис. 34).

У л у т о о. Над погребенными ртутными залежами месторождения Улутуо, наряду с наложенными литохимическими ореолами рассеяния ртути, фиксируются четкие газовые ореолы рассеяния в почвенном воздухе.

Газортутные ореолы рассеяния
над нертутными месторождениями

Месторождения, вмещающие породы	$\frac{C_{ор}^*}{C_{ф}}$	$\frac{2a}{2p}$	$\frac{h}{h_1}$	Рыхлые отложения
Открытые				
Полиметаллическое Шубинское (Рудный Алтай) эффузивно-осадочные (D_2-D_3), крутопадающие жилы	6—13	30—50	1—5	Глинисто-щебенистая кора выветривания
	1—2	3—15	1—10	
Полиметаллическое Вранчице (ЧССР) гранодиориты (С—Р), крутопадающие жилы	4—6	50—100	1—5	Элювио-делювий, среднезернистый песок
	0,5—0,6	0,5—1	1—10	
Колчеданное Южный Куросан (Южный Урал), эффузивы, крутопадающие линзы с вкрапленностью и прожилками	2—6	50—90	2—5	Глинисто-щебенистая кора выветривания
	0,5—1	10—40	2—3	
Колчеданное Западный Куросан (Южный Урал), эффузивы, крутопадающие жилы с вкрапленно-прожилковым и массивным оруденением	5—103	30—100	2—10	Глинисто-щебенистая кора выветривания
	0,5—1	5—20	2—10	
Погребенные				
Полиметаллическое Ташбулак (Таджикистан), известняки (D_3), крутопадающие жилы с вкрапленно-прожилковым оруденением	3—8	80—150	100	Аллохтонные галечники с песком
	1—2	5—15	20	
Кварц-сульфидно-золоторудное порфириты андезито-дацитовые, крутопадающие линзы	10—22	25—60	40	Аллохтонные суглинки
	2—3	2—5	40	
Слепые				
Медноколчеданное Ломовское (Средний Урал), эффузивно-осадочные, крутопадающие линзы, агрегативные руды	2—2,5	250—300	200—300	Глинистая кора выветривания
	0,5—1	10—25	2—10	
Медноколчеданное Левинское (Средний Урал), эффузивно-осадочные, крутопадающие линзы, агрегативные и вкрапленные руды	2—3,5	200	50—400	То же
	0,4—1	10—20	2—15	

Месторождения, вмещающие породы	$\frac{C_{ор}^*}{C_{ф}}$	$\frac{2a}{2p}$	$\frac{h}{h_1}$	Рыхлые отложения
Медноколчеданное Молодежное (Южный Урал), липариты (Д ₂), крутопадающие и пологозалегающие линзы, агрегативные и вкрапленные руды	3—20	100—300	80—100	Глинистая кора выветривания
	1—2	10—50	5—20	
Скрыто-погребенные Медноколчеданное Узельгинское (Южный Урал), липариты (Д ₂), пологопадающие линзы, агрегативные и вкрапленные руды	6—22	200—450	180—200	Аллохтонные глины и суглинки
	2	20—80	2—20	
Полиметаллическое Старо-Ранско (ЧССР), габбро (См), пологопадающие линзы, агрегативные и вкрапленные руды	2—6	100—120	80—120	Переотложенная кора выветривания мощностью 3 м, затем кора выветривания
	0,8	80—120	10—20	
Скарновое медно-молибденовое (Таджикистан), андезитовые порфириты, крутопадающие линзы, вкрапленное оруденение	20—100	50—70	50—70	Аллохтонные пески, галечники и глины
	2—3	20—80	10—20	
Скарновое вольфрамовое Юбилейное (Таджикистан), монцититы, крутопадающие жилы	6—15	40—50	10—15	Аллохтонные галечники и пески
	2—3	2—5	3—7	

* $C_{ор}$ — содержание паров ртути в ореоле в 10^{-6} мг/л; $C_{ф}$ — фоновое содержание в 10^{-8} мг/л; $2a$ — эффективная ширина газортутного ореола рассеяния в м; $2p$ — мощность рудного тела в м; h — глубина залегания рудного тела; h_1 — мощность рыхлых отложений в м.

Нертутные месторождения. Нами проведены исследования паров ртути в почвенном воздухе на сурьмяных, полиметаллических, сурьмяно-золотых, медноколчеданных, золотоколчеданных, медно-молибденовых, вольфрамовых и флюоритовых с сульфидами (ЧССР) месторождениях. Над перечисленными типами месторождений в почвенном воздухе зафиксированы газовые ореолы рассеяния ртути. Газортутные ореолы в почвенном воздухе фиксируются над открытыми, погребенными, слепыми и скрыто-погребенными месторождениями. Основные данные по изучению газортутных ореолов над месторождениями, находящимися в различных условиях доступности, приведены в табл. 16.

Над погребенными залежами скарново-полиметаллического

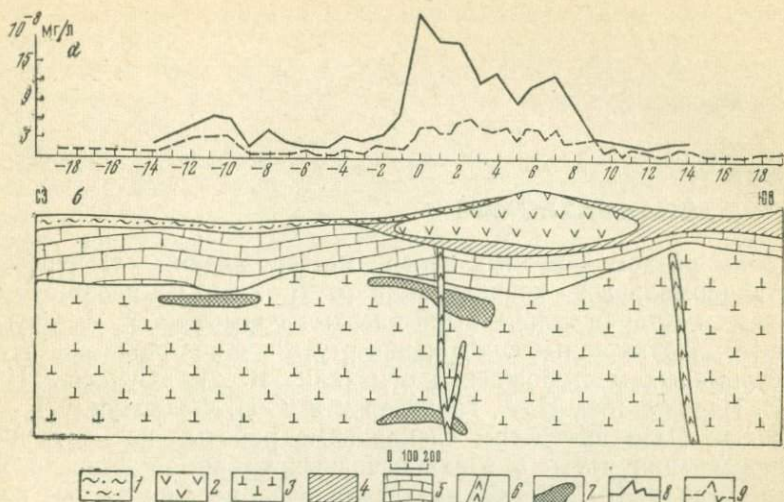


Рис. 37. Результаты измерений паров ртути в почвенном воздухе (а); разрез по месторождению Узельгинское (б):

1 — суглинки и глины; 2 — андезитовые порфириты; 3 — липариты; 4 — кремнистые сланцы; 5 — известняки; 6 — дайки габбро-диабазов; 7 — медноколчеданные рудные тела; 8 — содержание паров ртути в почвенном воздухе, наблюдения 28—29/VI—73 г.; 9 — содержание паров ртути в почвенном воздухе, наблюдения 2—3/VII—73 г., после интенсивных дождей

месторождения Ташбулак зафиксированы четкие газовые ореолы рассеяния ртути (рис. 36). Шаг наблюдения 25 м. С поверхности месторождения развиты галечники и пески, неблагоприятные для накопления паров ртути, а рудные тела перекрываются бентонитовыми глинами, затрудняющими фильтрацию ртути от рудных тел. Мощность перекрывающих отложений 100 м. Над слепыми медноколчеданными залежами месторождения Молодежное (Южный Урал), находящимися на глубине 80—100 м, зафиксированы четкие газортутные ореолы рассеяния. Шаг наблюдений 50 м, вне рудных зон аномальных концентраций паров ртути не установлено (рис. 36).

Над скрыто-погребенными медноколчеданными залежами месторождения Узельгинское (Южный Урал) выявлены газовые ореолы рассеяния ртути в почвенном воздухе (рис. 37), шаг наблюдения 50 м. Глубина залегания рудных тел 180—200 м, мощность аллохтонных суглинков и глин изменяется от 5 до 30 м. Повторные наблюдения, проведенные после интенсивных дождей, показали, что амплитуда аномалий уменьшилась в 2—3,5 раза при уменьшении фона в 1,5—2 раза.

Заполнение пор почвы водой приводит к уменьшению эффективной пористости, объема почвенного воздуха и паров ртути, что снижает концентрацию газовых ореолов рассеяния в почве. Почвенная влага под влиянием солнечного нагревания испаряется, и пары ртути со временем восстанавливаются, заполняя вновь поры почвы.

РТУТЬ В ЗОНАХ РАЗЛОМОВ

Зоны разломов рудных полей месторождений. Приуроченность аномальных концентраций ртути к зонам разломов на ртутных месторождениях была впервые подмечена А. А. Сауковым [93]. Повышенные содержания ртути в зонах разломов ртутно-сурьмяных месторождений отмечали В. Т. Сургай [111], В. Э. Поярков [84], Н. А. Никифоров и В. П. Федорчук [67].

Нами были проведены специальные работы по изучению распределения ртути в зонах основных разломов Ачисайского рудного поля [127]. В Бельмазарском разломе аномальные концентрации * ртути ($10 \cdot 10^{-6}$ — $120 \cdot 10^{-6}$ %, при фоне $2 \cdot 10^{-6}$ — $4 \cdot 10^{-6}$ %) фиксируются в восточной и западной частях. К восточной части разлома приурочена 29 южная залежь, находящаяся в слепом залегании. К западной части разлома тяготеет 2-я Бельдургенсайская залежь (слепое залегание). К малому Бельмазарскому разлому тяготеют две аномальные зоны (содержание $10 \cdot 10^{-6}$ — $250 \cdot 10^{-6}$ %). В аномальных зонах встречена по скважинам рудная минерализация и пиритовые руды с промышленным содержанием свинца, цинка и меди. В зоне Бельдургенского разлома выявлены три аномалии (содержание ртути $10 \cdot 10^{-6}$ — $100 \cdot 10^{-6}$ %).

В зоне тектонической трещины Сидоровской электроаномалии выявлена аномалия ($10 \cdot 10^{-6}$ — $120 \cdot 10^{-6}$ %). В зоне тектонической трещины Екатерина выявлена аномалия ($10 \cdot 10^{-6}$ — $120 \cdot 10^{-6}$ %), приуроченная к пересечению трещины с надвиговым швом, который отделяет карбоновые отложения от девонских.

Геохимическими исследованиями, проведенными в Южном Прибалхашье, установлено, что разрывное нарушение, к которому приурочено ртутное рудопроявление, четко картируется аномальными концентрациями ртути в элювио-делювии. Проведенные работы на ртутных рудопроявлениях Центрального и Южного Казахстана показывают, что аномальными концентрациями ртути картируются те разрывные нарушения, в которых проявляется ртутная минерализация.

Исследования на ртутных месторождениях Северное, Терлигхайское и рудопроявлениях Салкынбель (Джунгария), Левчайское, Агкая (Азербайджан) показывают, что аномальные содержания ртути фиксируются над зонами тех разрывных наруше-

* Здесь и далее содержание ртути в коренных породах.

ний, к которым приурочены промышленные руды или рудная минерализация.

Исследования на месторождениях Узун-Жал и Тесиктас (Центральный Казахстан) приводят к аналогичным результатам.

В пределах Вышковского ртутного поля (Закарпатье) рудо-контролирующий разлом в долине Тисы погребен аллювиальными отложениями мощностью 25—40 м. Интенсивность аномалий над зоной разлома составляет $10 \cdot 10^{-8}$ — $78 \cdot 10^{-8}$ мг/л при фоне $2 \cdot 10^{-8}$ — $3 \cdot 10^{-8}$ мг/л.

В. П. Федорчук и Г. А. Габриэльянц зафиксировали аномальные содержания ртути в твердой фазе над разломами в нефтеносных районах юго-западных предгорий Гималаев [122].

Глубинные зоны разломов. В процессе газового обмена Земли большое значение имеют газы, идущие по глубинным разломам из нижних слоев литосферы [14]. «Дыхание» глубинных зон разломов парами ртути изучалось в 1966—1967 гг. в районе г. Ташкента и в 1968—1969 гг. в районе г. Алма-Аты, а также по региональным профилям в разных участках СССР.

Район г. Ташкента. После восьмибалльного Ташкентского землетрясения, происшедшего 26 апреля 1966 г., со всей остротой встал вопрос об изучении глубинного геологического строения района города. С целью картирования зон глубинных разломов нами было предложено измерять «глубинное дыхание» Земли ртутью.

Для этого были выполнены совместные геохимические исследования Центральной геохимической экспедицией Казгеофизтреста и Приташкентской геофизической экспедицией Узбекского геофизического треста [133, 64].

Геохимические работы проводились путем изучения распределения концентраций свободных и окклюдированных паров ртути, а также углеводородов, гелия.

В Центральной части Ташкента, на улицах Куйбышева, Первое Мая, Ленина и Навои были проведены измерения концентраций свободных паров ртути в атмосфере и в почвенном воздухе атомно-абсорбционным фотометром КазРАФ-2. Длина профилей составляла 2,5—4 км, шаг наблюдений 50—100 м. Как в атмосфере, так и в почвенном воздухе ни в одной точке наблюдения не были зарегистрированы пары ртути при чувствительности прибора $1 \cdot 10^{-7}$ мг/л. В рыхлых пробах, которые отбирались с поверхности, аномальных концентраций ртути также не было установлено.

Для изучения распределения окклюдированных паров ртути Приташкентской геофизической экспедицией был пройден специальный профиль шнековых скважин, заданный вкрест простирающихся глубинных разломов северо-западного направления. Центральная часть профиля проходила через эпицентр Ташкентского землетрясения.

