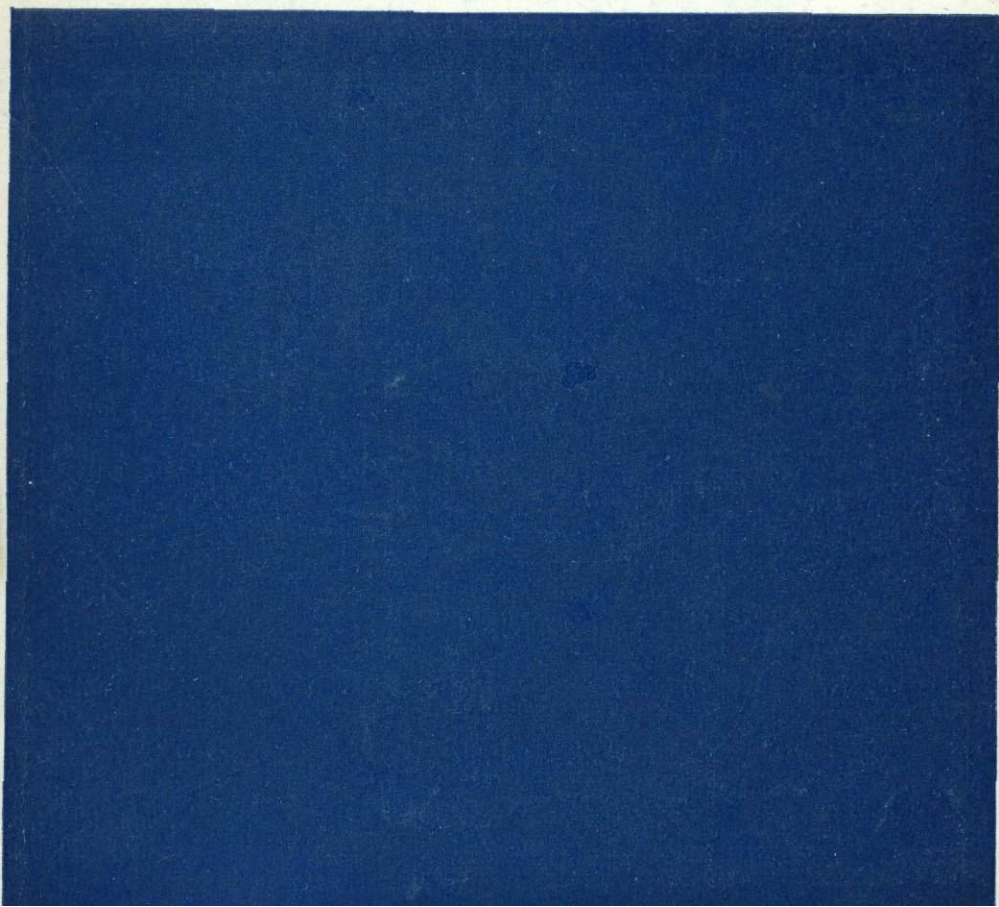


---

Г. С. РИПП, В. Ф. БЕЛОГОЛОВОВ

---

**ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ  
И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ  
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ  
ДАНЫМ**



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
БУРЯТСКИЙ ФИЛИАЛ

ТРУДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Выпуск 13

1788

Г. С. РИПП, В. Ф. БЕЛОГОЛОВОВ

ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ  
И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ  
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ  
ДАНЫМ

Ответственный редактор  
д-р геол.-мин. наук проф. *Ф. П. Кренделев*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Новосибирск · 1978





Работа является первой и наиболее полной в настоящее время сводкой по геохимическим особенностям большой группы месторождений Забайкалья, Восточного Саяна и Прибайкалья. В ней обосновываются критерии разбраковки и методика оценки рудопроявлений и аномалий на основе анализа параметров геохимических ореолов, элементов-примесей в рудах, минералах, изотопного состава свинца и сульфидной серы.

Особое внимание уделено проблемам практического использования выработанных критериев на различных этапах производственных геохимических съемок и поисков. Определена информативность элементов в геохимических аномалиях, рассчитан оптимальный шаг пробоотбора, позволяющий оценивать надежность опоскования площадей на определенные типы месторождений.

Книга представляет интерес для геологов, геохимиков, поисковиков.

Территория южного обрамления Сибирской платформы по геологическому строению и комплексу полезных ископаемых представляет сложную и весьма перспективную структуру. В течение последних двух десятилетий в пределах ее обнаружена и оценена большая группа месторождений различных генетических и формационных типов. В то же время потенциал рудоносности региона еще далеко не исчерпан и определяется в первую очередь многочисленными рудопроявлениями и различного рода аномалиями, оценку которых предстоит провести в будущем.

При поисках и оценке месторождений существенная роль принадлежит геохимическим методам. Известные в настоящее время многочисленные публикации по теории и практике геохимических поисков не учитывают особенности, которые присущи только отдельным регионам. В связи с этим эффективное применение стандартных методик требует дополнительных сведений и корректуры в отдельных звеньях.

Современная поисковая ситуация в Прибайкалье, Забайкалье и Восточном Саяне определяется следующими наиболее важными факторами. С одной стороны, после мелко- и среднемасштабных геологических съемок намечается общее направление дальнейших поисковых работ в конкретных районах и выявляется большое количество геохимических аномалий и рудопроявлений, которые локализуют участки для детальных поисков, с другой — увеличение фронта и масштабов геохимических поисков, не сбалансированное с мощностью и экспрессностью аналитической базы, технических средств и ресурсов оценки выявленных аномалий. В результате сформировался все возрастающий фонд геохимических аномалий, не оцененных по организационно-техническим причинам. Интенсификация геохимических поисков не была обеспечена также и соответствующими методическими исследованиями поисковых геохимических признаков главных типов месторождений региона. В результате выделение рудоперспективных аномалий и очередность их оценки проводились не всегда корректно.

Подобные диспропорции в развитии геохимических поисков обусловили удорожание работ и понижение эффективно-



сти метода по сравнению с теоретической и возможной. Непрерывный рост количества геохимических аномалий поставил перед необходимостью изучения поисковых признаков месторождений различных формационных типов, условий формирования геохимических аномалий и резко поднял спрос на методику их разбраковки и оперативной оценки, что стало важной проблемой поисков.

Предлагаемая работа является монографической сводкой о геохимических особенностях большой группы месторождений, которая может быть использована на стадии геологосъемочных, поисковых и разведочных работ. В ней систематизированы и даны в сжатой форме материалы многолетних специализированных геохимических исследований, результаты производственных и тематических работ, проведенных территориальными геологическими управлениями и научными организациями на площади южного складчатого обрамления Сибирской платформы, включающей Прибайкалье, Забайкалье и Восточный Саян. В основу работы положены результаты изучения геохимических особенностей широкого круга месторождений различного генезиса и состава, связанных с разновозрастными тектоно-магматическими циклами.

Приводимая информация основана на материалах изучения эталонных объектов или суммарной характеристике нескольких однотипных месторождений. При этом мы руководствовались классификацией генетических и минеральных типов месторождений, разработанной при мелкомасштабных металлогенических исследованиях (Арсентьев и др., 1964). В работе с различной полнотой рассмотрены геохимические особенности железорудных, серноколчеданных, колчеданно-полиметаллических, свинцово-цинковых, молибденовых, вольфрамовых, фтор-редкометалльных, редкоземельных, оловорудных, золоторудных и флюоритовых месторождений. Относительно полные и представительные данные имеются по железорудным (скарновым), колчеданным, свинцово-цинковым, молибден-вольфрамовым и фтор-редкометалльным месторождениям. По остальным типам материалы менее представительные, а в отдельных случаях недостаточные.

При характеристике месторождений приводятся геохимические особенности первичных ореолов, руд и отдельных минералов. Полученные параметры основаны на результатах спектральных полуколичественных (для первичных ореолов) и различных видов количественных анализов (для минералов, руд, частично первичных ореолов). Анализы выполнены в спектральных химлабораториях Бурятского территориального геологического управления, Ирриредмета, СибГеохи, ВИМСа, ИМГРЭ, ЦНИГРИ, ВСЕГЕИ, ИГиГ СО АН СССР.

Анализы мономинеральных фракций разноточными методами дают, как правило, систематические различия в содер-

жаниях ряда элементов. При сопоставлении спектральных полуколичественных и химических анализов выявляются группы элементов, обнаруживаемых спектральным анализом в более высоких концентрациях (мышьяк, кадмий, сурьма, таллий, висмут, рубидий, цезий) и в более низких (кобальт). Относительно хорошую сходимость имеют ртуть, олово, марганец. Максимальные расхождения отмечаются в случаях граничных интервалов содержаний, особенно для висмута, кобальта, кадмия и др. Выявленные в результате оценки сходимости разных методов систематические ошибки анализов вызвали необходимость их раздельного введения в таблицы текста.