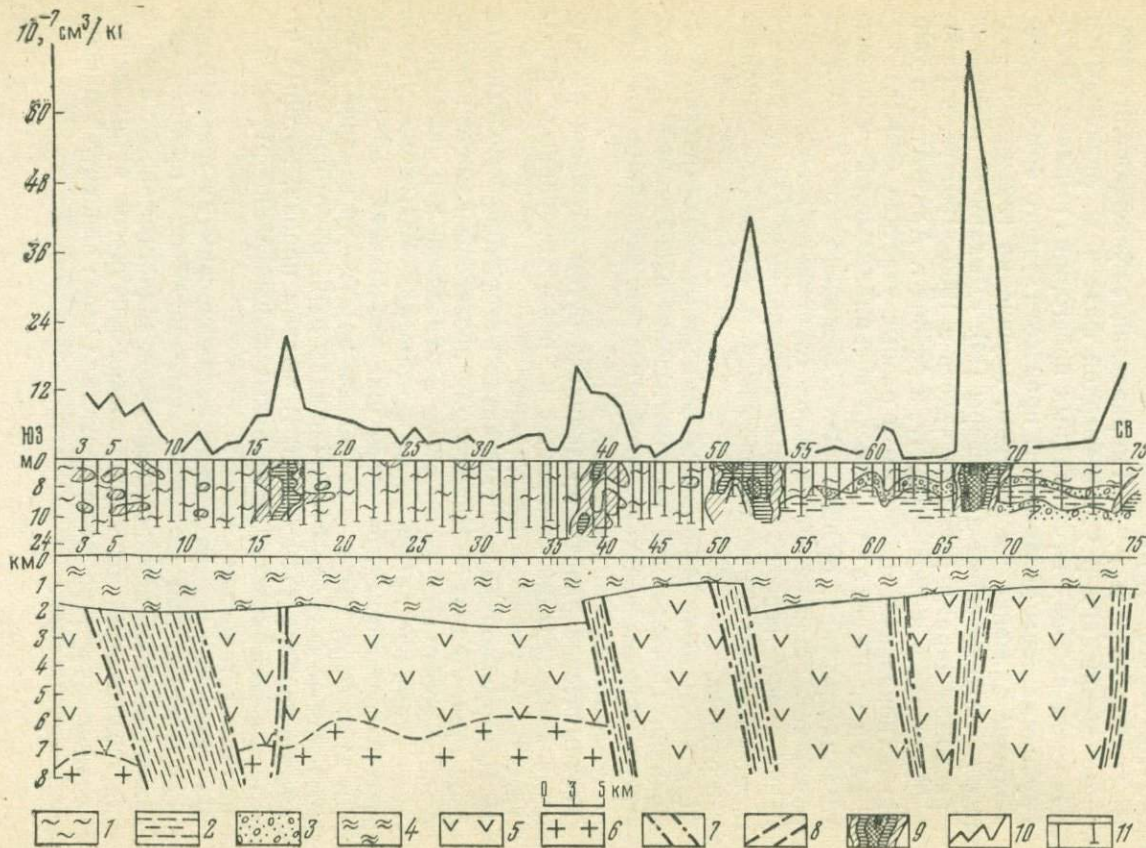


Рис. 38. Результаты изучения окклюдированных паров ртути в зоне глубинных разломов (по В. З. Фурсову, Н. Б. Вольфсону и А. Г. Хваловскому):

1 — лёссовидные суглинки; 2 — глины; 3 — пески и галечники; 4 — осадочные породы мезокайнозоя; 5 — осадочно-эффузивные породы палеозоя; 6 — гранодиориты палеозоя; 7 — зоны разломов; 8 — предполагаемые зоны разломов; 9 — изоконцентрации паров ртути; 10 — график средних концентраций паров ртути в породе; 11 — скважины шнекового бурения

Пробы отбирались из лёссовидных суглинков, глин и песков через каждые полтора метра проходки скважин в стеклянные пол-литровые банки, которые после отбора немедленно герметизировались. Над зоной Западно-Алмалыкского глубинного разлома были зафиксированы повышенные концентрации окклюдированных паров ртути — до $12 \cdot 10^{-7}$ при фоне $2-4 \cdot 10^{-7}$ см³/кг породы. Изоконцентрации представлены серией разобщенных контуров (рис. 38).

Зона Бурджарского разлома отмечается повышенным содержанием ртути (до $24 \cdot 10^{-7}$ при фоне $3-7 \cdot 10^{-7}$ см³/кг). Изоконцентрации в виде четких контуров с двумя изолиниями $12 \cdot 10^{-7}$ и $24 \cdot 10^{-7}$ см³/кг породы совпадают с зоной разлома.

Центральная часть Ташкента расположена над приподнятым блоком палеозойских пород, амплитуда поднятия которого составляет около 1000 м относительно его прежнего положения. Приподнятый блок ограничен первой и второй ветвями Восточного Алмалыкского разлома. К границам приподнятого блока и частично к его центру приурочено большинство гипоцентров афтершоков (число их превысило 750) Ташкентского землетрясения. Глубина нахождения гипоцентров от 1 до 8 км.

Первая ветвь Восточно-Алмалыкского разлома, ограничивающая приподнятый блок с юго-запада, отмечается повышенными концентрациями паров ртути до $18 \cdot 10^{-7}$ при фоне $5 \cdot 10^{-7}$ см³/кг. Вторая ветвь Восточно-Алмалыкского разлома четко фиксируется аномальными концентрациями ртути (до $42 \cdot 10^{-7}$ см³/кг породы). Восточная ветвь Восточно-Алмалыкского разлома фиксируется слабой аномалией паров ртути только по графикам средних концентраций до $8 \cdot 10^{-7}$ при фоне $3 \cdot 10^{-7}$ см³/кг породы.

По нашему мнению, интенсивная аномалия паров ртути также обусловлена зонами разломов, которые не были зафиксированы гравиразведкой и аэромагнитной съемкой. Сопоставление карты размещения эпицентров и схем глубинного строения Восточного Узбекистана показывает, что эпицентры большинства землетрясений четко приурочены к древним глубинным разломам, причем наибольшая сейсмическая активность характерна для участков пересечения древних северо-западных структур более молодыми структурами северо-восточного простирания. Таким образом, картирование зон разломов приобретает важное значение при изучении сейсмогенных структур.

Источники ртути могут быть разными, но они, вероятно, имеют глубинное происхождение.

Насыщение глин и суглинков окклюдированными парами ртути произошло за счет диффузионных и фильтрационных газовых потоков ртути, приходящих из недр земли по зонам глубинных разломов. Источником газовых потоков могла оказаться ртуть, возгоняющаяся из пород при повышении температуры в процессе сдвигов отдельных блоков.

Горные породы на глубинах 5—10 км имеют температуру около 200°. В условиях повышенного давления скорости возгонки ртути из горных пород сдвигаются в сторону более высокой температуры, тем не менее указанная температура достаточна для возгонки ртути. Ртуть, возгоняемая из горных пород, мигрирует к поверхности по зонам глубинных разломов как в форме свободных паров, так и в водных растворах.

Источником ртути могли быть и магматические очаги, находящиеся на больших глубинах. Над глубинными зонами разломов, помимо паров ртути, зафиксированы аномалии углеводородов (от метана до пентана) и гелия. Однако наиболее контрастными и интенсивными являются аномалии паров ртути [64].

Район г. Алма-Аты расположен в области сопряжения каледонских структур Северного Тянь-Шаня и герцинских структур Джунгаро-Балхашской провинций, осложненных альпийской разрывной тектоникой, сформировавшей основные оростафические единицы района. Важную роль в тектоническом строении играют глубинные зоны разломов, которые служат границами структур и структурных блоков. Наиболее крупными из них являются Заилийская, Алтын-Эмельская и Каскеленская зоны.

Изучение распределения содержаний окклюдированных паров ртути было проведено по профилям Каскеленскому и Бурундайскому, заданным вкрест простирания зон глубинных разломов. Пробы отбирались из шнековых скважин через 1,5 м и немедленно герметизировались в стеклянных банках емкостью 0,5 л. По профилю Медео—Николаевка измерения свободных и окклюдированных паров ртути проводились с глубины 0,5—0,7 м. Длина профилей 50—75 км, шаг наблюдений 500 м.

На каждой точке измерение свободных и окклюдированных паров ртути производилось дважды.

Наиболее интенсивные аномальные концентрации окклюдированных и свободных паров ртути зафиксированы над Заилийской зоной глубинных разломов, которая особенно сейсмична.

Каскеленский профиль проходит в направлении с юга на север через город Каскелен, станцию Чемолган и далее на плато Карой, пересекая Заилийскую, Каскеленскую и Алтын-Эмельскую зоны глубинных разломов (рис. 39).

Геохимический профиль совмещен с сейсмическим.

Мощность мезо-кайнозойских отложений в Южной части профиля составляет 0,2—0,3 км, в районе Заилийской зоны глубинных разломов она увеличивается до 2,5 км и далее к северу постепенно уменьшается до 0,4—0,2 км.

На профиле зафиксировано несколько аномальных зон окклюдированных паров ртути интенсивностью от $3 \cdot 10^{-7}$ до $18,2 \cdot 10^{-7}$ при фоне $0,8 \cdot 10^{-7}$ мг/л. В южной части профиля выяв-

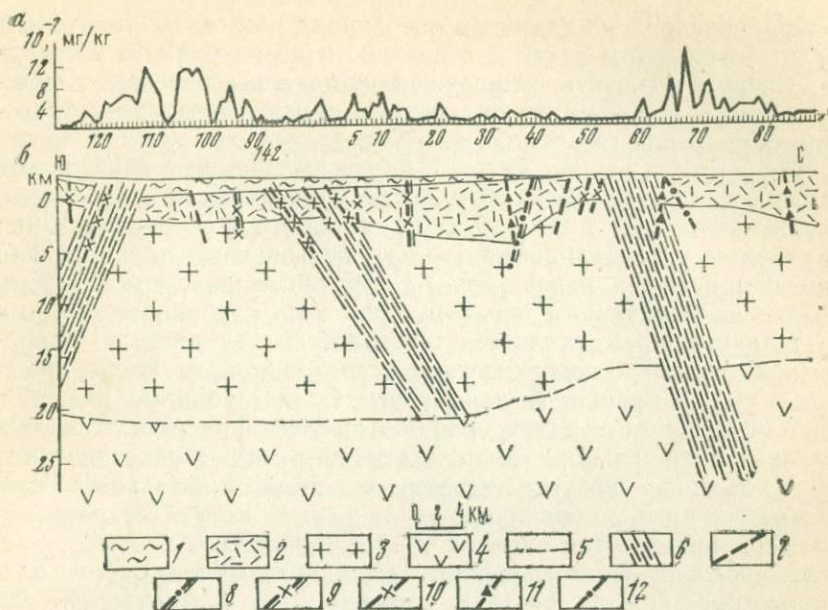


Рис. 39. Результаты изучения окклюдированных паров ртути по скважинам шнекового бурения (по В. З. Фурсову, А. Г. Никитину и Л. А. Певзнеру):

а — график средних концентраций ртути; б — разрез по Каскеленскому профилю: 1 — нерасчлененные осадочные отложения мезо-кайнозоя; 2 — нерасчлененные образования палеозоя; 3 — гранитный слой; 4 — базальтовый слой; 5 — граница Конрада; 6 — зоны глубинных разломов, установленные по геофизическим и геологическим данным; 7—12 — разломы, выделенные по геофизическим данным

лена область повышенных концентраций ртути интенсивностью от $3 \cdot 10^{-7}$ до $18 \cdot 10^{-7}$ при фоне $0,33 \cdot 10^{-7}$ мг/л шириной 16 км. Аномальная область разделяется на три самостоятельные аномалии. Южная аномалия пространственно совпадает с Заилийской зоной глубинных разломов, а две другие — с разломами, установленными по геофизическим данным.

Аномальные содержания окклюдированных паров ртути интенсивностью $2-4 \cdot 10^{-7}$ при фоне $0,3 \cdot 10^{-7}$ мг/л пространственно совпадают с Каскеленской зоной глубинных разломов.

Аномалия интенсивностью $5 \cdot 10^{-7}$ при фоне $0,27 \cdot 10^{-7}$ мг/л протяженностью 5,5 км совпадает с двумя разломами, установленными по геологическим и геофизическим данным, расположенным в висячем блоке Каскеленской зоны глубинных разломов. Указанные разломы, по-видимому, имеют связь с Каскеленской зоной глубинных разломов, и пары от нее фильтровались к поверхности по данным разломам.

Сложная аномалия интенсивностью $14 \cdot 10^{-7}$ при фоне $1,3 \cdot 10^{-7}$ мг/л пространственно увязывается с северной частью Алтын-Эмельской зоны глубинных разломов и ее висячим блоком. Приуроченность аномалии к висячему блоку зоны, воз-

можно, обусловлена наличием оперяющих разломов, по которым фильтруются пары ртути к поверхности из глубинного источника. Следует отметить, что южная часть зоны перекрыта мощным чехлом эоловых песков, которые являются крайне неблагоприятной средой для окклюзии ртути.

По профилю Медео — Николаевка над глубинными разломами фиксируются аномальные концентрации свободных и окклюдированных паров ртути, а в некоторых случаях над разломами устанавливаются только повышенные концентрации окклюдированных паров ртути. Полученные факты могут быть объяснены следующим образом. Если зона глубинного разлома в настоящее время является тектонически активной, то в подземной атмосфере поверхностных отложений образуются свободные и окклюдированные пары ртути. Если глубинный разлом в настоящее время не активен, то подток ртути прекращается, аномальные концентрации уходят в атмосферу и рассредотачиваются в почвенном воздухе соседних участков. Аномальные концентрации окклюдированных паров ртути могут сохраняться большой промежуток времени и обнаруживаться в том случае, если аномальные концентрации свободных паров ртути полностью рассеяны. Результаты экспериментов подтверждают высказанные соображения (см. рис. 13). Эта особенность ртути может быть использована в практике геологических исследований для классификации глубинных зон разломов на тектонически активные и с затухающей активностью.

В зоне интенсивной аномалии производились измерения свободных паров ртути в разное время. Наблюдения проводились с октября 1969 г. по июнь 1970 г., с перерывами во время зимы. Наблюдения проводились 2—3 раза в месяц. С октября по ноябрь намечается увеличение концентраций ртути с $10 \cdot 10^{-8}$ до $25 \cdot 10^{-8}$ мг/л, а затем с апреля по июнь — уменьшение концентраций с $33 \cdot 10^{-8}$ до $12 \cdot 10^{-8}$ мг/л.

Анализ показывает, что интенсивные аномалии паров ртути приурочены к сейсмоактивным глубинным разломам. Наиболее сейсмоактивен Заилийский глубинный разлом и участки оперяющих его трещин и разломов.

Высокие концентрации паров ртути в Ташкенте зафиксированы в той части глубинных разломов, которые были наиболее сейсмоактивными.

Следовательно, аномальные концентрации паров ртути в почвенном воздухе генетически связаны с сейсмоактивными глубинными зонами разломов земной коры. В процессе землетрясений каналы фильтрации в направлении к поверхности Земли расширяются, и количество паров ртути, фильтрующихся из глубинных источников, резко увеличивается в приповерхностной зоне.

Изменение концентраций паров ртути во времени и приуроченность таких высоких концентраций к сейсмоактивным глу-

бинным зонам разломов позволяют утверждать, что аномальные концентрации паров ртути изменяются в соответствии с изменением сейсмической активности тектонических зон. Отсюда, появляются возможности использования методики изучения ртутных паров в целях прогноза землетрясений. Для этого необходима организация стационарных наблюдений за потоком паров ртути в глубоких скважинах, расположенных в сейсмических областях земной коры.

После Ташкентского землетрясения 1966 г. проводились исследования изменений концентраций радона и гелия в термальных водах по скважинам в связи с сейсмоактивностью. В. И. Уломовым, Б. З. Мавашевым [117], Х. К. Касымовым, Е. Л. Воробьевым и Д. М. Закировым [46] установлена корреляция во времени между увеличением сейсмоактивности (повторные толчки) и повышением концентрации радона в термальных водах. Изменение концентраций радона в термальных водах рассматривается указанными авторами как предвестник землетрясений. К такому же выводу приходят Л. В. Горбушинский, В. Г. Грацинский [20] и др.

Если концентрация паров ртути и других газов возрастает в сейсмоактивных областях вблизи поверхности, то часть паров ртути и газов диффундирует в атмосферу.

Следовательно, установление прямой корреляции между изменением концентрации газов и сейсмоактивностью позволит разработать критерий геохимических предвестников землетрясений. Беспокойное поведение домашних животных (собак, кошек и др.) накануне землетрясений, возможно, объясняется тем, что они, в силу чрезвычайно высокой чувствительности обоняния, могут чувствовать ничтожные изменения газового состава атмосферы за счет притока газов из недр Земли. Согласно данным Р. Х. Райта [89], чувствительность обоняния собаки для многих веществ на 6—8 порядков выше, чем у человека.

Региональные профили. Исследования распределения содержания паров ртути в почвенном воздухе проведены нами по десяти региональным профилям, пересекающим геоструктурные зоны Средней Азии, Казахстана и Европейской части СССР. Общая длина профилей около 18000 км, шаг наблюдений 10—45 км.

Измерения были выполнены автомобильным газоанализатором КазРАФ-6 в местах, где отсутствовали признаки культурного заражения почвы. На рис. 40 приведены результаты измерений паров ртути в почвенном воздухе в сентябре 1972 г. по региональному профилю Ленинабад — Ташкент — Кызыл-Орда — Аральск — Карабутак — Актюбинск, пересекающему западную часть Ферганской впадины, Чаткало-Кураминскую мегантиклиналь, Приташкентский прогиб, Северо-восточное обрамление Сырдарьинской синеклизы, Джусалинский свод, зону Северо-Приаральских линейных дислокаций, Тургайский прогиб и

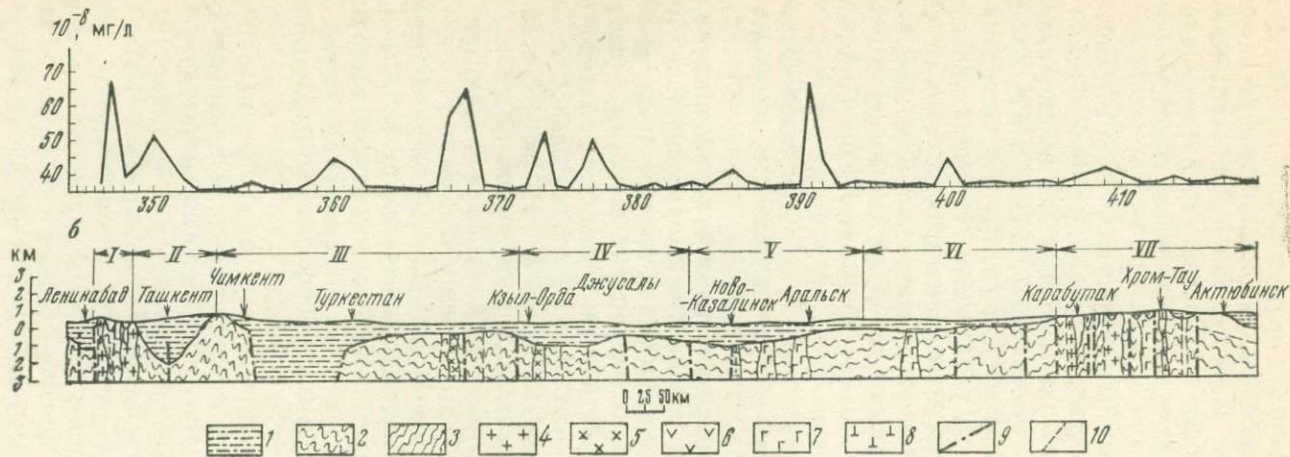


Рис. 40. Графики содержаний паров ртути в почвенном воздухе (а) и профиль Ленинбад—Ташкент—Кзыл-Орда—Аральск—Карабутак—Актиубински (геологический разрез по Г. А. Долгих и Ю. Е. Баранову):

I — Чаткало-Кураминская мегантиклиналь; II — Приташкентский прогиб; III — Северо-восточное обрамление Сырдарьинской синеклизы; IV — Джусалинский свод; V — зона Северо-Приаральских ливневых дислокаций; VI — Тургайский прогиб; VII — мегантиклинорий Урала.

1 — мезо-кайнозойские образования; 2 — палеозойские образования; 3 — докембрийские образования; 4 — граниты; 5 — диориты; 6 — сиениты; 7 — габбро; 8 — ультрабазиты; 9 — глубинные разломы; 10 — разломы

Уральскую складчатую зону. Глубинные разломы Уральской складчатой зоны фиксируются более низкими аномальными концентрациями, по сравнению с глубинными разломами Чаткало-Кураминской мегантиклинали, Ташкентского прогиба и др. По-видимому, для глубинных разломов Урала характерна большая закрытость, которая препятствует фильтрации интенсивных газовых потоков к поверхности Земли.

Анализ результатов исследований паров ртути в почвенном воздухе по десяти региональным профилям показывает, что аномальные концентрации паров ртути пространственно совпадают с известными глубинными разломами, выявленными при геологических и геофизических исследованиях, и не возникли за счет изменения внешних поверхностных факторов (изменение температуры, атмосферного давления, влажности, смены типов почв и рыхлых отложений).

Не все зоны глубинных разломов сопровождаются аномальными концентрациями паров ртути, что обусловлено, вероятно, их закрытостью, затрудняющей фильтрацию паров ртути из глубинных источников к поверхности Земли.

Как указывалось выше, фоновые концентрации паров ртути в почвенном воздухе изменяются в небольших пределах — от $0,8 \cdot 10^{-8}$ до $2 \cdot 10^{-8}$ мг/л.

Аномальные концентрации в зонах глубинных разломов превышают фоновые в 4—30 раз при ширине аномалий 10—100 км. Большая ширина аномалий паров ртути в почвенном воздухе над зонами разломов может быть обусловлена следующим:

1. Зоны разломов состоят из чередующихся систем глубинных разломов, над которыми поток паров ртути, проходя через перекрывающие отложения мощностью 0,5—2 км, вследствие боковой фильтрации, представлен на поверхности единой сложной аномалией больших размеров.

2. Подземные воды, циркулирующие в системах глубинных разломов, способствуют «растаскиванию» паров ртути, что приводит к увеличению площади аномалий.

3. При фильтрации паров ртути от глубинного источника в течение длительного геологического времени происходит «зарядка» за счет сорбции перекрывающих пород ртутью, которая впоследствии также начинает возгоняться, расширяя площади существования аномальных концентраций паров ртути в почвенном воздухе.

ГЛАВА VIII

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РТУТИ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ

Основными геохимическими методами поисков рудных месторождений в СССР являются литохимические съемки. К настоящему времени поисковые литохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния проведены на площади 1—1,2 млн. км². Они привели к открытию крупных промышленных месторождений. При этом детализация и оценка геохимических аномалий производилась комплексом геофизических, геохимических и геологоразведочных работ. Наиболее результативны поиски по вторичным ореолам рассеяния в Забайкалье, Узбекистане и особенно Казахстане.

Литохимическая съемка является эффективным средством поисковых работ в условиях развития элювио-делювиальных отложений, в которых формируются в основном механические ореолы рассеяния рудных месторождений. В некоторых случаях процессы гипергенеза могут значительно трансформировать ореолы рассеяния или привести к образованию геохимических аномалий, источником которых явились рассеянные сингенетичные элементы горных пород. На участках, где рудные тела и рудные зоны перекрыты аллохтонными отложениями, проведение поверхностной литохимической съемки не эффективно.

В этих условиях проведение глубинной литохимической съемки требует больших затрат на буровые работы, поэтому ее рационально применять только на локальных перспективных участках.

За последнее пятилетие получили широкое распространение поиски скрытых (слепых) рудных тел по их первичным ореолам. Особенно высокая эффективность поисков по первичным ореолам была достигнута в Таджикистане.

С целью повышения эффективности геохимических исследований при поисковых работах пробы анализируются на 30—40 элементов современными высокочувствительными приборами ДФС-13.

Повышение чувствительности анализа и числа определяемых элементов приводит к резкому увеличению количества выявленных и не оцененных геохимических аномалий.

Увеличение глубинности геохимических методов поисков (особенно погребенных месторождений) и разработка эффек-

тивных приемов оценки геохимических аномалий являются важными проблемными задачами.

Повышение роли и эффективности геохимических исследований в общем цикле геологоразведочных работ может существенно снизить затраты на поиски полезных ископаемых.

Для решения этих задач выполняются работы по изучению закономерностей миграции элементов при эндогенных (В. Л. Барсуков, С. В. Григорян, Л. Н. Овчинников и Н. И. Сафронов и др.) и гипергенных (А. И. Перельман и др.) процессах, количественной интерпретации ореолов рассеяния и математической обработки результатов геохимических поисков (Р. И. Дубов, Е. М. Квятковский, А. П. Соловов и др.).

Одним из путей повышения эффективности геохимических работ является выяснение особенностей распределения каждого элемента в горных породах, рудах, первичных и вторичных ореолах рассеяния и последующее их рациональное использование на различных стадиях геохимических поисков.

Остановимся на краткой характеристике основных особенностей ртути. Высокая летучесть обуславливает повышенную проникающую способность ртути через горные породы и образование широких и протяженных ее ореолов, преимущественно в верхней части месторождений вокруг рудных залежей.

В процессе гипергенеза ртуть из рудных тел и литохимических ореолов благодаря легкости атомизации переходит из любых соединений в самородную ртуть, которая, возгоняясь, образует в элювио-делювиальных и аллохтонных отложениях, перекрывающих рудные зоны, вторичные газовые ореолы рассеяния.

Высокая сорбционная способность ртути приводит к формированию наложенных литохимических ореолов рассеяния над погребенными рудными зонами в аллохтонных отложениях.

Однородность распределения ртути в горных породах в твердой и газовой фазе обуславливает относительно малые флуктуации фона, что позволяет выделять надежно аномалии небольшой интенсивности при геохимических поисках. В то же время это свойство ограничивает возможность использования ртути для картирования различных типов горных пород. Ртуть концентрируется в рудах всех генетических типов нертутных эндогенных месторождений, не только в сульфидных, но и других типах руд (окисные, силикатные и галогидные). Эти концентрации не имеют промышленного значения, но их индикаторное значение при геохимических поисках трудно переоценить. Ртуть концентрируется в рудах некоторых метаморфогенных и экзогенных месторождений, а также в горючих полезных ископаемых: нефти, угле и газе.

В настоящее время ртуть как индикатор можно использовать главным образом при поисках сульфидных месторождений.

Широкий диапазон изменения концентраций ртути в поле

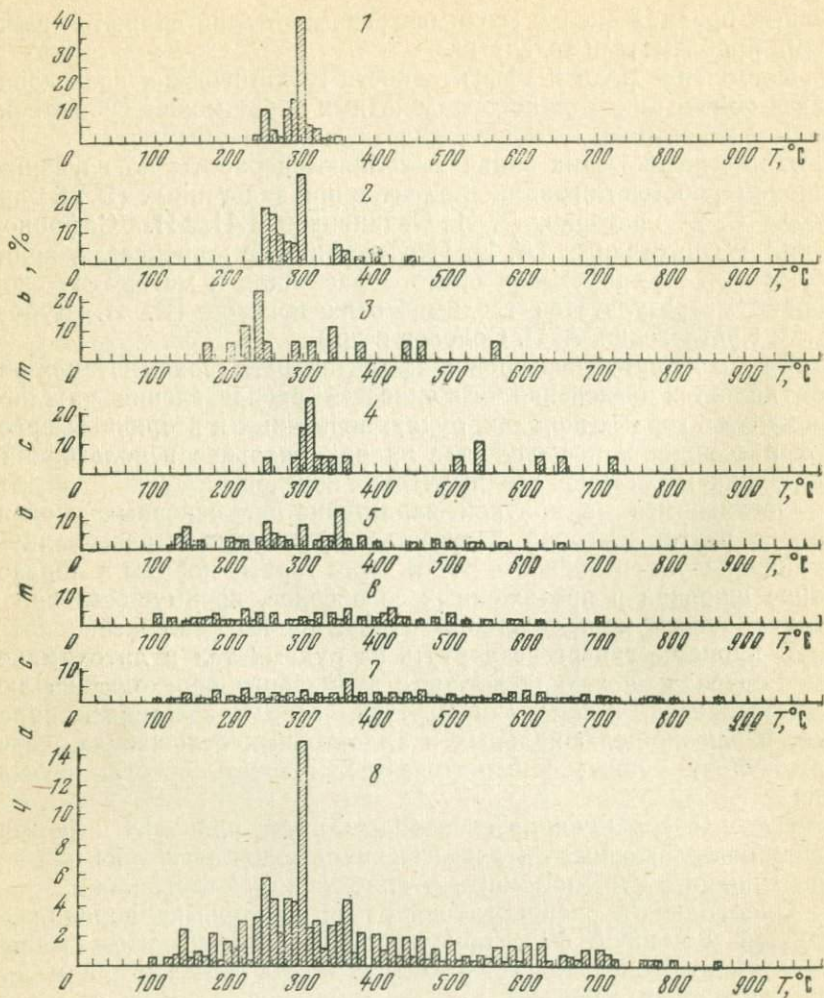


Рис. 41. Термические спектры составляющих ртути

1 — горные породы ($n=125$, где n — число проб); 2 — речной аллювий ($n=51$); 3 — осадочные месторождения ($n=12$); 4 — гипогенные минералы ($n=14$); 5 — первичные ореолы гидротермальных месторождений ($n=130$); 6 — магматические, карбонатитовые, альбититовые, грейзеновые и метаморфические месторождения ($n=30$); 7 — пегматитовые, скарпные, гидротермальные, телетермальные и колчеданные ($n=81$); 8 — породы, ореолы ($n=444$)

рассеяния от $n \cdot 10^{-6}$ до $n \cdot 10^{-1}\%$ имеет практическое значение при геохимических поисках, обеспечивая в некоторых случаях большую контрастность ореолов ртути по сравнению с другими элементами. Так, например, содержания никеля, меди и свинца изменяются только от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^0\%$, а молибдена, вольфрама, олова и кобальта — от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^{-1}\%$.

В отличие от горных пород, в рудах и ореолах эндогенных месторождений фиксируется 2—5 составляющих ртути, термический спектр которых изменяется в более широком интервале температур по сравнению с горными породами (рис. 41). Наличие в геохимической аномалии нескольких составляющих ртути с более широким термическим спектром, нежели в горных породах, с большим основанием позволяет полагать, что аномалия обусловлена рудной минерализацией.