Дополнительную информацию, помогающую расшифровке особенностей локализации месторождений и диагностике их формационной принадлежности, несет изотопный состав ряда элементов. Нами определен и систематизирован материал других исследователей по составу рудных свинцов и сульфидной серы. Свинец проанализирован в изотопных лабораториях ИГиГ СО АН СССР, ВСЕГЕИ и МГУ, а сера — преимущественно в Тбилисского государственного университета.

Определение свинца в большей части проб проведено спектральным изотопным методом. Ошибка анализов, выполненных в лаборатории ИГиГ СО АН СССР, составляла для  $Pb^{204}$  2—3%,  $Pb^{206}$  и  $Pb^{208}$  — около 1,  $Pb^{207}$  1,2—1,5%. Сера проанализирована на масс-спектрометре МИ-1305 по методике В. И. Устинова и В. А. Гриненко (1965). Результаты анализов воспроизводились с точностью  $\pm 0,02\%$ . Содержания  $S^{34}$  в сульфидах пересчитаны по отношению к составу троилита метеорита Сихотэ-Алинь с  $S^{32}/S^{34}$ , равным 22,22.

Обработка аналитических данных проведена на ЭВМ «Нари-С». Таблицы и текст содержат наиболее важные статистические параметры распределения элементов и значения корреляционных связей между их содержаниями в минералах, рудах и первичных ореолах. В случаях нормального распределения элементов-примесей в минералах в таблицах приведены их среднеарифметическое содержание и среднеквадратическое отклонение. Когда же распределение элементов аппроксимировалось логнормальным законом, были рассчитаны среднегеометрическое и стандартный множитель. Диапазоны вариаций содержаний элементов в случае нормального распределения могут быть определены по формуле  $C = \bar{X} \pm tS$ , где  $\bar{X}$  — среднеарифметическое,  $t$  — поправочный коэффициент, зависящий от количества проб в выборке (критерий Стьюдента),  $S$  — среднеквадратическое отклонение. В зависимости от требуемой точности расчет может быть проведен с  $S$ ,  $2S$ ,  $3S$  (75, 95 и 98% вероятности).

В случае логнормального распределения диапазон содержаний определяется по формуле  $C = Z \cdot t^{(\pm 1)}$ , где  $Z$  — среднегеометрическое,  $t$  — стандартный множитель.



Представительность полученных параметров может быть оценена по количеству проб в выборках (расчетом критерия Стьюдента). В тексте применены следующие в основном общепринятые в литературе по геохимии термины:

коэффициент линейной корреляции — мера связи между различными признаками, учитывающая только прямолинейную зависимость между признаками;

коэффициент накопления (то же, что и кларк концентрации) — относительное превышение концентрации элемента по сравнению с его кларком (фоном);

коэффициент минерализации (Гинзбург и др., 1966) — отношение количества проб с аномальными содержаниями к общему количеству проб на опробованном интервале (в пределах ореола);

ореолы первого порядка (эндогенные) — теоретически ожидаемые по современным моделям рудообразования геохимические аномалии, соответствующие месторождению (рудному полю) в целом;

отрицательные геохимические аномалии (ореолы выщелачивания, зоны истощения) образуются за счет выноса из отдельных участков пород элементов, не устойчивых к рудообразующим растворам. Они невелики по размерам и сопряжены в пространстве с положительными аномалиями;

суммированные ореолы, по Н. И. Сафронову (1966), С. В. Григоряну (1968, 1971), применяются для усиления слабых ореолов, установления эпицентра максимальной минерализации. С. В. Григоряном предложены две модификации таких ореолов — аддитивные (среднеарифметическое суммирование в каждой пробе содержания элементов, нормированных в единицах среднефонового содержания) и мультипликативные (перемножение содержания);

коэффициенты зональности — отношение суммы (или произведений) содержания элементов, характерных для надрудных частей ореолов, к элементам подрудных частей или к главным рудообразующим элементам;

информационный вес элемента (по А. Н. Дмитриеву, Ю. И. Журавлеву, Ф. П. Кренделеву, 1966) — количество информации, заключенное в данном признаке (элементе) рассматриваемых событий, по отношению к общему объему информации в выборке;

коэффициент избыточной информации показывает, во сколько раз количество информации превышает необходимое для решения определенных задач.

При использовании параметров первичных ореолов, приведенных в тексте, необходимо иметь в виду, что они характеризуют в основном срезы месторождений, выведенных на дневную поверхность. Случаи иного положения рудных тел оговариваются в тексте особо.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

---

В этой главе приведены наиболее общие геохимические и минералогические признаки определенных типов месторождений. Используя их, нельзя забывать о многообразии условий формирования минерализации, обуславливающих отклонения от полученных данных.

### ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Имеющийся фактический материал позволяет охарактеризовать две группы месторождений — магнетитовые скарновые, водносиликатные, осадочные и вулканогенно-осадочные. Месторождения образованы в этапы геосинклинального развития региона и, главным образом, в связи с байкальским и каледонским тектоно-магматическими циклами.

В эпоху байкальской складчатости были сформированы преимущественно осадочные и вулканогенно-осадочные месторождения, в том числе типа железистых кварцитов (бассейна рек Тья и Севиликон, Мысовское, Мухор-Горхонское), приуроченные к толщам сланцевых, карбонатных и вулканогенных пород. Для каледонской эпохи более характерны скарновые и водносиликатные месторождения (Солонго, Назаровское, Соболка, Алянга-IV, Аришинское, Укыр и др.).

Известна также группа проявлений карбонатных железных руд, локализованных в вулканогенно-осадочных и осадочных отложениях кембрия и раннего — среднего мезозоя.

Данные по геологическому строению, минералогическим и некоторым геохимическим особенностям железорудных месторождений можно найти в работах Д. В. Ветрова, А. А. Крупского (1964), И. В. Коновалова (1964а, б; 1966), А. Г. Крапивина (1970), Б. К. Виноградова (1972), А. Е. Лисицына и др. (1974), а также Г. С. Румянцева, Ю. С. Тарасова, А. А. Крупского, Н. Г. Шмидта, Б. П. Епифанова и других исследователей.



## Магнетитовые скарновые месторождения

Месторождения залегают в различной степени метаморфизованных осадочных и осадочно-вулканогенных отложениях протерозоя и нижнего палеозоя. Рудные тела линзовидной, пласто- и столбообразной формы, сложены магнетитом, гранатом, пироксенами, амфиболами, карбонатом, кварцем. Характерная особенность руд — обогащенность их сульфидной минерализацией (пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит). Последняя сформирована позднее железорудной и нередко пространственно разобщена с ней. Поэтому связь ее с железорудными месторождениями не всегда доказана, а первичные ореолы ряда элементов часто не совпадают с контурами магнетитовых тел.

Минералогия скарнов даже в пределах одного месторождения непостоянна и зависит в основном от состава замещаемых пород. Наиболее распространены пироксен-гранатовые, гранатовые, пироксеновые разности, меньше — везувиановые, эпидотовые, волластонитовые. На отдельных месторождениях (Солонго) отмечены магнезиальные скарны форстеритового и шпинель-форстеритового составов.

Со стороны всякого бока рудных тел развита сравнительно четкая минералогическая зональность (в составе окорудных метасоматитов): неизменные породы сменяются зоной пиритизированных, хлоритизированных, затем амфиболитизированных и скарнированных их разностей и, наконец, массивными скарнами. Масштабы метасоматических изменений пород не зависят от размеров конкретных рудных тел.

Приводимые сведения по геохимическим особенностям основаны преимущественно на изучении месторождений Солонго, Назаровское, Соболка, Алянга-IV, Средний Мылдылген, Соухусан, Харасан.

В рудах присутствуют в повышенных концентрациях цинк, марганец (до  $n\%$ ), мышьяк ( $0,0n\%$ ), кобальт, медь, молибден ( $0,00n\%$ ), бор ( $0,00n-0n\%$ ). Отношения цинк — свинец, цинк — медь, свинец — медь составляют соответственно 5—15; 0,2—20 и 0,1—0,7.

**Первичные ореолы.** Размеры первичных ореолов в целом невелики (до  $0,2 \text{ км}^2$ ). На продолжении рудных тел по восстановлению они прослеживаются до первых сотен метров. Относительно четкие аномалии образуют медь, цинк, марганец, сера, реже — кобальт, фосфор, бор, мышьяк. Остальные элементы обнаруживаются в отдельных аномальных точках, реже — в небольших ореолах (см. табл. 28). Во внутренней зоне ореола присутствует весь комплекс элементов. При этом выделяются три парагенетические группы: 1) марганец, ванадий, кобальт, фосфор, молибден, олово, германий; 2) барий, марганец, вольфрам, молибден, олово; 3) медь, цинк,

свинец, олово, мышьяк, серебро, висмут соответственно в магнетитовых рудных телах, скарнах и участках сульфидной минерализации. Во внешней зоне ореолы образованы преимущественно серой и медью.