С помощью методики разделения валовых концентраций ртути на составляющие можно выявлять новые рудоносные зоны (особенно погребенные и скрыто-погребенные) даже в тех случаях, когда валовые концентрации ртути незначительно отличаются от фона.

Легкость атомизации позволяет проводить высокочувствительные и высокоточные измерения содержаний ртути атомно-абсорбционным методом без перевода проб в раствор. Молекулы легколетучих элементов фтора, хлора, брома, йода и фосфора состоят из 2—4 атомов. Поэтому при атомно-абсорбционном анализе молекулы этих элементов должны быть атомизированы, что представляет собой сложную техническую задачу при использовании методики термовозгонки. Если же проводить атомно-абсорбционный анализ с переводом пробы в раствор, то при малых концентрациях возможно влияние химреактивов на результаты измерения, резко снижается экспрессность и возрастает стоимость анализа, а самое главное — невозможно разделение валовых концентраций ртути на отдельные составляющие.

Ртуть является пока единственным элементом, содержание которого можно одновременно изучать в твердой и газовой фазе одним и тем же методом исследования (атомно-абсорбционный анализ). Сравнительный анализ содержаний ртути в твердой и газовой фазе, как будет показано ниже, имеет существенное значение при геохимических поисках.

Таким образом, концентрирование ртути относительно горных пород в широком классе месторождений полезных ископаемых наряду с другими вышеперечисленными геохимическими особенностями ее свидетельствуют о том, что ртуть является универсальным индикатором при геохимических поисках месторождений. Задача исследователей — как можно быстрее превратить огромные потенциальные возможности ртути в реальные, которые могут быть использованы при геохимических поисках.

Основные положения. Рассмотрим характер литохимических и газовых ореолов рассеяния ртути над рудными месторождениями, находящимися в недрах Земли в различных условиях доступности.

На основании анализа фактических данных на рис. 42 приведена схема формирования первичных ореолов, вторичных остаточных, наложенных литохимических и газовых ореолов

рассеяния ртути сульфидных месторождений, находящихся в открытом, погребенном, слепом (скрытом) и скрыто-погребенном состоянии.

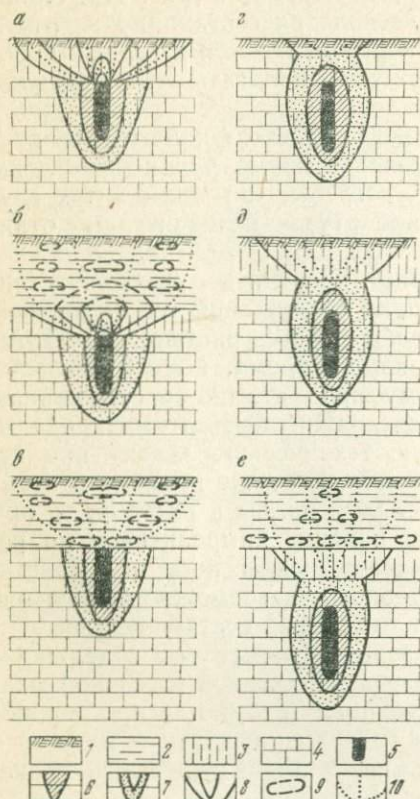


Рис. 42. Схема развития литохимических и газовых ореолов рассеяния ртути над рудными месторождениями: а — открытые остаточные ореолы рассеяния; б — наложенные ореолы рассеяния; в — наложенные ореолы при отсутствии остаточных литохимических ореолов рассеяния; з — первичные ореолы над скрытыми рудными месторождениями при слабом развитии остаточных литохимических ореолов рассеяния; д — остаточные литохимические ореолы рассеяния над скрытыми рудными месторождениями; е — наложенные ореолы над скрыто-погребенными месторождениями. 1 — почва; 2 — аллювиальные отложения; 3 — элювио-делювиаль или древняя кора выветривания; 4 — рудовмещающие горные породы; 5 — рудное тело; 6 — первичные ореолы, ближняя зона; 7 — первичные ореолы, дальняя зона; 8 — вторичные остаточные литохимические ореолы рассеяния; 9 — наложенные литохимические ореолы рассеяния; 10 — вторичные газовые ореолы рассеяния

Открытые месторождения. В процессе гипергенеза во всех активно денудированных районах любых климатических зон месторождения образуют открытые остаточные вторичные ореолы рассеяния, которые развиваются в элювио-делювиальных образованиях, являющихся представительным горизонтом* для проведения геохимических поисков.

При гипергенных процессах вторичные ореолы рассеяния ртути образуются над большинством эндогенных рудных месторождений за счет ртути, сосредоточенной в рудах и первичных ореолах. При этом небольшая часть ртути из руд первичных и вто-

* Горизонт надежного геохимического опоскования с интенсивно развитым ореолом рассеяния. Термин введен А. Н. Еремеевым и А. П. Соловьевым [39].

ричных ореолов рассеяния переходит в газообразное состояние и расходуется на формирование газовых ореолов.

При поисковой литохимической съемке, наряду с ореолами рассеяния основных рудообразующих элементов, необходимо фиксировать вторичные ореолы ртути. Ртуть является надежным элементом-спутником большинства рудных эндогенных месторождений. В некоторых случаях над верхними частями рудных месторождений или рудных зон ртуть образует более интенсивные и широкие ореолы, нежели рудообразующие элементы. Это свойство имеет практическое значение для участков с частым чередованием аллохтонных и элювио-делювиальных отложений*. В этом случае более широкие ореолы ртути увеличат вероятность обнаружения рудных зон. Повышенные концентрации ртути в зонах разломов позволяют рассматривать последние как рудоконтролирующие.

На стадии оценки геохимических аномалий, выявленных литохимической съемкой м-ба 1 : 50 000, необходимо использование методики разделения валовых концентраций на составляющие и изучение паров ртути в почвенном воздухе. Установление аномальных концентраций паров ртути, нескольких составляющих ртути с более широким термоспектром по сравнению с горными породами повышает перспективность исследуемых аномалий.

При детальном литохимическом анализе м-ба 1 : 10 000 целесообразность анализа проб на ртуть решается в каждом конкретном случае и в основном зависит от вида искомого полезного ископаемого. Исследование ртути может быть полезно на стадии оценки аномалий и участков, выявленных детальной литохимической съемкой. В этом случае проводится изучение распределения валовых концентраций, составляющих ртути и паров ртути в зонах аномалий рудообразующих элементов.

Погребенные месторождения. На участках, где вторичные остаточные ореолы рассеяния перекрыты дальнеприносными отложениями, литохимическая съемка с поверхности не решает поисковой задачи. В этом случае проводится глубинная съемка по вторичным ореолам рассеяния. При этом пробы отбираются из древней коры выветривания** с помощью шнековых станков или различного типа задавливателей.

Глубинная металлометрия для поисков погребенных месторождений цветных металлов проводится в м-бе 1 : 100 000 по сети 1000×100 м. Широкое внедрение глубинной металлометрии в практику поисковых работ ограничивается высокой стоимостью поисковых и детализационно-оценочных геохимических исследований.

* Чередование аллохтонных суглинков с элювио-делювиальными отложениями характерно для многих регионов Казахстана и Средней Азии, а чередование аллохтонных песков с элювио-делювием — для районов Южного Казахстана и Средней Азии.

** В этих случаях она играет роль представительного горизонта.

В Казахстане общая площадь, на которой возможно проведение глубинной металлотометрии (мощность чехла до 100 м), составляет 520 тыс. км² [91, 92].

Одним из путей повышения эффективности геохимических методов поисков погребенных месторождений является исследование газовых и наложенных литохимических ореолов рассеяния ртути. Наложённые ореолы могут являться продолжением вторичных остаточных ореолов рассеяния в аллохтонные отложения или представляют собой отдельные разобщённые контуры.

Поиски погребенных месторождений можно осуществлять с поверхности путем измерения паров ртути в почвенном воздухе и выявления наложенных литохимических ореолов рассеяния.

Помимо измерения валовых концентраций, необходимо изучение отдельных составляющих ртути и кинетики их возгонки, по которым можно отделять наложенную составляющую ртути от сингенетической, являющейся фоном и не имеющей отношения к рудным процессам.

Специальными экспериментами был изучен характер возгонки ртути из киновари через толщу аллохтонных суглинков. Для этого мелкоизмельченная киноварь перемешивалась с суглинками и помещалась слоем мощностью 0,5 м в шурф глубиной 1 м. Слой суглинков с киноварью был перекрыт аллохтонными суглинками мощностью 0,5 м. Таким образом было приготовлено четыре шурфа, где концентрация ртути в твердой фазе была равна 1, 0,1, 0,01 и 0,001 %.

В течение полутора лет в шурфах проводились систематические измерения паров ртути в суглинках с киноварью и аллохтонных суглинках. На основании анализа этих данных установлено, что из всего количества ртути, перешедшей из киновари в пары, только 0,05—0,1 % находилось в форме свободных паров в слое с киноварью, 0,01 % — в виде свободных паров в аллохтонных суглинках, 2—10 % паров ушло в атмосферу, а 90—98 % ртутных паров сорбировалось (включая окклюдируемую ртуть) аллохтонными суглинками. Таким образом, наибольшее количество информации о погребенной рудной залежи содержится в наложенных ореолах рассеяния ртути.

Поэтому усовершенствование методики изучения составляющих ртути и кинетики их возгонки позволит получать важную информацию о погребенных месторождениях.

Изучение газовых и наложенных литохимических ореолов рассеяния ртути с применением методики разделения позволит рассчитывать на фиксирование погребенных месторождений путем литохимических съемок с поверхности.

При глубинной поисковой литохимической съемке, учитывая широкие ореолы рассеяния ртути и относительно редкую сеть точек наблюдения, исследование ртути следует считать обязательным.

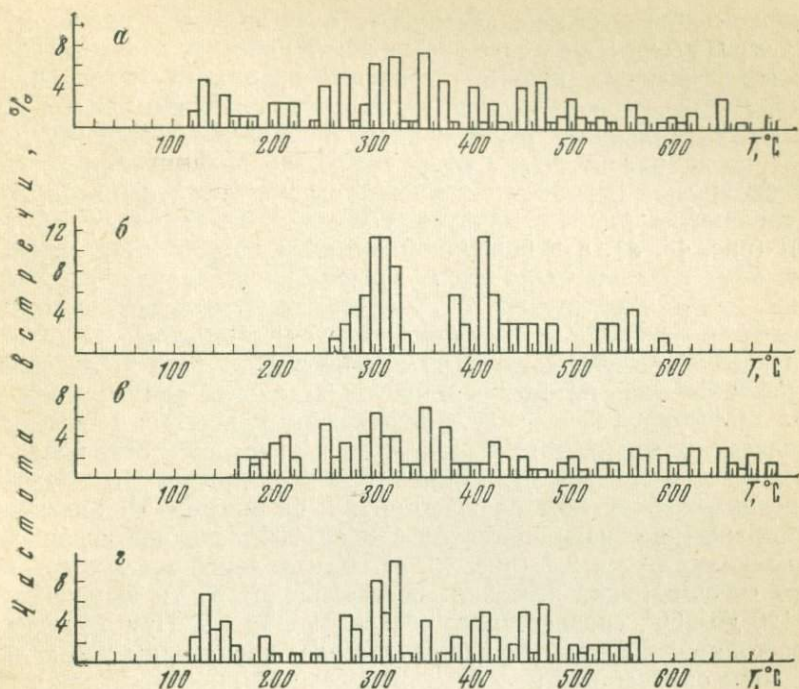


Рис. 43. Термоспектр составляющих ртути в первичных ореолах. Месторождение Шубинское. (n_1 — число проб, n_2 — число составляющих):

а — надрудные ореолы $\frac{n_2}{n_1} = \frac{173}{74} = 2,3$; б — подрудные ореолы $\frac{n_2}{n_1} = \frac{71}{42} = 1,7$;

в — ближняя зона ореолов 0—50 м по горизонтали от рудного тела $\frac{n_2}{n_1} = \frac{147}{65} = 2,3$;

г — дальняя зона ореолов 50—200 м от рудного тела ($\frac{n_2}{n_1} = \frac{123}{64} = 1,9$)

Проведение глубинной литохимической съемки осложняется или становится невозможным на тех участках, где древняя кора совместно с вторичными ореолами рассеяния смыва и аллохтонные отложения залегают непосредственно на коренных рудовмещающих породах. В нашей стране площади, где под аллохтонными отложениями древняя кора отсутствует, составляют 1 млн. км².

В этих случаях вторичные газовые ореолы рассеяния ртути образуются за счет первичных ореолов и рудных тел. Наложенные ореолы рассеяния ртути по валовым концентрациям образуют разрозненные небольшие контуры.

Для поисков погребенных месторождений на таких участках необходимо изучение паров ртути и наложенных литохимических ореолов рассеяния с поверхности. Для оценки геохимических аномалий важное значение имеет выявление закономерностей

распределения ртути на различных геохимических барьерах*.

Скрытые месторождения. Наибольшей интенсивности и эффективной ширины первичные ореолы ртути, как правило, достигают в надрудной части месторождения**. Термоспектр составляющих ртути в надрудной части месторождения шире по диапазону, чем в подрудной. Для полиметаллического месторождения Шубинское температуры максимальной возгонки составляющих ртути в надрудной части изменяются от 120 до 700° (рис. 43, а), а в подрудной — от 260 до 600° (рис. 43, б). При этом среднее число составляющих для надрудной части равно 2,3, а в подрудной 1,7. Легковозгоняемые формы ртути развиты в основном в надрудной части месторождения.

Первичные ореолы ртути по интенсивности и составляющим можно разделить на ореолы ближней и дальней зоны. Ближняя зона характеризуется более интенсивными ореолами, в среднем, большим числом составляющих ртути и некоторым отличием их термического спектра. Для ближней зоны температуры максимальной возгонки составляющих ртути, на примере Шубинского месторождения, изменяются от 170 до 700°, среднее число составляющих ртути 2,3 (рис. 43, в). Для дальней зоны температуры максимальной возгонки составляющих ртути изменяются от 120 до 560°, среднее число составляющих 1,9. При этом легковозгоняемые составляющие ртути более характерны для дальней зоны ореолов ртути.

Наличие указанных дифференциаций в ореолах по валовым концентрациям ртути и составляющим может быть использовано при поисках по первичным ореолам с поверхности.

В тех случаях, когда скрытые месторождения перекрыты элювио-делювием, поиски по первичным ореолам с поверхности невозможны. В этом случае можно проводить поиски по вторичным остаточным ореолам и газовым ореолам рассеяния ртути.

Скрыто-погребенные месторождения. Наиболее трудным случаем для поисков является такой, когда слепые рудные тела совместно с первичными и вторичными ореолами рассеяния погребены под аллохтонными отложениями. В этом случае поиски могут осуществляться по газовым ореолам ртути и в ограниченных случаях по наложенным литохимическим ореолам рассеяния ртути.