**Изотопный состав серы.** Сера пиритов, пирротинов, сфалеритов, халькопиритов, локализованных в скарнах, магнетитовых телах и вмещающих породах утяжелена относительно метеоритной в среднем на 6‰ (табл. 1) при сравнительно небольших вариациях изотопного состава ( $\sigma S^{34}$  от  $-0,7$  до  $+9,3$ ‰). Анализы галенитов из зон галенит-сфалеритовой минерализации в известняках с неустановленной связью с железорудной минерализацией (районы месторождений Солонго, Назаровское) показывают значения  $\sigma S^{34}$  от  $+1,1$  до  $+12,9$ ‰. В целом для описываемых железорудных месторождений так же, как и для других регионов, свинец не характерен.

**Элементы-примеси в минералах.** Состав элементов-примесей в минералах приведен в табл. 2. Для пиритов характерна повышенная (по сравнению с другими типами месторождений) кобальтоносность, мышьяковистость, для сфалеритов — индиеносность (96 г/т), марганценосность (0,6—6,1%), кобальтоносность (0,05%), низкие содержания кадмия, галлия, германия. Халькопириты отличаются низкими содержаниями индия (менее 5 г/т), таллия (менее 3 г/т). На отдельных месторождениях в минералах обнаружены повышенные концентрации олова (до 38 г/т) и висмута (до 200 г/т).

По данным Г. С. Румянцева и С. В. Малинко, специфической чертой магнетитов месторождения Солонго являются

Таблица 1

Изотопный состав сульфидной серы железорудных месторождений

Месторождение, минерал	Колич. проб	$\sigma S^{34}$ , ‰	
		интервал	среднее
Скарновые (6)*			
Пирит . . . . .	15	( $-0,7$ )—( $+9,3$ )	+5,5
Сфалерит . . . . .	5	( $+5,2$ )—( $+7,0$ )	+6,2
Халькопирит . . . . .	2	( $-0,14$ )—( $+4,1$ )	—
Пирротин . . . . .	1	— —	+1,5
Галенит . . . . .	3	( $+1,1$ )—( $+12,9$ )	—
Водносиликатные, вулканогенно-осадочные (8)			
Пирит . . . . .	14	( $+7,7$ )—( $+23,2$ )	+13,3
Арсенопирит . . . . .	1	— —	+14,2

\*В скобках — количество изученных месторождений.



## Содержания элементов-примесей в минералах скарновых магнетитовых месторождений

Элемент	Ед. изм.	Содержания $\left(\frac{\text{от-до}}{\text{среднее}}\right)$			
		сфалерит	галенит	пирит	халькопирит
Cd	%	$\frac{0,05-0,20}{0,16(4)}$	$\frac{0,01-0,042}{0,022(4)}$		$\frac{0,0033-0,016}{0,001(3)}$
In	г/т	$\frac{2,5-230}{96(13)}$	$\frac{0,4-48}{23(4)}$	—	< 5(5)
Ga	г/т	< 0,5(3)	< 0,5(4)	—	< 0,5(3)
Ge	г/т	< 5(4)	< 5(4)	—	< 5(3)
Sn	г/т	12(3)	$\frac{2,5-76}{41(3)}$	—	$\frac{20-38}{31(3)}$
Co	%	$\frac{0,028-0,1}{0,05(7)}$	—	$\frac{0,017-0,4}{0,12(17)}$	—
Bi	%	$\frac{\text{He обн.}-0,5^*}{0,006(23)}$	$\frac{0,002-0,0043}{0,0031(3)}$	$\frac{\text{He обн.}-0,0079}{0,0034(9)}$	$\frac{0,003-0,061}{0,025(4)}$
Ag	%	$\frac{1-30^*}{6(23)}$	200-1000(2)	$\frac{1-30^*}{15(6)}$	$\frac{30-100^*}{50(3)}$
Tl	г/т	< 3(3)	< 3(7)	< 3(2)	< 3(5)
As	%	—	—	$\frac{0,0005-1,0}{0,029(11)}$	—
Ni	%	—	—	$\frac{\text{He обн.}-0,026}{< 0,005(16)}$	—

\* По данным полуколичественного спектрального анализа.  
Примечание. Здесь и далее в скобках — количество проб.

высокое и непостоянное содержание марганца (до 17,6% MnO), магния (6,5—15,8% MgO) и цинка (до 0,90%), низкие концентрации титана (менее 0,1% TiO<sub>2</sub>). Г. С. Румянцевым здесь выявлен непрерывный изоморфный ряд от магнетита до яacobcита. Германий и галлий для минерала не характерны (обычно менее 10 г/т), а содержание кобальта варьирует в пределах 0,0008—0,0030%.

### Магнетитовые водносилкатные осадочные и вулканогенно-осадочные месторождения

Месторождения представлены пласто- и линзообразными залежами среди метаморфизованных осадочных и вулканогенно-осадочных пород. Руды сложены преимущественно магнетитом с переменными количествами амфиболов, хлорита, эпидота, карбонатов, кварца. Отдельные участки рудных тел

обогащены пиритом, пирротином, халькопиритом, редко встречаются сфалерит, арсенопирит. Сульфидная минерализация частично (но не всегда) разобщена с магнетитовой и образует самостоятельные проявления. В связи с последним первичные ореолы ряда элементов не совпадают с участками железорудной минерализации.

В рудах присутствуют в относительно повышенных концентрациях медь, марганец (до 0,1%), кобальт (0,001—0,01%), фосфор (до 2—3%). Мышьяк, бор, германий для руд не характерны. Отношения цинк — свинец, цинк — медь, свинец — медь составляют соответственно 5—10, 1—8 и меньше 1 (редко более 1).

**Первичные ореолы** месторождений невелики и достигают первых десятков метров по ширине и до сотен метров (редко больше) по длине. Ореолы обычно мало контрастные, представлены разобщенными небольшими участками с аномальными содержаниями элементов. В целом отмечается зависимость размеров ореолов от параметров магнетитовых тел. Аномальные концентрации в ореолах представлены медью, цинком, марганцем, менее характерны кобальт, фосфор (см. табл. 28). На отдельных проявлениях известны ореолы и разрозненные аномальные точки ванадия и серебра.

Зональность ореолов изучена недостаточно. На участках, прилегающих непосредственно к рудным телам, обнаруживается весь перечисленный комплекс элементов. На расстоянии первых, иногда десятков метров ореолы ослаблены и представлены в основном медью.

**Изотопный состав серы.** Сера сульфидов восьми изученных месторождений в сравнении со скарновыми отличается более тяжелым изотопным составом и значительной гетерогенностью (см. табл. 1). Вариации  $\delta S^{34}$  достигают 15—17‰. При этом руды, локализованные среди существенно алюмосиликатных пород (кристаллических сланцев, эффузивов), отличаются более легким изотопным составом (месторождения Гурвунур, Мухор-Горхон, Малый Мылдылген и др.). Величина  $\delta S^{34}$  пиритов руд в среднем составляет +11,5‰ и характеризуется несколько большей гомогенностью. В случаях хемогенных карбонатных осадков (Аришинское месторождение) значения изотопных отношений близки к таковым серы морских сульфатов.

**Элементы-примеси в минералах.** Состав элементов-примесей изучен в основном только в пиритах (табл. 3), которые отличаются высокими содержаниями кобальта (до 0,75%) и никеля (до 0,11%). Повышенная кобальтоносность характерна и для пирротина (0,01%). В халькопиритах практически отсутствуют индий, висмут, олово, галлий, германий, таллий (менее 1—5 г/т).

Магнетиты, в отличие от скарновых месторождений, обеднены цинком, марганцем и магнием. Они характеризуются



## Содержание элементов-примесей в минералах магнетитовых водносилкатных месторождений

Элемент	Ед. изм.	Содержания $\left(\frac{\text{от-до}}{\text{среднее}}\right)$		
		пирит	халькопирит	магнетит
In	г/т	—	Не обн.—5,5 $\frac{<5(3)}{<0,5(1)}$	—
Ga	г/т	—	$<0,5(1)$	$<10(4)^*$
Ge	г/т	—	$<5(1)$	1,5(5)
Sn	г/т	—	$<0,5(1)$	—
Co	%	$\frac{0,016-0,75}{0,13(17)}$	—	Не обн.—0,01(18)*
Bi	г/т	Не обн.—17 $\frac{5(7)}{0,7-4,8}$	Не обн.—3 $\frac{3(3)}{20-100^*}$	—
Ag	г/т	$\frac{0,7-4,8}{2(7)}$	$\frac{20-100^*}{35(9)}$	—
Tl	г/т	$<3(8)$	$<3(1)$	—
As	%	Не обн.—0,1 $\frac{0,003(12)}{0,0024-0,112}$	—	—
Ni	%	$\frac{0,0024-0,112}{0,031(16)}$	—	—
пО	%	—	—	$\frac{0,05-1,25}{0,46(8)}$
MgO	%	—	—	$\frac{0,53-1,79}{1,1(8)}$
TiO <sub>2</sub>	%	—	—	Не обн.—0,27 $\frac{<0,1(8)}{<0,1(8)}$
ZnO	%	—	—	Не обн.—0,09(3)

Примечание. Анализы магнетитов — по Г. С. Румянцеву и В. Н. Антипину.

также низкими концентрациями галлия, германия, титана.

Единичные анализы апатитов месторождения Гурвунур выявляют высокие содержания в них редких земель (до 1—3%) преимущественно цериевой группы (более 80%).

### КОЛЧЕДАНЫЕ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время в регионе выделяются два разновозрастных цикла формирования колчеданного свинцово-цинкового оруденения — позднедокембрийский и раннепалеозой-

ский. Месторождения этих циклов отличаются друг от друга структурно-текстурными особенностями руд, составами минеральных парагенезисов и элементов-примесей, степенью метаморфических преобразований.

Вопросы геологии, вещественного состава руд и генезиса месторождений освещены в многочисленных работах (Филько и др., 1967; Малаев и др., 1967; Кормилицын, 1966; Матюхин и др., 1966; Бусленко, 1970; Андреев и др., 1971; Бабкин, 1971; Шобогоров и др., 1971; Дистанов и др., 1972, 1975; Рипп и др., 1970, 1971; Терентьев и др., 1973; и др.). Значительно меньше публикаций посвящено геохимическим особенностям руд и минералов, изучению первичных и вторичных ореолов (Рипп и др., 1967, 1971; Миркина и др., 1974; Заири и др., 1974; Тугаринов и др., 1976).

### Докембрийские месторождения

С позднекембрийским этапом складчатости связано образование Холоднинского месторождения (Шобогоров и др., 1971). Оно приурочено к толще кристаллических сланцев, известняков, кварцитов, претерпевших динамотермальную метаморфизм, пластические и хрупкие деформации. Руды несут также следы значительного метаморфизма, в результате которого они были перекристаллизованы, стали более крупнозернистыми. В пределах рудных зон во вмещающих породах широко проявлены процессы окварцевания, серицитизации, сульфидизации. С метаморфизмом связано также образование порфиробластических пород гранатового и амфибол-гранатового состава нередко с цинковой шпинелью.

Руды в виде согласных, субсогласных со слоистостью и секущих слоистость тел приурочены пространственно (но не всегда) к горизонтам пород, обогащенных графитистым веществом. Главные рудные минералы — пирит, сфалерит, галенит, участками — пирротин, халькопирит. К второстепенным и редко встречающимся относятся арсенопирит, блеклая руда, магнетит. По вещественному составу различаются руды существенно колчеданные (пиритовые, пирротинные), характерные для лежащего бока рудных залежей, и колчеданные свинцово-цинковые, тяготеющие к висячему боку. Отдельные участки колчеданных руд обогащены медной минерализацией. Характерно

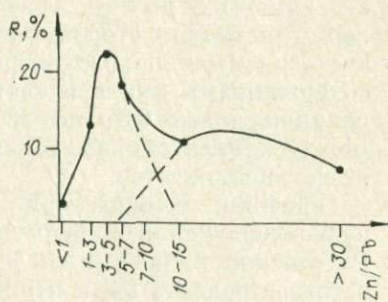


Рис. 1. График распределения отношений содержаний Zn/Pb в рудах Холоднинского месторождения.



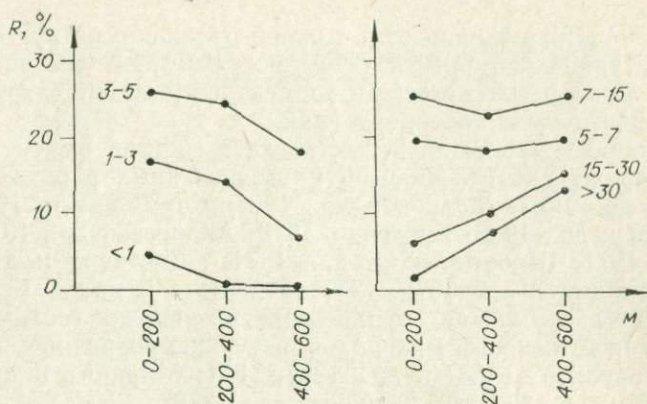


Рис. 2. Графики изменения отношений  $Zn/Pb$  в рудах в зависимости от глубины их залегания.

постоянное преобладание цинка над свинцом. Отношение содержаний этих элементов меняется преимущественно в пределах 0,1—50. Главный максимум отношений лежит в интервале 3—5 и 3—7. На частотном графике (рис. 1) отчетливо выявляется полимодальное строение кривой. Вершина второй моды фиксируется на значениях 10—15 и 15—50. Отмечается закономерное увеличение отношений с глубиной залегания руд. Так, если для руд, залегающих на глубинах 0—200 м (от дневной поверхности), мода цинково-свинцовых отношений фиксируется в интервале 3—5, то для руд, залегающих на глубинах 200—400 и особенно 400—600 м, максимальную частоту имеют значения 5—7 и одновременно резко возрастает роль значений более 10 (рис. 2).

По падению рудных тел в целом происходит закономерное уменьшение концентраций цинка и свинца. Градиенты концентраций для цинка колеблются от  $-0,4$  до  $-3,5$ , а свинца — от  $-0,3$  до  $-3,7$  на 100 м с отклонениями в отдельных участках в сторону положительных значений. Существует значимая положительная корреляционная связь между содержаниями цинка и свинца (коэффициент линейной корреляции равен 0,81 по 230 пробам). Прямой зависимости между концентрациями сульфидов железа и цинка (свинца) не устанавливается.

Графики распределения меди также имеют полимодальную конфигурацию преимущественно с двумя максимумами. Рассечение кривой и последующий анализ свидетельствуют о том, что часть меди непосредственно связана со свинцово-цинковой минерализацией (коэффициент корреляции 0,73 по 50 пробам). Другая часть ее автономна и локализована в существенно колчеданных рудах.

Кроме указанных элементов, на месторождении в относительно повышенных количествах обнаруживаются мышьяк (до 0,3%), кадмий, иногда германий. В целом руды в сравнении с колчеданно-полиметаллическими месторождениями других регионов отличаются узким спектром и низкими содержаниями элементов-примесей.

**Первичные ореолы.** Главными ореолообразующими элементами являются цинк, свинец, медь, второстепенными — мышьяк, серебро, германий (см. табл. 28). Практически отсутствуют ореолы сурьмы (низкая чувствительность), бария, таллия, олова и других элементов.

Максимальные ореолы образует цинк. На месторождении ореол с поверхности имеет ширину 1—1,2 км, а по простиранию прослежен на 7—8 км, причем оба фланга ореола не оконтурены. В стороны от зальбанд конкретных рудных тел ореол цинка распространяется на первые десятки метров при содержаниях в сотые и десятые доли процента.

Свинец представлен более локальными ореолами. Со стороны всячего бока рудных тел ширина ореолов его обычно не более 10—15 м. Для меди характерны еще меньшие по размерам ореолы. В плане суммарная ширина их колеблется от 30 до 500 м, протяженность до 2,5—3 км. Нередко отмечается некоторое увеличение размеров ореола со стороны лежащего бока рудных тел. Отдельные рудные тела и зоны минерализации ореолами меди либо не сопровождаются, либо имеют слабоконтрастный и небольшой мощности ореол (до первых метров по нормали). По простиранию ореолы меди прослеживаются до десятков и сотен метров.

Ореолы мышьяка локализованы вблизи только рудных зон с высокими концентрациями свинца, цинка и меди. Ввиду низкой чувствительности анализа на этот элемент (0,01%) устанавливаемые размеры ореолов невелики и аномальные концентрации фиксируются вблизи рудных тел и в самих рудных зонах.

Серебро в виде маломощных ореолов устанавливается вблизи рудных тел, обогащенных цинком и особенно свинцом.

Германий присутствует в повышенных количествах в отдельных частях рудных тел и в ореолах, прилегающих к ним. Ореолы малоконтрастны (содержание — до 0,002%, коэффициент минерализации — менее 50%). Аномальные концентрации в породах со стороны зальбанд рудных тел встречаются обычно не далее 10 м.

Барий ореолов не образует, и только в отдельных разрозненных участках отмечается концентрация элемента до десятых долей процента. В целом рудные зоны трассируются пониженными концентрациями бария.

В пределах отдельных участков рудных зон ванадий со-



держится в два-три раза ниже фонового. Между содержаниями свинца, цинка (суммы) и ванадия имеются значимые отрицательные корреляционные связи в пределах одних сечений ореолов и отсутствие их — в других.

Параметрические характеристики зональности ореолов не рассчитывались. В обобщенном виде первичный ореол имеет следующее строение: непосредственно в рудных зонах фиксируются, кроме свинца, цинка и меди, также мышьяк, германий, серебро, аномальные точки сурьмы и таллия; в ближайшем экзоконтакте развиты ореолы германия, мышьяка и несколько дальше — меди и свинца. Наибольшие ореолы образованы цинком. Корреляционные связи между шириной ореолов, мощностью рудных тел и концентрациями в них элементов не рассчитывались.