Для эффективного применения методики изучения наложенных литохимических ореолов рассеяния ртути необходимо внедрить и усовершенствовать способы разделения валовых концентраций на составляющие.

Создание пешеходного газоанализатора ИМГРЭ-4, методики

* Термин геохимические барьеры и их классификация предложены А. И. Перельманом [81].

** В этом случае первичные ореолы изучаются путем отбора проб коренных пород с поверхности.

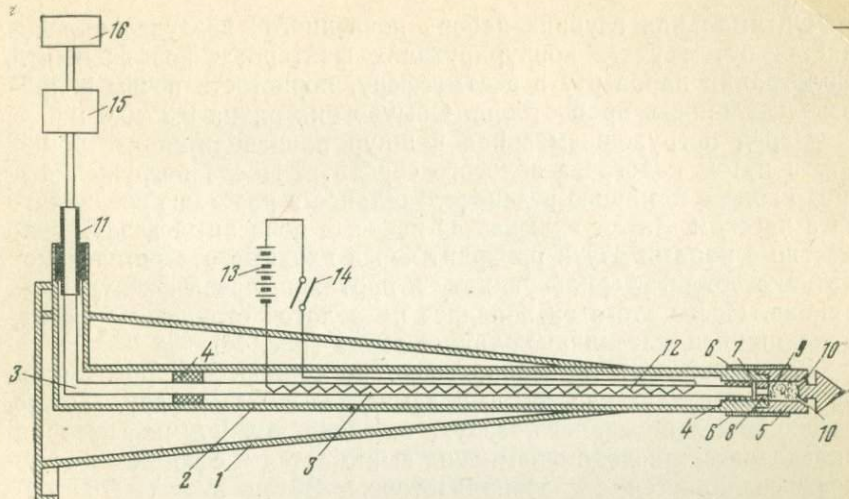


Рис. 44. Зонд с золотым «струнным» сорбентом для измерения паров ртути в почвенном воздухе:

1 — металлический конус; 2 — металлическая труба; 3 — стеклянная трубка; 4 — резиновые уплотнители; 5 — металлический наконечник; 6 — соединительные замки; 7 — противопылевой фильтр; 8 — шайба фильтра; 9 — стерильная вата; 10 — входные отверстия для почвенного воздуха; 11 — штуцер; 12 — сорбент; 13 — батарея «отжига» сорбента; 14 — выключатель; 15 — газоанализатор; 16 — насос

и техники измерений ультрамалых концентраций паров ртути в почвенном воздухе создает реальные предпосылки для внедрения газортутного метода в практику геохимических поисков рудных месторождений.

Методика газортутных наблюдений. Газортутные исследования проводятся путем измерений концентраций свободных паров ртути в почвенном воздухе. Из этого следует, что такие исследования можно проводить лишь в тех местах, где возможно откачивание 1 л почвенного воздуха без существенного подсоса из атмосферы. Противопоказанными для изучения свободных паров ртути являются участки развития коренных пород с грубощебеннистым элювио-делювием или других рыхлых отложений мощностью менее 0,1 м, а также участки развития крупно-обломочных горных пород.

Участки болот являются также противопоказанными для газортутных исследований, так как при откачке засасывается вода, которая пока является непреодолимой помехой при измерениях.

Газортутные наблюдения, как правило, проводятся по профилям с шагом 20, 50, 100 и 200 м. Профили задаются вкрест простирания изучаемого объекта. Расстояния между профилями и пикетами зависят от размеров объекта и намечаемой детальности исследований.

Оптимальная глубина забора почвенного воздуха определяется путем учета конкурирующих факторов: коэффициента фильтрации паров ртути в атмосферу, пористости почвы и производительности пробоотбора. Обычно она равна 0,3—0,6 м.

Перед погружением зонда в шпур производится десорбция ртути путем подогрева золотого сорбента. После погружения в шпур зонд с помощью резинового шланга и разъемов соединяется с насосом. Затем включается насос, и почвенный воздух совместно с парами ртути проходит через входные отверстия наконечника зонда, стерильную вату и противопылевой фильтр Петрянова. После этого он попадает на золотой струнный сорбент, находящийся в стеклянной трубке зонда (рис. 44).

Здесь пары ртути избирательно поглощаются сорбентом, а почвенный воздух насосом выбрасывается в атмосферу. После прокачки 1 л почвенного воздуха со скоростью 1 л/мин, которая определяется расходомером, зонд вынимается и с помощью штуцера соединяется с газоанализатором. Затем включаются батарея «отжига» сорбента и насос, после чего производится десорбция ртути и ее измерение прибором.

На каждой точке наблюдения осуществляется двукратное измерение паров ртути в двух бурках. Если измеренные концентрации отличаются друг от друга не более чем в 2 раза, то наблюдения принимаются как доброкачественные. В случае больших расхождений результатов первичного и повторного измерения производится третье измерение.

Результаты испытаний газоанализаторов показали, что, как правило, расхождение в результатах первичного и вторичного измерения не превышает двукратной величины. С целью исключения влияния первого измерения на второе из-за подсоса паров ртути второй шпур находится на расстоянии 0,6—1 м от первого.

При переходе от точки с высоким содержанием паров ртути к точке с низким содержанием (при разнице на порядок) необходима смена противопылевого фильтра. На результаты измерений в точке с низким содержанием паров ртути может оказать влияние ртуть, сорбированная противопылевым фильтром на точке с высоким содержанием.

Газоанализатором ИМГРЭ-4 можно измерять пары ртути в почвенном воздухе с чувствительностью $0,4 \cdot 10^{-8}$ — $0,8 \cdot 10^{-8}$ мг/л при средней относительной ошибке измерений ± 15 — 40% . Точность измерений зависит от характера поверхностных рыхлых отложений, из которых отсасывается почвенный воздух. При однородной пористости рыхлых отложений точность наблюдений увеличивается.

Существенное повышение точности и чувствительности измерений ультрамалых содержаний паров ртути в почвенном воздухе достигнуто за счет уменьшения коммуникаций измерительной установки, что существенно снизило сорбцию ртути при

прокачке воздуха [147]. Время одного измерения составляет 3—4 мин. При работе на равнинных участках бригада состоит из двух человек, а на труднопроходимых участках — из трех.

Газортутные поиски сульфидных месторождений. Газортутные методы применимы при сочетании следующих основных геолого-геохимических факторов:

1. Искомые месторождения должны быть источниками паров ртути.

2. Наличие тектонических трещин и ослабленных зон, по которым пары ртути могут фильтроваться от месторождения к поверхности Земли.

3. Наличие перекрывающих рыхлых отложений, играющих роль накопителей и хранителей ртутных эманаций, идущих от рудных зон.

Выше говорилось, что все сульфидные месторождения (ртутные и нертутные) содержат повышенные концентрации ртути относительно вмещающих горных пород, т. е. являются источниками паров ртути для формирования газовых ореолов рассеяния в почвенном воздухе. Если из рудного тела и первичных ореолов в перекрывающие рыхлые отложения перейдет 0,1 г ртути и равномерно распространится в виде свободных паров в объеме 1 млн. м³, то концентрация паров ртути будет составлять $30 \cdot 10^{-8}$ мг/л, что в 15—30 раз выше фона и легко измеримо газоанализатором ИМГРЭ-4.

Подсчеты показывают, что при гипергенезе 1 т нертутной сульфидной руды способна образовать 1—3 г самородной ртути, а 1 т первичных ореолов 0,3—0,7 г. Тектонические трещины и ослабленные зоны всегда существуют на месторождениях и являются надежными каналами для фильтрации паров ртути к поверхности Земли. Пары ртути способны мигрировать даже через сланцы по микротрещинам, которые не фиксируются при самых детальных геологических исследованиях.

Наиболее благоприятными условиями для газортутных исследований являются такие, при которых рыхлые отложения мощностью более 1 м представлены почвами, развитыми на суглинках и глинах. В силу большой пористости и легкой доступности почвенный слой на глубине 30—60 см является представительным горизонтом при газортутных поисках.

Как показывает опыт, источниками газортутных аномалий (ореолов) являются сульфиды (зоны минерализации, рудопроявления, рудные тела и месторождения) и зоны глубинных разломов. Аномалии первых источников отличаются от вторых большей локальностью.

Содержания ртути в почвенном воздухе вне пределов рудных месторождений, зон глубинных разломов и участков загрязнения (контаминации) изменяются в узких пределах, что обусловлено значительными вариациями средних содержаний ртути в горных породах и почвах. Однородный фон в содержаниях па-

ров ртути в почвенном воздухе позволяет однозначно выделять аномалии небольшой интенсивности.

Любая локальная реально существующая газортутная аномалия соответствует скоплению сульфидов, которые могут находиться в недрах Земли в открытом, погребенном, слепом и скрыто-погребенном залегании. Опыт работ показывает, что любые горные породы, не несущие сульфидов, не могут создать аномальных концентраций паров ртути в почвенном воздухе. Между интенсивностью газортутной аномалии и количеством сульфидов пока не найдено зависимости. Интенсивность аномалии зависит от массы рудных тел, дисперсии концентрации ртути в сульфидах и характера ее возгонки из них, а также тектонических трещин и перекрывающих рыхлых отложений. При прочих равных условиях продуктивность газортутного ореола в почвенном воздухе зависит от массы сульфидов. Глубинные источники создают протяженные и мало контрастные аномалии по сравнению с неглубокими объектами. Вертикальные жилы создают более локальные и контрастные аномалии по сравнению с горизонтальными рудными залежами.

Сопоставление содержаний ртути в твердой (рыхлые отложения) и газовой фазе позволяет в некоторых случаях получить более однозначные выводы. Пространственное совпадение аномалий в твердой (остаточные литохимические ореолы рассеяния) и газовой фазе позволяет утверждать о наличии зоны минерализации, рудопроявления, рудного тела и месторождения в открытом залегании.

Первичные ореолы ртути наиболее интенсивны в надрудных блоках сульфидных месторождений, где их продуктивность в 3—8 раз выше, чем в околорудных. Отсюда следует ожидать над слепыми залежами и выходами рудных месторождений, имеющих малый эрозионный срез, более интенсивные газовые ореолы рассеяния ртути по сравнению с корневыми останцами рудных месторождений.

Серьезным источником для формирования газовых ореолов рассеяния в почвенном воздухе являются вторичные литохимические ореолы рассеяния в древней коре выветривания, которые в процессе своего образования «запаслись» легковозгоняемой (сорбированной) ртутью при выветривании первичных ореолов надрудной толщи, а также за счет длительного притока паров ртути из рудных тел и нижележащего околорудного пространства.

Если газовая аномалия фиксируется, а аномалия в твердой (рыхлые отложения) фазе отсутствует, то это может свидетельствовать о том, что сульфиды находятся в погребенном и скрыто-погребенном залегании.

Для образования динамически устойчивых газовых ореолов рассеяния ртути необходима суммарная (критическая) масса сульфидов, находящихся в рудном теле. Масса сульфидов ниже

минимальной (критической), не способна образовывать газовые ореолы рассеяния в почвенном воздухе. Следовательно, смещенные вниз по склону вторичные ореолы и потоки рассеяния, ложные аномалии, образовавшиеся за счет деятельности человека, не могут в большинстве случаев создать аномальные концентрации паров ртути, так как масса этих источников лишь компенсирует уход паров ртути в атмосферу и окружающие рыхлые отложения и не способствует накоплению и формированию газовых ореолов рассеяния ртути.

Отсюда, практика работ получает важный способ оценки вторичных аномалий ртути и других элементов по газовым ореолам рассеяния ртути. Газортутный метод необходимо применять в комплексе с геохимическими, геологическими и геофизическими исследованиями.

В районах, где преимущественно развиты открытые остаточные ореолы рассеяния, газортутная съемка может применяться на отдельных перспективных участках и для оценки геофизических и геохимических аномалий. Особенно эффективной может быть газортутная съемка на участках чередования аллохтонных и элювио-делювиальных отложений и вероятного нахождения слепых рудных залежей.

Оценка геофизических и геохимических аномалий производится путем газортутных исследований по отдельным профилям, сеть наблюдений по которым зависит от размеров аномалий и типа оруденения.

Газортутные наблюдения имеют следующие важные особенности при поисках в открытых районах:

1. Получение окончательных результатов на точке наблюдения, что важно для труднодоступных районов.
2. Газортутные аномалии, как правило, вызываются более значительными массами сульфидов по сравнению с литохимическими аномалиями.

3. Газовые ореолы рассеяния, как правило, не смещаются вниз по склону и их максимумы совпадают с выходами рудных тел.

4. Возможность фиксирования полупогребенных и слепых рудных залежей.

Существенный недостаток газортутного метода — это моноэлементность.

На ртутном проявлении Рузиобнак, расположенном на южных склонах Туркестанского хребта, проведена газортутная съемка по сети 50×10 м. Рельеф участка расчлененный, максимальные превышения 200—400 м, мощность элювио-делювиальных и пролювиальных отложений 0,5—3 м. Газортутная съемка позволила оперативно и оптимально задавать горные выработки для вскрытия узколокальных ртутоносных зон в пределах монотонной толщи песчаников и алевролитов нижнего силура. Газортутные исследования позволили выявить простирание и уста-

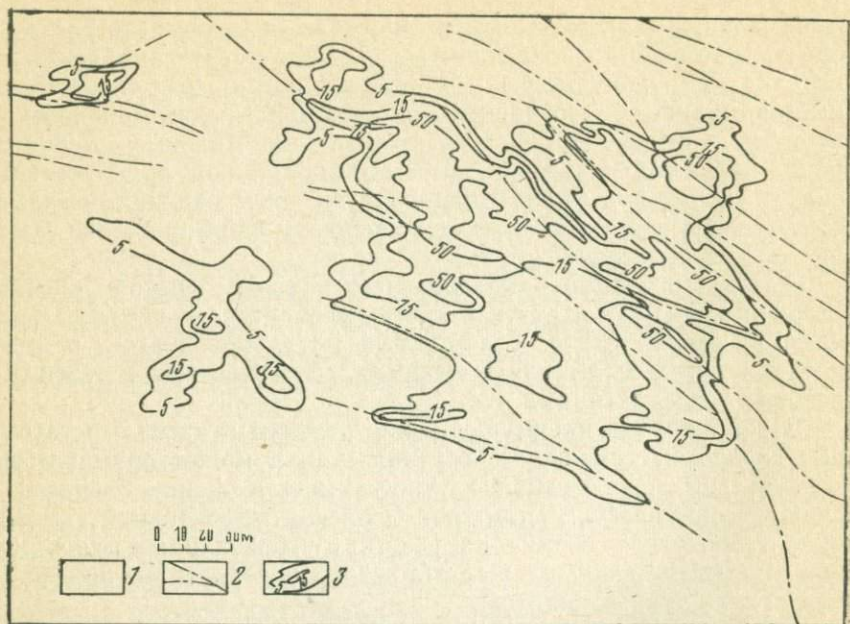


Рис. 45. Изоконцентрации паров ртути в почвенном воздухе (по Н. Б. Естехину и П. А. Крайнюкову):

1 — алевролиты и сланцы нижнего силура; 2 — тектонические нарушения; 3 — изоконцентрации паров ртути в 10^{-8} мг/л

новить прерывистый характер ртутоносной зоны (рис. 45). На участке Танриохишинском (Азербайджан), расположенном на крутом склоне в пределах развития делювиально-пролювиальных отложений, были выявлены отдельные зерна киновари в шлихах. С целью локализации ртутного оруденения была проведена газортутная съемка по сети 100×20 м, которая позволила более оптимально расположить горные выработки (рис. 46). В открытых районах газортутные исследования могут выполняться в масштабе $1 : 50\,000$ — $1 : 25\,000$ по сети 500 — 250×50 — 25 м. Выявленные аномалии детализируются по системе отдельных профилей газортутными съемками масштаба $1 : 10\,000$ — $1 : 5\,000$ по сети 100 — 50×20 — 10 м.