**Изотопный состав серы и свинца.** Анализ серы пиритов, пирротинов, сфалерита, галенита и халькопирита показал на широкие вариации ее изотопного состава, превышающие 30‰ (Заири, Стрижев, 1974; Миркина и др., 1974; Рипп и др., 1975). В большей части проб сера утяжелена относительно метеоритной на 8—20‰. Близкие значения получены и для Каменского колчеданно-полиметаллического проявления. Слоистые колчеданные (пиритовые и пирротиновые) руды и сингенетичная вкрапленность сульфидов в сланцах отличаются более легким изотопным составом ( $\sigma S^{34}$  колеблется в среднем от +6 до -3‰) относительно минералов продуктивных ассоциаций ( $\sigma S^{34}$  от +8,0 до +27,5‰). Сульфиды вмещающих пород за пределами рудных зон также обогащены относительно руд легким изотопом. Некоторое облегчение изотопного состава серы отмечается в сульфидных перетолженных ассоциациях (на 4—5‰), сформировавшихся в результате метаморфических преобразований руд.

Характерной особенностью рудных свинцов месторождения является сравнительно гомогенный изотопный состав, отвечающий обычному свинцу (табл. 4). Считается, что руды с обычным изотопным составом свинца имеют глубинный источник. Некоторые пробы удревнены относительно вмещающих пород и приближаются к аномальным свинцам типа «В».

Таблица 4

**Изотопный состав рудного свинца колчеданных свинцово-цинковых месторождений (по данным А. Я. Жидкова, Г. В. Ручкина и нашим)**

Месторождение	Колич. проб	Отношения к Pb <sup>204</sup>			Модельный возраст, млн. лет
		Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>	
Холоднинское . . . . .	18	17,50	15,55	36,53	900—1000
Озерное . . . . .	23	17,89	15,70	38,53	730

Примечание. Возраст по модели Холмса-Гаутерманса.

Содержание элементов-примесей в сульфидах Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения (по данным Н. Л. Горенкова, В. Э. Клец, Т. П. Решиковой, Е. И. Андреевой)

Элемент	Ед. изм.	Содержания $\left(\frac{\text{от-до}}{\text{среднее}}\right)$		
		сфалерит	галенит	пирит
Cd	%	0,09—0,21	0,007—0,01	—
		0,13(8)	0,008(4)	
In	г/т	7—21(2)	2(1)	—
Ga	г/т	30(2)*	10(4)*	—
Ge	г/т	<10(3)*	<10(1)*	—
Sn	г/т	<6—100*	50—500(4)	
		40(4)		
Co	%	0,0005—0,003(13)*		0,002—0,04(3)*
Bi	г/т	<10(3)*	17(1)	20(1)
Tl	г/т	<10(1)*	20—50(2)*	<10(2)*
As	%	—	—	0,01—0,15*
				0,08(4)
Ni	%	—	—	<0,0006—0,005*
				0,002(4)
Te	г/т	3(1)	<3(1)	<3(1)
Se	г/т	5(1)	5(1)	5(1)

Элементы-примеси в минералах. Состав элементов-примесей в минералах в настоящее время почти не изучен (табл. 5). По данным Г. В. Ручкина, Л. П. Викуловой, Н. А. Горенкова, Т. П. Решиковой, В. Э. Клец, в сфалеритах содержится от 3,4 до 7,5% железа (31 проба). Химическими анализами обнаружено также 0,11—0,23% кадмия, 0,11—0,120% марганца, 7—21 г/т индия, 3 г/т теллура и 5 г/т селена. Единичными спектральными полуколичественными анализами определены кобальт, галлий, олово. В галенитах обнаружены висмут, серебро, сурьма, индий, селен. Спектральным полуколичественным анализом выявлены, кроме того, мышьяк (до 0,2%), олово (до 0,05%), таллий (до 0,005%).

Пириты отличаются низкими концентрациями кобальта и никеля. В них содержится 5 г/т селена и 0,002% висмута (по одной пробе). Спектральным полуколичественным анализом (единичные пробы) отмечены мышьяк (до 0,15%), олово (до 0,02%).



## Палеозойские месторождения

С каледонским этапом складчатости связана группа колчеданных свинцово-цинковых месторождений Еравнинского рудного района. Месторождения приурочены к толщам пород, сложенных пачками переслаивающихся туфов, туффитов, известняков, известняковых брекчий с согласными и секущими телами вулканитов различного состава.

Рудные тела пласто- и линзообразной формы, в основном согласные со слоистостью вмещающих пород, сложены преимущественно мелко- и тонкозернистыми агрегатами пирита, сфалерита, галенита с подчиненными или акцессорными количествами блеклой руды, арсенопирита, халькопирита и некоторых других минералов. Как и в рассмотренном выше случае, выделяются руды существенно колчеданные (пиритовые) и колчеданные свинцово-цинковые. Отдельные участки месторождений и рудных тел отличаются повышенными концентрациями сидерита, магнетита (Озерное месторождение). Характерны в целом также высокие содержания барита в рудах и околорудных породах. Пластовые рудные тела сопровождаются чехлом кварцевых, кварц-карбонатных и баритовых прожилков с пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом.

Во вмещающих породах вблизи рудных тел распространены пиритизация, баритизация, окварцевание, карбонатизация.

В рудах, кроме свинца, цинка, кадмия, содержатся барий (до 1—2%), мышьяк (0,0n%), медь (0,0n%), марганец (до 2%), серебро, таллий. Селен, теллур, золото, галлий, олово, кобальт для руд не характерны. Отношения содержаний цинк — свинец в рудах колеблются в среднем в пределах 4—6. На глубоких горизонтах эта величина отношения увеличивается (до 8—12), на более высоких уровнях уменьшается (до 3—4). Отношения цинк — медь, свинец — медь составляют соответственно более 100 и 15—100.

**Первичные ореолы.** В пределах месторождений развиты контрастные многоэлементные первичные ореолы. Площадь их достигает 1 км<sup>2</sup> и более. Ореолы первого порядка образуют в основном сера, барий и цинк. В пределах общего ореольного поля по интенсивности содержаний элементов четко трассируются рудные тела и зоны рассеянной минерализации, сопоставимые в целом с масштабами оруденения. Участки повышенных концентраций главных рудо- и ореолообразующих элементов сопряжены с ореолами выщелачивания (отрицательные аномалии) ванадия, титана, кремния. Общая ширина ореолов со стороны зальбанд рудных тел нередко превышает первые десятки метров. По простиранию и падению аномальные концентрации элементов прослеживаются на сотни метров.

Все ореолообразующие элементы образуют три зоны. В первой, примыкающей непосредственно к рудным телам, наиболее характерны таллий и мышьяк. В ореолах, распространяющихся от рудных тел на десятки (редко более ста) метров, присутствуют серебро, медь, свинец, цинк. Во внешней зоне их фиксируются в основном сера и барий. В зависимости от размеров рудных тел и концентраций в них элементов параметры ореольных зон варьируют в широких пределах. Перечень ореолообразующих элементов и их концентрации приведены в табл. 28. В отличие от верхних частей рудных тел в подрудных сечениях максимально контрастны отрицательные ореолы ванадия, титана, отмечается резкое уменьшение размеров и продуктивности ореолов цинка, серебра, мышьяка, таллия и особенно бария, заметно увеличивается отношение цинк — свинец.

Наиболее часто встречающиеся отношения содержаний элементов в ореолах (см. табл. 29) составляют для пар цинк — свинец — 0,5—10 (86%), цинк — медь — 10—50 и более (74%), свинец — медь — 5—50 (59%).

Мышьяк концентрируется главным образом в приконтактных частях рудных тел, а также в межрудных прослоях. Повышенные содержания его во вмещающих породах вблизи пологозалегающих тел отмечаются не далее, чем в 5—10 м (чувствительность анализа 0,01%). В участках выклинивания рудных тел ореолы мышьяка вытягиваются на несколько десятков метров. При этом ввиду низкой чувствительности анализа ореол представляется прерывистой зоной. Коэффициент минерализации (на интервале 0—100 м) со стороны висячего бока над крутопадающими телами составляет 20—25%, над пологопадающими — 2—5%.

Таллий часто фиксирует зоны наибольшей минерализации пород. В распределении его отмечаются следующие особенности:

а) максимальные содержания элемента приурочены к рудным телам и особенно к участкам выклинивания их;

б) ореолы в надрудной зоне более мощные, чем в подрудной. На интервале 0—100 м коэффициент минерализации равен соответственно 4—30 и 2—15%;

в) над пологозалегающими рудными телами мощность ореолов в 3—5 раз меньше, чем над крутопадающими;

г) рудные тела с низкими концентрациями свинца и цинка и корневые части тел ореолами таллия, как правило, не сопровождаются (за пределами чувствительности анализа).