Формирование газортутных ореолов рассеяния в почвенном воздухе над погребенными, слепыми и скрытопогребенными месторождениями позволяет рассчитывать на высокую эффективность газортутного метода при поисках сульфидных месторождений, не выходящих на дневную поверхность. Таким образом, главной задачей газортутного метода являются поиски сульфидных месторождений в закрытых районах.

В закрытых регионах (Зауралье, Казахстан, Украина и др.), где мощность аллохтонных отложений изменяется от 10 до 200 м,

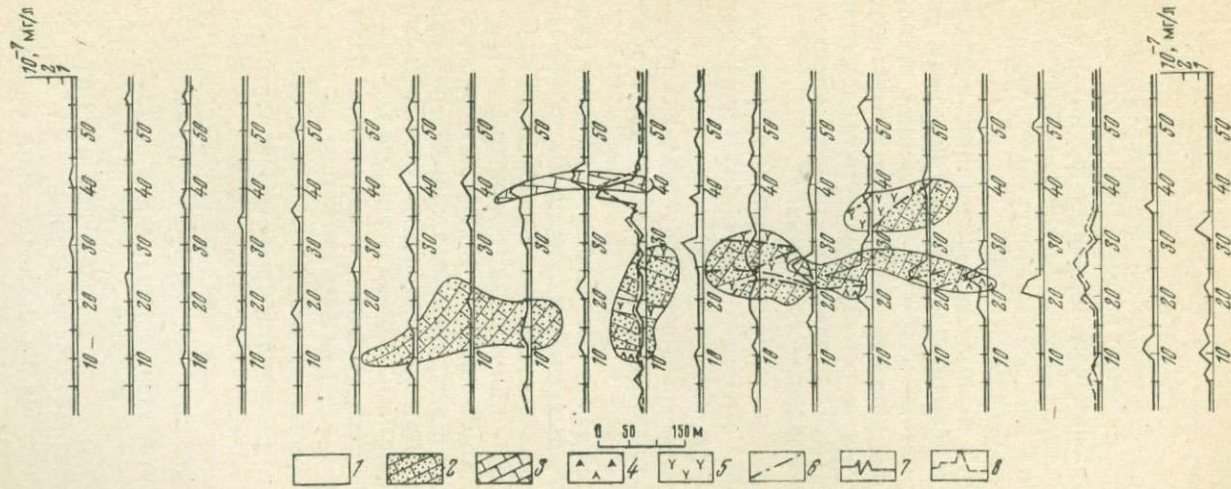


Рис. 46. Графики газорутной съемки. Участок Танриокхишинский:

1 — элювио-делювиальные и аллохтонные отложения; 2 — известняки, аргиллиты и песчаники мела; 3 — известняки мела; 4 — серпентиниты; 5 — андезиты; 6 — тектонические нарушения; 7 — графики содержаний паров ртути, 8 — контрольные графики

целесообразно проводить рекогносцировочные газортутные съемки в масштабе 1 : 500 000—1 : 200 000 по сети 5—2×0,5—0,2 км с целью уточнения и выявления зон глубинных и региональных разломов, к некоторым из которых могут быть приурочены региональные рудоносные зоны. На участках выявленных ртутных аномалий проводятся площадные газортутные съемки в масштабе 1 : 100 000—1 : 50 000 по сети 1—0,5×0,1—0,05 км с целью выявления рудоносных зон и рудных полей. В некоторых случаях в зависимости от характера аномалий и геологических условий необходимо проводить газортутные исследования в масштабе 1 : 25 000 по сети 250×50(25) м.

На выявленных газортутных аномалиях, после их детализации, проводится глубинная металлотрия, если имеется древняя кора выветривания. Изучение первичных ореолов по керну колонковых скважин проводится в зонах, где получены положительные результаты по глубинной металлотрии. Положительные результаты по первичным ореолам являются основанием для проведения поискового бурения.

Если на участке выявленных газортутных аномалий древняя кора выветривания отсутствует, то проводится колонковое бурение для изучения первичных ореолов.

На отдельных перспективных участках газортутные исследования могут выполняться, начиная с масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000.

В 1970 г. в пределах Вышковского рудного поля в долине Тисы, перекрытой рыхлыми отложениями до 100 м, была выявлена газортутная аномалия по профилю Фенеш—Велятино (рис. 47). Газовая аномалия не сопровождается аномалиями ртути в рыхлых отложениях. В 1972 г. в зоне аномалии Закарпатской ГРЭ была пробурена скважина, которая прошла 20 м по галечниковым и песчано-глинистым отложениям. Скважина вскрыла зону разлома и подсекла в интервале 20—90 м первичные ореолы ртути (максимальное содержание 0,001%), а в интервале 156—192 м галенит-сфалеритовую минерализацию (максимальное содержание свинца 0,18%, цинка 0,86%).

Аномальные концентрации паров ртути формировались в почвенном воздухе аллохтонных отложений в течение длительного геологического времени за счет интенсивных первичных ореолов ртути и непромышленной свинцово-цинковой минерализации.

Аномалия ртути, зафиксированная в рыхлых отложениях, не сопровождается аномальными содержаниями ее паров в почвенном воздухе и обусловлена разбросом рудного материала на этом участке при строительстве дороги.

Как показывает анализ распределения содержаний ртути в несulfидных рудах, газортутные методы могут применяться для поисков железорудных, флюоритовых и других месторождений.

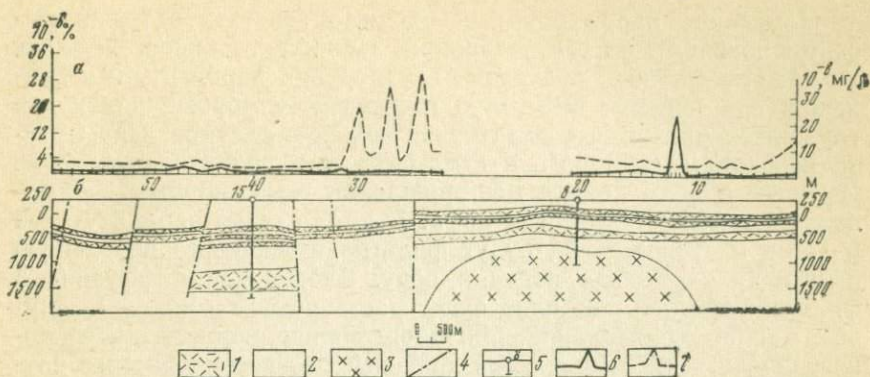


Рис. 47. Графики концентраций ртути (а) по профилю Фенеш—Велятино (б): 1 — липарито-дацитовые туфы нижнего неогена; 2 — переслаивание алевролитов, аргиллитов и песчаников нижнего и верхнего неогена; 3 — кварцевые диорит-порфиры нижнего и верхнего неогена; 4 — тектонические нарушения; 5 — скважины; 6 — концентрация паров ртути в почвенном воздухе в 10^{-8} мг/л, 7 — концентрация паров ртути в рыхлых отложениях

Некоторые соображения по использованию ртути при поисках месторождений нефти, газа и угля. Как было уже сказано, повышенные концентрации ртути в углях, нефтях и газах по сравнению с вмещающими породами характерны для многих месторождений горючих ископаемых.

Так, например, средние концентрации ртути для некоторых угольных месторождений в 2—10 раз выше содержания во вмещающих породах. Средние концентрации ртути в нефтях, взятых из разных месторождений СССР, в 3—15 раз выше средних концентраций ртути в осадочных породах. Средние содержания паров ртути в углеводородных газах нефтяных и газовых месторождений изменяются от $5 \cdot 10^{-7}$ до $4 \cdot 10^{-4}$ мг/л, что на два — четыре порядка выше фоновых содержаний в почвенном воздухе. Пары ртути установлены в дегазированном воздухе, откачанном из горных пород продуктивных и перекрывающих горизонтов нефтяных и газовых месторождений. При этом содержание паров ртути как по глубоким скважинам, так и с поверхности над газонефтяными залежами в 5—40 раз выше фоновых содержаний. Полученные результаты позволяют утверждать наличие ртутной атмосферы во вмещающих породах вокруг некоторых газовых, нефтяных и угольных месторождений, связанной генетически с указанными месторождениями. На угольных месторождениях в процессе окисления угля и его возгорания могут образовываться наложенные литохимические и газовые ореолы ртути в перекрывающих отложениях. Приведенные данные позволяют считать возможным использование ртути при геохимических поисках месторождений нефти, газа и угля [137].

Измерение паров ртути необходимо сочетать с геохимическими поисками по углеводородам. Наиболее важное значение, по нашему мнению, будут иметь измерения паров ртути в движении при поисках газовых и нефтяных месторождений и зон глубинных разломов в акваториях морей и океанов. Пары ртути необходимо измерять в атмосфере над поверхностью воды. Имеются в виду поиски месторождений, залегающих на малых глубинах в области шельфа. В этом случае пары ртути из пластов месторождений будут фильтроваться через небольшую покрывку осадочных пород в воду. Благодаря диффузии и фильтрации ртуть частично будет растворяться в воде. По данным наших исследований, при пропускании паров ртути с концентрацией $n \cdot 10^{-6}$ мг/л через 20%-ный раствор хлористого натрия поглощается 49—72% ртути, а через слой водопродонной воды 42—60% [136]. При испарении воды растворенная ртуть будет также переходить в атмосферу. Благодаря постоянному потоку ртути из газонефтяных пластов могут образоваться динамически устойчивые водные и газовые ореолы рассеяния.

Летом в приземной атмосфере нефтяных и газовых месторождений, приуроченных к болотам, возможно формирование газовых ореолов за счет испарения вод, обогащенных ртутью, мигрирующей из нефтеносных и газовых залежей к поверхности Земли.

Необходимо провести исследования по выявлению наложенных ореолов рассеяния ртути в морских осадках, которые могут формироваться за счет фильтрации и диффузии ртути из рудных, нефтяных и газовых месторождений.

Следует обратить внимание на изучение паров ртути над выявленными структурами с целью их классификации на перспективные и неперспективные (в смысле нефтегазоносности) как на суше, так и в пределах морского шельфа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ртуть концентрируется в рудах всех генетических типов эндогенных месторождений не только сульфидных, но и других типов (окисные, силикатные и галоидные). Высокая летучесть обусловливает эффективную проникающую способность ртути через горные породы и образование широких и протяженных первичных ореолов сульфидных месторождений, интенсивность которых наиболее значительна в надрудных блоках. За счет рудных тел и первичных ореолов сульфидных месторождений формируются вторичные остаточные ореолы рассеяния. В процессе гипергенеза ртуть из рудных тел первичных ореолов частично переходит из любых соединений в самородную ртуть, которая, возгоняясь, образует в древней коре выветривания, элювио-делювиальных и аллохтонных отложениях, перекрывающих месторождения, газовые и наложенные литохимические ореолы рассеяния.

Однородность распределения ртути в горных породах является причиной относительно малых флуктуаций фона. Содержание ртути в почвенном воздухе вне пределов рудных месторождений, зон глубинных разломов и участков загрязнения (контаминации) изменяется в незначительных интервалах $1-2 \cdot 10^{-8}$ мг/л для разных регионов СССР, что вызвано однородным распределением ртути в горных породах.

В отличие от горных пород, в рудах и ореолах эндогенных месторождений вместо одной составляющей, как правило, фиксируется 2—5 составляющих ртути, термический спектр которых изменяется в более широком интервале температур относительно горных пород.

Благодаря созданию атомно-абсорбционных приборов появилась возможность проводить изучение распределения ртути в горных породах, рудах, нефтях, почвах, литохимических и газовых ореолах в больших объемах и на новом техническом уровне.

Особенно важным является создание пешеходного газоанализатора ИМГРЭ-4 и разработка основных принципов методики и техники измерений ультрамалых содержаний паров ртути в почвенном воздухе, что знаменует собой вооружение геохимических исследований новым методом — методом газортутной съемки.

Прямыми измерениями установлены четкие газортутные ореолы рассеяния в почвенном воздухе над погребенными, слепыми и скрыто-погребенными сульфидными месторождениями, что сви-

детельствует о больших возможностях газортутного метода для повышения эффективности поисков рудных месторождений, не выходящих на дневную поверхность.

Создание атомно-абсорбционного фотометра и методики разделения валовых концентраций на отдельные составляющие, соответствующие определенным формам нахождения ртути в горных породах, рудах и ореолах, уже в недалеком будущем способно повысить эффективность поисков рудных месторождений по наложенным ореолам рассеяния.