Изоконцентраты серебра в тысячные доли процента повторяют в целом контуры рудных тел с промышленными содержаниями свинца и цинка и частично отмечаются во вмещающих породах на продолжении рудных тел после их выклинивания. Лишь в единичных случаях подобные концент-



рации серебра отмечаются автономно от рудных тел. Десяти тысячные доли процента серебра преобладают в первичных ореолах. На Озерном месторождении по одной из разведочных линий суммарная мощность ореола четырех сближенных рудных тел колеблется от 60 до 110 м при коэффициенте минерализации 60—80%.

Медь образует ореолы с максимальными концентрациями в участках выклинивания рудных тел. В случаях пологого залегания рудных тел первичный ореол либо отсутствует, либо он мало контрастный. Коэффициент минерализации здесь не превышает 3—10% (на интервале 0—100 м). Над наклонно залегающими телами коэффициент минерализации увеличивается до 70—100%.

Цинк образует ореолы мощностью до нескольких десятков метров. Максимальные концентрации его приурочены к надрудной части ореолов и участкам выклинивания рудных тел (до 0,6%). Коэффициент минерализации в пределах ореолов непостоянный, особенно в подрудной толще, где он изменяется от 30 до 70%.

Свинец по сравнению с цинком образует ореолы меньших размеров. Наиболее протяженные и интенсивные фиксируются в породах на продолжении рудных тел. Здесь их длина достигает 100 м и более с содержанием элемента от 0,02—0,06 до 0,2%. В подрудном ореоле содержание свинца редко превышает 0,01%.

Ореолы бария наибольших размеров и интенсивности характерны для верхних частей рудных тел. Сильно эродированные тела и корневые части их имеют мало контрастные ореолы этого элемента. Суммарная мощность ореолов слабо эродированных рудных тел достигает 200—300 м, а протяженность — более 600 м при коэффициенте минерализации 70—100%. В приконтактовых частях рудных тел на расстоянии 10—20 м и в зонах, являющихся продолжением рудных тел, содержание бария достигает 2—3%.

Помимо положительных аномалий, в рудных зонах развиты весьма характерные и контрастные отрицательные ореолы ванадия, циркония, титана и менее контрастные — кремния. Так, на одном из профилей Озерного месторождения мощность зоны выноса ванадия и циркония из пород колеблется от 70 до 150 м. На Ульдзутуйском месторождении ширина отрицательных ореолов этих элементов составляет 20—25 м при общей мощности рудных тел 4—5 м.

Расчеты коэффициентов корреляции между содержанием элементов показывают, что реальные связи обеспеченной надежности существуют в парах цинк — свинец (0,83), цинк — таллий (0,67), свинец — таллий (0,86). Связь свинца и цинка с барием непрямолинейная и зависит от содержания других компонентов.

## Содержание элементов-примесей в сульфидах колчеданно-полиметаллических месторождений каледонского этапа

Элемент	Ед. изм.	Содержания $\left(\frac{\text{от-до}}{\text{среднее}}\right)$			
		сфалерит	галенит	пирит	халькопирит
Cd	%	$\frac{0,04-0,39}{0,15(49)}$	$\frac{0,003-0,02^*}{0,007(27)}$	—	$\frac{0,001-0,0048}{0,0026(4)}$
In	г/т	$\frac{0,6-50,0}{14(45)}$	<10(35) *	—	5(4)
Ga	г/т	$\frac{<0,5-5,8}{2,1(21)}$	—	—	<0,5(3)
Ge	г/т	$\frac{\text{He обн.}-65}{9(18)}$	<8(35) *	—	<5(3)
Sn	г/т	$\frac{<0,5-9}{4,5(12)}$	<3(35) *	—	6-14(3)
Co	%	$\frac{0,0002-0,014}{0,003(20)}$	—	$\frac{0,0017-0,014}{0,008(31)}$	—
Bi	г/т	$\frac{\text{He обн.}-17^*}{5(12)}$	$\frac{\text{He обн.}-2000^*}{90(35)}$	<10(45)*	1-6(3)
Tl	г/т	<3(35)	$\frac{10-200^*}{32(35)}$	$\frac{5-70}{27(4)}$	<3(4)
As	%	—	—	0,004(2)	—
Ni	%	—	—	$\frac{\text{He обн.}-0,017}{0,0076(24)}$	—
Te	г/т	—	16(1)	$\frac{<3-16}{5,8(11)}$	—
Se	г/т	—	20(1)	$\frac{2,5-12}{6,2(8)}$	—

**Изотопный состав серы и свинца.** Состав серы и вариации ее изотопных отношений в пиритах, сфалеритах и халькопиритах в целом сходны с протерозойскими колчеданно-полиметаллическими месторождениями. Колебания величин  $\delta S^{34}$  достигают здесь 30‰, варьируя от 2,8 до +27,5‰. В большей части проб из массивных и слоистых колчеданно-полиметаллических руд сера утяжелена относительно метеоритной на 10—14‰. Существенно пиритовые слоистые руды содержат заметно более легкую серу, а величины  $\delta S^{34}$  нередко имеют отрицательные значения. Сульфидная сера минералов, слагающих эпигенетические прожилковые образования, более гомогенна и колеблется в пределах 8,0—12,0‰.



Рудные свинцы проанализированы только на Озерном месторождении. По изотопному составу они гомогенны и относятся в основном к обыкновенным свинцам. Вместе с тем часть проб существенно удревнена относительно вмещающих пород и приближается к аномальным свинцам типа «В». Считается, что свинцы типа «В» могли развиваться в соответствии с одностадийной кривой роста и подобны свинцам, которые испытали омоложение и были переотложены в более молодых породах без контаминации и добавления радиогенного свинца в ходе миграции (Гамильтон, 1968).

**Элементы-примеси в минералах.** Достаточно многочисленными количественными и полуколичественными анализами показывают на узкий спектр элементов, присутствующих в повышенных количествах в минералах (табл. 6). Содержание кадмия в сфалеритах в среднем составляет 0,14%, что в 1,5—2 раза беднее сфалеритов подобных месторождений других регионов. Ранняя генерация сфалерита основной массы руд отличается большей железистостью (1,3—5,70%) и пониженными содержаниями марганца (менее 0,1%). Поздние сфалериты менее железистые. Устойчивой связи между содержаниями кадмия, железа, марганца не обнаруживается. Кроме того, сфалериты характеризуются в целом невысокими концентрациями индия, галлия, германия, олова, таллия, селена и теллура. Галениты отличаются несколько повышенной таллиеносностью при низких содержаниях висмута, олова, теллура.

В халькопиритах содержатся в небольших количествах висмут, олово, кадмий. Не характерны для минерала индий, галлий, германий и таллий (менее 1—5 г/т).

## СЕРНОКОЛЧЕДАНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Серноколчеданные месторождения и проявления известны в нижнепалеозойских отложениях Джидинского, Курбинского, Кондинского рудных районов, входящих в состав Удино-Витимской структурно-формационной зоны ранних каледонид (Беличенко, Хренов, 1965). Подобные проявления связаны также с геосинклинальными образованиями байкальской складчатости в Восточном Саяне, Витимском плоскогорье, Северном Прибайкалье.

Число работ, посвященных геологическому строению, вещественному составу, геохимическим особенностям руд и минералов, невелико, и они касаются в основном Зангодинского месторождения (Плотников, Рипп, 1971; Рипп, Белоголовов, 1968, 1970).

Большинство проявлений залегает в осадочных и вулканогенно-осадочных породах нижнего палеозоя и среднего —

верхнего протерозоя. Рудовмещающие породы представлены в основном углистыми кварц-серицитовыми сланцами и карбонатно-кремнисто-сланцевыми образованиями. В редких случаях колчеданные залежи локализованы в карбонатных породах (месторождение Зангода).

Рудные тела в виде пластовых, линзовых и жилообразных залежей сложены пиритом с переменными количествами кварца, карбонатов, амфиболов. Отдельные проявления имеют существенно пирротинный и пирит-пирротинный составы. Последнее обусловлено, как правило, метаморфическим преобразованием первично пиритовых руд. По структурно-текстурным особенностям выделяются руды слоистые, массивные, полосчатые, прожилково-пятнисто-вкрапленные.

Из рудных минералов, кроме пирита и пирротина, в небольших количествах и не всегда присутствуют халькопирит, магнетит. Специфический минеральный состав имеет Зангодинское месторождение, в рудах которого обнаружены галенит, сфалерит, арсенопирит, станнин, висмутин, халькопирит и другие минералы.

Во вмещающих породах вблизи рудных тел распространены пиритизация, участками — окварцевание, связанные своим происхождением в основном с диагенетическим и метаморфическим преобразованием пород и руд. Эпигенетические окolorудные изменения представлены на Зангодинском месторождении. Здесь в толще доломитовых известняков широко развиты окварцевание, амфибеллизация, карбонатизация, пиритизация.

Существенно пиритовые залежи ассоциируют иногда с залежами магнетитовых руд (месторождения Урса-Нур, Солонго, Зангода). Взаимоотношения этих типов оруденения между собой не выяснены.

Подавляющее большинство проявлений относится к монометалльным, состоящим из серы и железа. В повышенных количествах обнаруживаются также медь (до 0,0n%), кобальт (до 0,00n%), марганец (до 0n — n%). В пределах распространения черносланцевых толщ с пиритовой минерализацией нередко рассеянная золоторудная минерализация (Восточный Саян, Северное Прибайкалье), с которой некоторые исследователи связывают образование россыпных месторождений. Статистически достоверных данных о повышенной золотоносности колчеданных залежей и рассеянной пиритовой минерализации в черносланцевых породах нет.

Поликомпонентный состав имеют руды месторождения Зангода. Здесь выявлены относительно высокие концентрации меди (до 0,1n%), кобальта, цинка, олова, свинца (до 0,0n%), молибдена, висмута (до 0,00n%). Редкие щелочи, селен, теллур, таллий, золото и барий для руд не характерны. Отношения цинк — свинец, цинк — медь, свинец — медь со-



ставляют соответственно 0,2—0,5; 0,8—1,1 и 3—4. Часть сульфидов меди, свинца, цинка, олова пространственно разобщена от колчеданных тел и слагает самостоятельные минерализованные участки.

**Первичные ореолы.** Параметры первичных ореолов серноколчеданных проявлений и месторождений, как правило, не адекватны размерам конкретных рудных тел и месторождений в целом. Бедность элементного состава и низкие концентрации компонентов приводят к тому, что стандартными геохимическими методами серноколчеданные залежи либо не оконтуриваются, либо выявляются малоcontrastными аномалиями. Наибольшую информацию дает изучение минеральных ореолов, в частности пирита (пирротина). Ореолы его фиксируются до первых десятков метров со сторон висячего и лежачего боков рудных залежей. Малоcontrastные, небольших размеров ореолы образуют (но не всегда) медь, титан, марганец, кобальт. Аномальные концентрации их фиксируются обычно не далее 10 м от рудного тела.

Из перечисленных элементов только медь встречается в ореолах часто, но ее концентрации лишь не намного превышают кларки вмещающих пород, и эта разница не всегда улавливается.

Специфический состав имеют первичные ореолы месторождения Зангода. Здесь в ореольных зонах обнаружены повышенные концентрации меди, олова, кобальта, цинка, свинца, мышьяка, висмута, молибдена. Преимущественно крутое падение рудных тел, низкая концентрация элементов в рудах и слабая проницаемость пород предопределили небольшое площадное распространение ореолов. Последние приурочены в основном к надрудной толще и участкам выклинивания рудных тел. Со стороны зальбанд мощность их обычно не превышает 10—20 м. В участках выклинивания рудных тел протяженность ореолов достигает нескольких десятков метров при сечении, в целом соответствующем сечению рудных тел.

Свинец образует нечетко выраженные ореолы, распространяющиеся в стороны от зальбандов рудных тел на расстоянии от 5 до 25 м. Концентрация его здесь колеблется от тысячных долей до 0,1—0,3% при содержании в рудных телах 0,06—0,1%.

Ореолы мышьяка распространяются по нормали от плоскости рудных тел не далее 5—10 м (при чувствительности определения 0,01%). На протяжении нескольких десятков метров он обнаруживается в участках выклинивания рудных тел, главным образом в надрудной части. Содержание элемента колеблется от 0,01 до 0,1%. Глубоко залегающие рудные тела имеют меньшие размеры ореолов и концентрации элементов.

Олово образует ореолы главным образом в участках выклинивания рудных тел, где аномальные концентрации его обнаружены на расстоянии до нескольких десятков метров. По нормали к телам аномальные концентрации олова фиксируются на расстоянии 2—5 м. Максимумы содержаний элемента приурочены к участкам выклинивания крутопадающих тел. Коэффициент минерализации в ореолах непостоянный и меняется от 3—10 до 30—80%.

Ореолы кобальта имеют сравнительно небольшие размеры. По нормали к контактам рудных тел аномальные содержания его отмечаются на расстоянии до 10—20 м. Более мощные ореолы кобальта развиты над крутопадающими рудными телами. Протяженность ореолов в таких случаях достигает десятков метров при преимущественном содержании элемента 0,001—0,007% и коэффициенте минерализации 90—100%.

Мощные рудные тела (более 20 м) окаймлены вдоль заланд зоной аномальных концентраций меди шириной 20—30 м. Вблизи маломощных тел ширина зон не превышает 5—10 м при содержании элемента 0,005—0,02%. В надрудной части крутопадающих тел ореол распространяется на десятки метров. Ширина его в таких случаях несколько больше мощности выклинивающегося тела.

Ореолы молибдена имеют ширину до нескольких метров (иногда 10—15 м). Этого элемента в них содержится от 0,0003 до 0,1%. Наибольшие концентрации зафиксированы в участках выклинивания и надрудной части пологозалегающих тел.

Аналогичные параметры имеют ореолы висмута, в которых концентрация элемента достигает 0,03% при невысоком коэффициенте минерализации.

Цинк первичных ореолов практически не образует, за исключением участков выклинивания рудных тел. Содержание элемента в ореолах в таких случаях составляет 0,007—0,02%.

Около некоторых мощных рудных тел встречены также аномальные концентрации германия. Ширина аномальных зон здесь обычно не более 5 м.

Зональность ореола на месторождении в общем виде выглядит следующим образом. Во внутренней зоне его присутствуют кобальт, медь, олово, цинк, свинец, мышьяк, молибден, висмут. В промежуточной исчезают молибден, висмут, а свинец и мышьяк представлены единичными аномальными точками. Внешняя зона характеризуется ореолами меди. Продуктивность ореолов максимальна в участках выклинивания рудных тел.

Расчеты коэффициентов корреляции между содержаниями элементов показывают, что в отличие от колчеданно-полиме-



галлических месторождений в рассматриваемом случае значимой связи между цинком и свинцом не устанавливается (0,41). Связь элементов в парах свинец — медь, цинк — медь отсутствует.

**Изотопный состав серы** изучен только в пиритах. За исключением Джидотского проявления, величины  $\sigma S^{34}$  варьируют в интервале от  $-4,1$  до  $+8,7\%$ . Большая часть проб отличается сравнительно небольшими вариациями изотопного состава и относительной близостью к метеоритной. Пириты из руд, залегающих среди черносланцевых толщ, с достаточно четкими признаками седиментогенного происхождения нередко имеют облегченный изотопный материал, свидетельствующий о возможных процессах сульфатредукции.

Значительно отличается по изотопному составу сера пиритов Джидотского проявления. Величина  $\sigma S^{34}$  последнего достигает  $+24,4\%$ .

**Элементы-примеси в минералах.** Состав элементов-примесей изучен в основном в пиритах. Отличительной особен-

Таблица 7

Содержания элементов-примесей в сульфидах серноколчеданных месторождений

Элемент	Ед. изм.	Сфалерит	Галенит	Пирит	Халькопирит
Cd	%	$>1,0(2)^*$	$0,01(1)^*$	—	$0,003-0,02(3)^*$
In	г/т	$500(2)^*$	$<10(1)^*$	—	$105(1)$
Ga	г/т	$10(2)^*$	$<10(1)^*$	—	$10-70(3)^*$
Ge	г/т	$<10(2)^*$	$<10(1)^*$	—	$<10(3)$
Sn	г/т	$3(2)^*$	$300(1)^*$	—	$4100(1)$
Co	%	$0,002(2)^*$	—	$\frac{0,017-0,11}{0,035(42)}$	—
Bi	г/т	$10(2)^*$	$>10\ 000(1)^*$	$\frac{10-50}{30(3)}$	$10-100(3)^*$
Ag	г/т	$1-7(2)^*$	$3000(1)^*$	$\frac{1-20^*}{6(28)}$	$20-200(3)^*$
Tl	г/т	$<10(2)^*$	$500(1)^*$	$<3(35)$	$<10(3)^*$
As	%	—	—	$\frac{0,003-0,018}{0,011(32)}$	—
Ni	%	—	—	$<0,005(42)$	—
Te	%	$<0,01(2)^*$	$0,07(1)^*$	$<0,01(28)^*$	$<0,01(3)^*$

Примечание. Галенит, сфалерит и халькопирит — из руд месторождения Зангода, пирит — обобщенные данные.

ностью их является повышенная кобальтоносность, сопоставимая по уровню содержания элемента с железорудными месторождениями. В большей части проб содержание кобальта варьирует в пределах сотых, достигая в отдельных случаях десятых долей процента. В отличие от большинства известных типов месторождений пириты характеризуются также повышенными содержаниями никеля (до 0,072%). В них обнаруживаются тысячные доли процента мышьяка, десятитысячные — висмута. Содержания селена, теллура, таллия находятся за пределами чувствительности анализа (менее 3 г/т).