Концентрация паров ртути в нефтяных и газовых месторождениях в 30—10 000 раз больше, чем фоновые концентрации ртути в почвенном воздухе, что обуславливает необходимость исследований наложенных литохимических и газовых ореолов рассеяния ртути над нефтяными и газовыми месторождениями, с целью последующего использования их при геохимических поисках этих полезных ископаемых в пределах суши шельфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдиньян Н. Х., Озерова Н. А., Гипп С. Н. К вопросу о распределении ртути в современных осадках. — Тр. ИГЕМ, 1963, вып. 99, с. 5—11.
2. Айдиньян Н. Х., Троицкий А. И., Белавская Г. А. Распределение ртути в различных почвах СССР и Вьетнама. — «Геохимия», 1964, № 7, с. 654—659.
3. Алиев А. Г., Алиева Г. А., Осика Д. Г. Характер распределения иода, брома и бора в горных растворах и пластовых водах нефтяных месторождений Северного Дагестана. — «Геохимия», 1966, № 12, с. 1497—1501.
4. Бабкин П. В. Генезис и закономерности размещения ртутно-рудных формаций в Северо-Восточной рудной провинции. — В кн.: «Вопросы металлогении ртути». М., 1968, с. 199—208.
5. Барсуков В. Л., Волосов А. Г. Новые пути в разработке геохимических методов прогноза оруденения на глубину (на примере оловорудных месторождений). — «Геология рудных месторождений», 1968, № 6, с. 3—9.
6. Барсуков В. Л. Основные черты геохимии олова. М., «Наука», 1974, 149 с.
7. Баттан Л. Дж. Загрязненное небо. М., «Мир», 1967, 122 с.
8. Берч Фр., Шерер Дж. и Спайсер Г. Справочник для геологов по физическим константам. М., Изд-во иностр. лит., 1949, 304 с.
9. Большаков А. П., Птушко Л. И. Некоторые особенности вторичных ореолов рассеяния на Никитовском ртутном месторождении. — В кн.: «Литохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния». Алма-Ата, 1968, с. 203—204.
10. Большаков А. П., Пивоваров С. В. Элементы-примеси на Никитовском ртутном месторождении и некоторые особенности ореолов рассеяния. — «Докл. АН УССР», 1970, № 10, с. 403—406.
11. Брэдшоу П. М., Коксой М. Первичная дисперсия ртути на месторождениях киновари и стибнита в Западной Турции. — Геология и геохимия рудных месторождений. — В кн.: Труды XXIII Международн. геол. конгресса, М., 1971, с. 32—44.
12. Быковская Л. П. О формах нахождения ртути в первичных ореолах рассеяния. — В кн.: «Вопросы минералогии, геохимии и технологии минерального сырья». Ташкент, 1966, с. 57—64.
13. Вернадский В. И. Избр. соч. т. I, М., 1954, 696 с.
14. Вернадский В. И. Избр. соч. т. II, М., 1955, 615 с.
15. Вернадский В. И. Избр. соч. т. III, М., 1959, 508 с.
16. Вернадский В. И. Избр. соч. т. IV, кн. 2, М., 1960, 624 с.
17. Вершковская О. В. Первичные ореолы рассеяния ртути как поисковый признак ртутно-сурьмяных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1956, № 4, с. 19—24.

18. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., Изд-во АН СССР, 1957, 237 с.

19. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — «Геохимия», 1962, № 7, с. 555—571.

20. Влияние геолого-тектонических факторов на содержание газов в подземных водах Ташкентского артезианского бассейна. — В кн.: Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. Ташкент, 1971, с. 198—200. Авт.: Горбушинский Л. В., Грацинский В. Г., Тыминский В. Г., Спиридонов А. И., Сурганова Н. А.

21. Гавзе М. Н. Взаимодействие ртути с металлами и сплавами. М., «Наука», 1966, 158 с.

22. Генезис эндогенных рудных месторождений. М., «Недра», 1968, 719 с. Авт.: Смирнов В. И., Годлевский М. Н., Никитин В. Д., Гинзбург А. И. и др.

23. Генкин Ю. Б. Некоторые особенности ртутной металлогении Восточного Казахстана. — Тр. Ин-та геол. наук АН Каз. ССР, 1970, т. 29, с. 135—142.

24. Гинзбург И. И., Писемский Г. В. Ртуть в зоне окисления и кроющих породах некоторых Южноуральских колчеданных месторождений. — Тр. НИГРИЗолото, 1952, вып. 19, с. 27—38.

25. Гиршфельдер Дж., Кертисс Ч. и Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М., Изд-во иностр. лит., 1961, 929 с.

26. Глазовская М. А. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых. М., Изд-во МГУ, 1961, 176 с.

27. Глебовская В. С., Глебовский С. С. О возможности применения газовой съемки для поисков сульфидных месторождений. — В кн.: «Вопросы рудной геофиз.», 1960, вып. I, с. 48—56.

28. Годлевский М. Н. Магматические месторождения. — В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М., «Недра», 1968, с. 7—81.

29. Гольдшмидт В. М. Принципы распределения химических элементов в минералах и горных породах. — В кн.: Сб. статей по геохимии редких элементов. М.—Л., 1938, 241 с.

30. Горбунов Н. И., Цюрупа И. Г., Шурьгина Е. А. Рентгенограммы, термограммы и кривые обезвоживания минералов, встречающихся в почвах и глинах. М., Изд-во АН СССР, 1952, 187 с.

31. Гребер Г., Эрк С., Григуль У. Основы учения о теплообмене. М., Изд-во иностр. лит., 1958, 248 с.

32. Дворников А. Г. Некоторые особенности ртутоносности углей Восточного Донбасса (Ростовская обл.). — «Докл. АН СССР», 1967, т. 172, № 1, с. 199—200.

33. Григорян С. В., Янишевский Е. М., Аманов К. Об использовании эндогенных ореолов при поисках ртутного оруденения. — «Разведка и охрана недр», 1966, № 11, с. 10—16.

34. Дворников А. Г. Ореолы рассеяния ртути в известняках полиметаллического месторождения балки Грузской (Нагольный краж). — «Геохимия», 1962, № 5, с. 464—470.

35. Де Бур Я. Динамический характер адсорбции. М., Изд-во иностр. лит., 1962, с. 290.
36. Детторр Дж., Кнорр Т., Холл Е. Процессы испарения. — В кн.: Осаждение из газовой фазы, М., 1970, с. 58—95.
37. Дубов Р. И., Тонкопий М. С., Фурсов В. З. Использование дисперсионного анализа для выбора оптимальной массы геохимических проб (на примере гранитоидных массивов Центрального Казахстана). — «Изв. АН КазССР, серия геологич.», 1971, № 6, с. 86—89.
38. Дубов Р. И. Количественные исследования геохимических полей для поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1974, с. 275.
39. Еремеев А. Н., Соловов А. П. Глубинные поиски погребенных месторождений. — В кн.: Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения. М., 1963, с. 61—84.
40. Еремеев А. Н., Ершов А. Д., Яницкий И. Н. Некоторые аспекты гелиевой съемки при структурно-геологическом картировании и прогнозе эндогенного оруденения. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, вып. 5, с. 49—66.
41. Ипатов В. А., Пахомов Л. П. Фотоэлектрический прибор для определения концентрации паров ртути в воздухе. — «Приборы и техника эксперимента», 1958, № 2, с. 91—95.
42. Исаев Д. В. Автоматический контроль концентрации паров ртути в атмосфере цехов и в отходящих газах. — В кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 280—285.
43. Калверт Дж., Питтс Дж. Фотохимия, М., «Мир», 1968, 671 с.
44. Карасик М. А., Большаков А. П. Пары ртути на Никитовском рудном поле. — «Докл. АН СССР», 1965, т. 161, № 5, с. 1201—1204.
45. Карасик М. А., Герасимова Л. И., Порошин Э. С. К теоретическим основам газортутного метода поисков рудных месторождений. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, Вып. 5, с. 5—30.
46. Касымов Х. К., Воробьев Е. Л., Закиров Д. М. Попытка прогнозирования момента возникновения повторных толчков Ташкентского землетрясения по наблюдениям за вариацией радона. — В кн.: Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. Ташкент, 1971, 192—198.
47. К вопросу о летучести ртути и ее соединений. — «Геохимия», 1969, № 9, с. 1148—1153. Авт.: Айдиньян Н. Х., Озерова Н. А., Волкова А. В., Шикина Н. Д.
48. Китаев Н. А., Нарышев А. М., Поликарпочкин В. В. Первичные ореолы рассеяния ртути в Балейском золоторудном поле. — В кн.: Вопросы металлогении ртути. М., «Наука», 1968, с. 228—232.
49. Ковалевский А. Л. О потерях ртути при хранении и истирании металлотрических проб. — «Разведка и охрана недр». 1970, № 9, с. 21—23.
50. Кормилицын В. С. Основные черты мезозойской металлогении Восточного Забайкалья. — «Советская геология», № 11, 1959, с. 30—41.
51. Кравцов А. И., Фридман А. И., Плотников И. А. О применении газовой съемки в качестве одного из геохимических методов при поисках рудных месторождений и решение отдельных геологических задач. —

«Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, вып. 5, с. 66—85.

52. Краткий справочник по геохимии. М., «Недра», 1970, с. 278. Авт.: Войткевич Г. В., Мирошников А. Е., Поваренных А. С., Прохоров В. Г.

53. Крестовников А. П., Шейнфинкель И. Г. Аргонный детектор для определения ртути в газах. — «Газовая хроматография». М., 1964, вып. 2, с. 53—58.

54. Кроуэлл А. Силы взаимодействия между молекулами газа и поверхностью твердого тела. — В кн.: Межфазовая граница, газ — твердое тело. М., «Мир», 1970, с. 150—171.

55. Кузнецов В. А. Основные проблемы металлогении ртути. — В кн.: Вопросы металлогении ртути. М., «Наука», 1968, с. 7—40.

56. Кузнецов Ю. Н., Чабовский Л. П. Автоматизированный метод экспрессного определения ртути в порошковых пробах. — «Заводская лаборатория», 1965, № 9, т. XXXI, с. 1085—1088.

57. Куликова Н. Н. Опыт проведения газокерновой съемки с целью обнаружения золоторудных месторождений Балейского типа. — «Бюллетень научн.-технической информации ВИМС», 1961, № 5, с. 11—14.

58. Кутыев Ф. Ш., Эрлих Э. Н. Самородная ртуть в вулканических стеклах кальдеры Хангар (Камчатка). — «Докл. АН СССР», 1970, т. 193, № 4, с. 916—918.

59. К характеристике газов, содержащихся в рудах некоторых месторождений Урала. — Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений. 1971, вып. 5, с. 100—117. Авт.: Овчинников Л. Н., Шур А. С., Сунгурова З. Н., Быкова М. И.

60. Лебедев В. И. Основы энергетического анализа геохимических процессов. Л., Изд-во ЛГУ, 1957, 342 с.

61. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. М., Изд-во АН СССР, 1952, 538 с.

62. Лейе Ю. А., Оганесян Л. В. Ртуть в породах зон разломов Кафанского рудного поля. — «Изв. АН АрмССР», 1968, № 4, с. 13—15.

63. Лейе Ю. А., Авгитов А. К. Распределение ртути в породах Беганьского рудного поля и ее эндогенные ореолы рассеяния. — «Изв. вузов, Геология и разведка», 1969, № 4, с. 88—92.

64. Лукьянов С. И., Фурсов В. З. и Цепеман М. Н. Картирование разломов по данным геохимических исследований. — В кн.: «Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г.». Ташкент, 1971, с. 213—215.

65. Мейсон Б. Основы геохимии. М., «Недра», 1971, с. 310.

66. Мелвин-Хьюз Э. А. Физическая химия. М., Изд-во иностр. лит., 1962, с. 1148.

67. Никифоров Н. А. и Федорчук В. П. К методике изучения и использования рудных индикаторов при поисках рудных залежей закрытого типа. — «Труды Среднеаз. политехн. ин-та», нов. серия, 1959, вып. 6, с. 178—190.

68. Оганесян Л. В., Комов И. Л. Ореолы рассеяния ртути как индикатор при поисках гидротермальных хрусталеносных жил. — «Докл. АН СССР», 1971, т. 201, № 1, с. 204—207.

69. Озерова Н. А. О применении первичных ореолов рассеяния ртути

для поисков свинцово-цинковых месторождений. — «Геохимия», 1959, № 7, с. 638—645.

70. Озерова Н. А. О повышенных содержаниях ртути в зонах разломов некоторых сульфидных месторождений. — «Геология рудных месторождений», 1960, № 3, с. 88—95.

71. Озерова Н. А., Сауков А. А. Ртуть как индикатор при поисках рудных месторождений. — В кн.: Геологические результаты прикладной геохимии и геофизики. Международный геологич. конгресс. XXI сессия, М., 1960, с. 47—54.

72. Озерова Н. А. Первичные ореолы рассеяния ртути. — Труды ИГЕМ, 1962, вып. 72, 128 с.

73. Озерова Н. А., Айдиньян Н. Х. Распределение ртути в осадочных породах. — «Литология и полезные ископаемые», 1966, № 3, с. 49—57.

74. Опыт применения атомно-абсорбционного фотометра для геохимических поисков ртутных месторождений. — В кн.: Геофизические исследования в Казахстане. Алма-Ата, Изд-во «Казахстан», 1968, с. 305—312. Авт.: Фурсов В. З., Бикмеев Р. С., Бобров Н. И., Степанов И. И., Чербянов Б. Е.

75. О распределении ртути в ископаемых углях Центрального и Донецко-Макеевского районов Донбасса. — «Геологический ж.», 1962, № 2, с. 17—26. Авт.: Карасик М. А., Василевская А. Е., Петров В. Я., Ратехин С. А.

76. О ртути в нефтяных и газовых месторождениях СССР. — «Геология рудных месторождений». 1974, т. XVI, № 4, с. 85—92. Авт.: Озерова Н. А., Пиковский Ю. И., Жикина Н. Д., Груздева М. А., Федин А. Д.

77. Оценка погрешностей различных методов вещественного анализа геохимических проб. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 7, с. 21—25. Авт.: Дубов Р. И., Рабинович И. М., Тонкопий М. С., Фурсов В. З.

78. Париков Ю. С., Егоров Г. С. К методике геохимических поисков ртутных месторождений в Кузнецкой ртутно-рудной зоне. — «Геохимия», 1968, № 10, с. 1225—1237.

79. Первичные ореолы рассеяния месторождения Западные Текели в Джунгарском Алатау. — «Изв. АН КазССР, серия геологич.», 1966, № 5. Авт.: Байкенов Ш. А., Гусманов Г. А., Иськив Б. М., Курбанаев М. С., с. 63—68.

80. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., «Высшая школа», 1966, с. 391.

81. Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). — М., «Недра», 1968, с. 331.

82. Плаксин И. П. Металлургия благородных металлов. М., Metallurgizdat, 1958, 366 с.

83. Полуэктов Н. С., Виткун Р. А., Залюкова Ю. В. Определение ртути атомно-абсорбционным методом. — В кн.: «Спектральный анализ в геологии и геохимии». М., «Наука», 1967, с. 200—204.

84. Поярков В. Э. Сурьма и ртуть. Оценка месторождений при поисках и разведке. Гоголтехиздат, 1955, вып. 15, 208 с.

85. Поярков В. Э. О некоторых закономерностях распространения ртути. — «Вестник АН КазССР», 1966, № 2, с. 13—23.

86. Поярков В. Э. О поисках, разведке и оценке ртутных месторождений. Изд-во КазИМСа, Алма-Ата, 1967, 80 с.
87. Пушкина З. В. Поровые воды современных четвертичных и плиоценовых отложений Южного Каспия. — «Литология и полезные ископаемые», 1963, № 3, с. 13—18.
88. Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд. М., «Недра», 1967, 610 с.
89. Райт Р. Х. Наука о запахах. М., «Мир», 1966, с. 222.
90. Результаты испытания газортутного метода поисков в Донбассе, Закарпатье, Крыму и Северо-Западном Кавказе. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, вып. 5, с. 118—135. Авт.: Анищенко А. З., Большаков А. П., Карасик М. А., Кирикилица С. И., Морозов В. И., Радько В. И., Эдельман А. М.
91. Савадская А. Е., Фурсов В. З. Принципы районирования территории Казахстана по условиям геохимических поисков. — В кн.: Геофизические исследования в Казахстане. Алма-Ата. Изд-во «Казахстан», 1968, с. 266—273.
92. Савадская А. Е., Фурсов В. З. Ландшафтно-геохимическое районирование Казахстана. — В кн.: Литохимические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, «Наука», 1972, с. 31—37.
93. Сауков А. А. Геохимия ртути. — «Труды Ин-та геологич. наук. АН СССР», 1946, вып. 78, с. 128.
94. Сауков А. А., Озерова Н. А. Ртуть. — В кн.: Металлы в осадочных толщах. М., «Наука», 1965, с. 208—231.
95. Сауков А. А. Геохимия. М., «Наука», 1966, с. 485.
96. Сауков А. А., Айдиньян Н. Х., Озерова Н. А. Очерки геохимии ртути. М., «Наука», 1972, с. 335.
97. Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., Изд-во ВИТР, 1962, часть I, 129 с.
98. Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., «Недра», 1971, 216 с.
99. Свелин Р. А. Термодинамика твердого состояния. М., «Металлургия», 1968, 312 с.
100. Сергеев Е. А., Степанов П. А. Методика спектрального анализа металлотрических проб на ртуть. Обмен опытом, ВИТР, Л., 1957, вып. 2, 27 с.
101. Сергеев Е. А. Методика ртутнометрических исследований. — В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений в СССР, М., 1957, с. 158—165.
102. Скиба Н. С. О роли твердого стока рек в миграции ртути. — «Записки Кирг. отделения Всесоюзного минералогического общества», 1963, вып. 4, с. 31—42.
103. Смирнов В. И. Геология ртутных месторождений Средней Азии. М., Госгеоллиздат, 1947, 80 с.
104. Смирнов В. И., Рыженко Л. М. Некоторые особенности образования и размещения ртутных месторождений. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. М., Изд-во АН СССР, 1958, т. I, с. 289—301.

105. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., «Недра», 1969, 687 с.
106. Сокольский Д. В., Друзь В. А. Теория гетерогенного катализа. Алма-Ата, «Наука», 1968, 390 с.
107. Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, АН КазССР, 1959, 255 с.
108. Степанов И. И., Кузнецов Ю. Н., Фурсов В. З. Газоанализатор для измерения микроконцентраций ртути при геохимических поисках. — «Разведка и охрана недр», 1965, № 12, с. 18—22.
109. Степанов И. И., Рудковский А. А., Фурсов В. З. Сорбент из металлического золота для анализа ртути в геохимических пробах атомно-абсорбционным методом. — «Изв. АН Каз. ССР», серия геологич., 1969, № 3, с. 84—86.
110. Суворов А. В. Термодинамическая химия парообразного состояния. Л., «Химия», 1970, с. 205.
111. Сургай В. Т. Генетические особенности некоторых низкотемпературных месторождений. «Труды Ин-та геологии Киргизского филиала АН СССР», 1954, вып. 5, с. 37—75.
112. Тейлор Х. Адсорбция и катализ. — В кн.: Межфазовая граница, газ — твердое тело. М., «Мир», 1970, с. 9—17.
113. Терехова Г. А. Ореолы первичного рассеяния на ртутно-сурьмяных месторождениях рудного поля хребта Боарды. — «Ученые записки САИГИМС», 1961, вып. 6, с. 139—146.
114. Терехова Г. А. Первичные ореолы рассеяния некоторых ртутно-сурьмяных месторождений согласного типа. — «Бюллетень ОНТИ (ВИЭМС) МГ и ОН СССР». М., 1966, с. 57—65.
115. Ткач Б. И. Возможность выявления ртути в Луганской области. — «Геологический ж.», 1963, № 6, с. 71—74.
116. Уайт Д. Э. Месторождения ртути и цветных металлов, связанные с термальными минеральными источниками. — В кн.: Геохимия гидротермальных рудных месторождений, М., «Мир», 1970, с. 479—528.
117. Уломов В. И., Мавашов Б. З. Предвестник Ташкентского землетрясения. — В кн.: Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г., Ташкент, 1971, с. 188—192.
118. Федорчук В. П. К вопросу о генезисе самородной ртути. — «Геохимия», 1958, № 3, с. 273—279.
119. Федорчук В. П. О некоторых закономерностях формирования ореола прямых рудных индикаторов вокруг ртутных залежей. — «Геохимия», 1961, № 10, с. 911—919.
120. Федорчук В. П. Типы рудных индикаторов, используемых при поисках скрытых ртутно-сурьмяных месторождений. — «Труды ИГЕМ», 1963, вып. 99, с. 26—38.
121. Федорчук В. П. Методика поисков и разведки скрытого ртутно-сурьмяного оруденения. М., «Недра», 1964, 287 с.
122. Федорчук В. П., Габриэльянц Г. А. О некоторых геохимических особенностях пород сивалинской молассовой толщи, развитой в нефтеносных районах юго-западных предгорий Гималаев. — В кн.: Проблемы геологии на XXII сессии междунар. геологич. конгресса. М., «Наука», 1966, с. 431—441.

123. Федорчук В. П. Телетермальные месторождения. — В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М., «Недра», 1968, с. 544—585.
124. Федорчук В. П. Промышленные типы ртутных месторождений. — «Советская геология», 1974, № 8, с. 3—9.
125. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М., «Наука», 1967, 473 с.
126. Фридман А. И. Природные газы рудных месторождений. М., «Недра», 1970, 191 с.
127. Фурсов В. З. Ореолы рассеяния ртути как поисковый признак на свинцово-цинковом месторождении Ачисай. — «Геохимия», 1958, № 3, с. 267—272.
128. Фурсов В. З. Поиски слепых свинцово-цинковых месторождений по ореолам рассеяния ртути. — «Докл. АН СССР», 1961, т. 137, № 2, с. 411—414.
129. Фурсов В. З. Ореолы рассеяния ртути и других элементов-спутников рудных месторождений Казахстана. — «Бюллетень научно-технической информации», М., Госгеолтехиздат, 1962, № 1 (35), с. 68—71.
130. Фурсов В. З., Степанов И. И. Сорбированные ореолы ртути над погребенным ртутным месторождением. — «Докл. АН СССР», 1966, т. 169, № 2, с. 418—419.
131. Фурсов В. З., Степанов И. И. О возможности определения формы нахождения ртути в горных породах и рудах путем возгонки при разных температурах. — «Изв. АН КазССР», серия геологич., 1967, № 2, с. 90—92.
132. Фурсов В. З. Использование ртути при геохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния. — «Труды I научной сессии Междуведомственного Совета». Алма-Ата, 1968, с. 213—215.
133. Фурсов В. З., Вольфсон Н. Б., Хваловский А. Г. Результаты изучения паров ртути в зоне Ташкентского землетрясения. — «Докл. АН СССР», 1968, т. 179, № 5, с. 1213—1216.
134. Фурсов В. З., Степанов И. И. О сорбированных ореолах ртути над погребенными полиметаллическими залежами. — «Изв. АН КазССР, серия геологич.», 1968, № 3, с. 71—73.
135. Фурсов В. З. Ртутная атмосфера ртутных месторождений. — «Докл. АН СССР», 1970, т. 194, № 6, с. 1421—1423.
136. Фурсов В. З. О возможности использования газовой съемки при поисках рудных месторождений. — «Вопросы прикладной геохимии. М., «Недра», вып. II, 1971, с. 127—132.
137. Фурсов В. З. Возможности использования паров элементов для поисков рудных месторождений. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, вып. 5, с. 30—49.
138. Фурсов В. З. Использование легколетучих элементов при геологических исследованиях. — «Труды II сессии Междуведомственного Совета». Дискуссия, Иркутск, 1971, с. 150—160.
139. Фурсов В. З. Ртуть в рудах оловянных месторождений. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, вып. 6, с. 32—34.
140. Фурсов В. З., Степанов И. И. Новые типы ртутных атомно-

абсорбционных фотометров для геохимических поисков. — «Разведка и охрана недр», 1971, № 10, с. 38—42.

141. Фурсов В. З. Ртуть в горных породах и рудах и температуры ее возгонки. — «Докл. АН СССР», 1972, т. 204, № 2.

142. Фурсов В. З. Использование вторичных ореолов рассеяния ртути при геохимических поисках. — В кн.: Литохимические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, «Наука», 1972, с. 316—324.

143. Фурсов В. З. Некоторые результаты изучения ореолов рассеяния ртути. — В кн.: «Геохимические поиски рудных месторождений», М., «Недра», с. 115—124.

144. Фурсов В. З. Некоторые предпосылки использования ртути при геохимических поисках золоторудных месторождений. — «Геохимические методы поисков месторождений золота по первичным ореолам». Записки Забайкальского филиала географ. общества СССР, Чита, 1973, вып. XXXVII, с. 45—47.

145. Фурсов В. З. О новом принципе определения микроконцентраций ртути в водных растворах. — «Геохимические методы при поисках ртутных и ртутно-сурьмяных месторождений». М., ИМГРЭ, 1973, с. 10—14.

146. Фурсов В. З. Закономерности распределения ртути в некоторых природных средах. — «Теоретические аспекты миграции элементов — индикаторов рудных месторождений и математические методы обработки геохимической информации». М., ИМГРЭ, 1974, ч. I, с. 58—61.

147. Фурсов В. З. Газортутные поиски рудных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1975, № 3, с. 13—16.

148. Кайретдинов И. А. К вопросу о газовых ореолах ртути. — «Геохимия», 1971, № 6.

149. Халтинер Дж., Мартин Ф. Динамическая и физическая метеорология. М., Изд-во иностр. лит., 1960.

150. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. М., Изд-во иностр. лит., 1956, 664 с.

151. Храмышкин Н. В. Опыт применения геохимических методов при поисках месторождений золота и ртути в Узбекистане. — «Бюллетень научно-технической информации МГ и ОН СССР», 1962, № 1(35), с. 56—60.

152. Цветков А. И., Вальяшихина Е. Н., Пилоян Г. О. Дифференциальный термический анализ карбонатных минералов. М., «Наука», 1964. 168 с.

153. Церцвадзе З. Я. О содержании ртути в баритовых месторождениях Грузии и об одновозрастности ртутного и баритового оруденения. — «Геохимия», 1965, № 12, с. 1479—1486.

154. Церцвадзе З. Я. Условия формирования и геохимические поисковые признаки ртутных, мышьяковых и сурьмяных месторождений. М., «Недра», 1972, 255 с.

155. Шавкин Г. Н. Золоторудные месторождения Центрального Казахстана. — В кн.: Производительные силы Центрального Казахстана. Алма-Ата, АН КазССР, 1958, т. 2, с. 146—158.

156. Шиманский А. А., Загоскин В. А. О начальном весе геохимических проб при поисках слепых рудных тел по первичным ореолам. — «Разведка и охрана недр», 1965, № 5, с. 55—56.

157. Щеглов А. Д. О некоторых особенностях формирования ртутно-сурьмяных — вольфрамовых месторождений Забайкалья. — «Записки Всесоюзного минералогического общества», 1959, ч. 88, вып. I, с. 48—59.

158. Эдельман А. М. О парах ртути в некоторых природных газопоявлениях Донбасса и Приазовья. — Тезисы докладов «Степановские чтения». Артемовск, 1970, с. 123—126.

159. Эдельман А. М. Опыт проведения газортутных исследований в Донбассе. — «Геологический ж.», 1971, т. XXXI, вып. I, с. 82—90.

160. Элинсон М. М. Применение газовой съемки при поисках и разведке рудных месторождений. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, вып. 5, с. 85—100.

161. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. М., «Мир», 1965, 419 с.

162. Янг Д. Кинетика разложения твердых веществ. М., «Мир», 1969, 256 с.

163. Bristow Q. An evaluation of quartz crystals microbalance as a mercury vapour sensor for soil gases. J. Geochem. Explor. 1972, No 1, pp. 78—86.

164. Goldshmidt V. M. Geochemistry. Oxford. Clarendonpress, 1954, p. 731.

165. James C. H., Webb G. S. Sensitive mercury vapour meter for use in geochemical prospecting. Bull. Mini and Met, 1964, June, No 691, pp. 633—638.

166. Jepsen A. F. Measurements of mercury vapour in the atmosphere. Trace elements in the environment. Amer. Chem. Soci., Washington, 1973, pp. 18—80.

167. Koksoy M., Bradshaw P. M., Tooms Y. S. Notes of the determination of mercury in geological samples. Inst. Min. and Met. Trans. Sect. B, 1967, v. 76, No 726, pp. 121—124.

168. Robbins G. C. Zeeman spectrometer for measurement of atmospheric mercury vapour. Geochemical Exploration, Symposium, London, 1972, pp. 315—323.

169. Taylor D. Journal chem. Soc., 1962. march, pp. 1047—1050.

170. Williton S. H. Mercury in the atmosphere. J. Geophys. Res., 1968, v. 71, No 22, pp. 7051—7057.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Атомно-абсорбционный анализ ртути	5
Глава II. Разделение валовых концентраций ртути на составляющие (формы нахождения)	18
Глава III. Ртуть в различных системах	31
Глава IV. Первичные ореолы	60
Глава V. Вторичные литохимические ореолы рассеяния	77
Глава VI. Газовые ореолы рассеяния	87
Глава VII. Ртуть в зонах разломов	102
Глава VIII. Использование ртути при геохимических поисках	112
Заключение	131
Список литературы	133

ИБ № 1903

*ВАСИЛИИ ЗАХАРОВИЧ
ФУРСОВ*

**РТУТЬ — ИНДИКАТОР
ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ПОИСКАХ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Редактор издательства *Л. Г. Китаенко*
Техн. редактор *Б. А. Илясова*
Обложка художника *А. А. Зубченко*
Художественный редактор *В. В. Евдокимов*
Корректор *Е. С. Глуховская*

Сдано в набор 3/1 1977 г. Подписано в печать 9/III 1977 г. Т-06117
Формат 60×90^{1/16}. Печ. л. 9,0. Уч.-изд. л. 9,51 Бумага № 2. Заказ 25/5806—2
Тираж 1160 экз. Цена 1 р. 43 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.
Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли.
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

1 руб. 43 к.

2338

НЕДРА