Пириты месторождения Зангода содержат повышенные количества кобальта и мышьяка (0,0n%) и низкие — никеля (менее 0,002%). Содержания висмута выше, чем в других серноколчеданных проявлениях. Таллий, селен и теллур для минерала не характерны. В галенитах этого же месторождения обнаружены высокие содержания висмута, теллура, таллия, олова, а в сфалерите — кадмия, индия, кобальта, железа (табл. 7). Халькопириты отличаются высокими содержаниями олова, индия, висмута, галлия.

### СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассматриваемый регион характеризуется широким распространением свинцово-цинковой минерализации различных генетических и минеральных типов. Большая часть известной минерализации представлена небольшими проявлениями и непромышленными месторождениями, залегающими среди осадочных, вулканогенно-осадочных, метаморфических и редко интрузивных пород, имеющих возраст в интервале от раннего докембрия до мезозоя. Этап максимального оруденения связан с поздним докембрием и особенно с посленижнепалеозойской эпохой. В обоих случаях время формирования проявлений совпадает в основном с орогенным этапом развития региона. Существует также мнение о более молодом возрасте оруденения (Комаров, 1960), связываемого с этапом мезозойской тектоно-магматической активизации.

Как и для большинства других регионов, генетическая связь оруденения с определенными интрузивными и вулканогенными породами достоверно не доказана.

Выделяются два неравноценных по распространенности генетических типа месторождений — скарновый и гидротермальный. Последний, значительно более распространенный, представлен несколькими минеральными типами. Из них наибольший практический интерес представляют проявления свинцово-цинковых руд, локализованных среди существенно карбонатных пород и имеющих нередко черты телетермальных, хотя и метаморфизованных стратиформных месторождений. Достаточно крупные проявления связаны с барит-полиме-



галлическим типом (месторождение Намама). Жильные кварц-полиметаллические проявления при всей их многочисленности представлены мелкими и непромышленными объектами.

Достаточно крупных промышленных объектов скарнового типа также пока неизвестно.

Известные публикации о геохимических особенностях полиметаллических месторождений касаются исключительно Восточного Забайкалья. Для Восточного Саяна, Прибайкалья и Западного Забайкалья такие исследования немногочисленны (Рипп, 1970, 1971).

### **Свинцово-цинковые гидротермальные месторождения**

Среди этой группы нами рассматриваются в основном месторождения, локализованные среди карбонатных пород. Они имеют некоторые черты сходства с месторождениями нерчинского типа в Восточном Забайкалье, миссисипского — в Америке.

Оруденение приурочено к карбонатным и карбонатсодержащим породам протерозоя и нижнего палеозоя. Рудные тела в виде жил- и линзообразных залежей, зон с гнездовым и прожилково-вкрапленным оруденением локализованы в тектонических нарушениях, межпластовых срывах, контактовых частях известняков со сланцами или другими по составу породами. Особенность их — неравномерное распределение рудной минерализации, резкая смена богатых свинцово-цинковых руд массивного сложения бедными вкрапленными и прожилковыми.

Вмещающие породы в большинстве случаев слагают небольшие ксенолиты среди интрузий палеозойских гранитоидов. Околорудные изменения в них представлены в основном окварцеванием, незначительной пиритизацией, амфиболизацией (тремолитизацией), карбонатизацией. На отдельных месторождениях выявлены в небольших количествах минеральные парагенезисы, близкие к скарновым (пироксены, амфиболы, гранат, эпидот, скаполит — месторождения Худак, Нахой-Дошо). Участки скарнированных пород обычно пространственно разобщены от рудных тел. Минералогическая зональность в околорудноизмененных породах проявляется в том, что во внешней зоне развиты прожилковая карбонатизация и окварцевание, а по мере приближения к рудным телам возрастает интенсивность окварцевания, появляются амфиболизация (актинолитизация), слабая пиритизация, иногда незначительное скарнирование.

Руды сложены в основном галенитом и сфалеритом, в подчиненных количествах присутствуют кварц, актинолит, блеклая руда, пирит, арсенопирит, халькопирит. Как акцессорные

и не во всех случаях обнаружены станнин, касситерит, буланжерит, флюорит. Соотношения галенита и сфалерита на различных месторождениях и даже в одном рудном теле варьируют в широких пределах (вплоть до мономинеральных агрегатов). Выявляется не совсем четкая минералогическая зональность, выражающаяся в том, что глубокие части рудных тел более обогащены сфалеритом, а верхние — галенитом и особенно блеклой рудой. Минеральные составы руд месторождений и проявлений, связанных с разновозрастными этапами, существенно друг от друга не отличаются.

Подобно полиметаллическим месторождениям других регионов, в рудах, кроме свинца и цинка, в повышенных количествах присутствуют кадмий и серебро (до 0,0п%), медь, сурьма и мышьяк (до 0,п%). Отдельные проявления (Доватка, Худак, Троицкое) обогащены до десятых-тысячных долей процента оловом, висмутом (до 0,002%). Содержание бария не превышает 0,03—0,1%, не характерно также наличие бора, фтора, железа, ртути, редких щелочей (рубидия, цезия, лития), бериллия. В ряде случаев отмечено некоторое повышение (относительно вмещающих пород) содержания марганца (до 1—2%). Месторождения из различных структурно-металлогенических зон несколько отличаются составом руд. В частности, в Туркино-Бамбуйской зоне месторождения зачастую обогащены оловом. В Восточном Саяне полиметаллические месторождения содержат, кроме того, повышенные концентрации серебра, золота и нередко мышьяка, висмута. Беднее состав примесей в месторождениях Джидинского рудного района.

**Первичные ореолы.** На поверхности ореолы изученных месторождений обычно не превышают площадь 0,5 км<sup>2</sup>. Относительно большие размеры в основном связаны с широким развитием непромышленной рассеянной минерализации. Ореолы рудных тел более локальны. В стороны от зальбанд они прослеживаются не далее, чем на 10—20 м, в участках выклинивания на продолжении рудных тел обнаруживаются на расстоянии до 200 м и более. Состав ореолов относительно беден. Главные ореолообразующие элементы — цинк, свинец, серебро. В отдельных аномальных точках, реже в небольших ореолах, в непосредственной близости от рудных тел обнаруживаются медь, сурьма, олово, марганец. Не характерны для месторождений ореолы бария, стронция.

Ореолы отличаются высокой дисперсией содержаний элементов и низкими коэффициентами минерализации (от 10 до 50%). Форма и размеры их связаны главным образом с интенсивностью и особенностями тектонической подготовки вмещающих пород. Четкого зонального строения аномалий в пределах изученных месторождений установить не удается. В рудных телах и в непосредственной близости от них



фиксируются кадмий, сурьма, серебро, олово. Из них только серебро и олово образуют мало контрастные ореолы (коэффициент минерализации в пределах ореола не превышает 20—40%).

Свинец на Худакском месторождении образует зону аномальных содержаний шириной 90 м (при мощности рудной зоны 3—8 м). Содержание элемента здесь составляет 0,001—0,3% при коэффициенте минерализации в среднем 40—50%. Ореол образован серией мелких зон гидротермальной проработки, сопровождаемых вкрапленной и прожилково-вкрапленной свинцово-цинковой минерализацией. В подрудной части ореол прослежен более чем на 100 м. Данных о надрудной части ореола нет. Можно предполагать, что длина его также не менее 100 м.

Цинк образует зону аномальных концентраций до 80 м (при мощности рудных тел до 8—10 м). Ореолы характеризуются крайней неравномерностью распределения элемента. Коэффициент минерализации для него составляет 30—60%, содержание колеблется от следов до 0,1—1%. В подрудной части ореол прослежен на расстоянии более 100 м. По простиранию после выклинивания рудного тела (месторождение Доватка) аномальные концентрации элемента фиксируются до 50 м.

На отдельных месторождениях опробованием выявляются первичные ореолы кремния и натрия. Так, на Худакском месторождении зона окремнения мощностью не менее 80 м пространственно совмещена с первичными ореолами свинца и цинка. Ореол натрия на этом же месторождении приурочивается к участку выклинивания главного рудного тела, фиксируя зону наибольшего гидротермального изменения пород. Максимальная мощность ореола 20 м, на глубину он прослежен до 60 м.

Расчеты коэффициентов корреляции свидетельствуют о сильной значимой связи между цинком и свинцом (до 0,86), свинцом и медью (до 0,72). Связи между коррелирующими элементами с глубиной ослабевают (по данным изучения Худакского месторождения). Между содержаниями цинка и бария связь слабая отрицательная.

В 80—90% проб из первичных ореолов шести изученных месторождений и проявлений значения отношений цинк — свинец составляют 5 и меньше. При этом пробы с преобладанием цинка и свинца распределились в целом равномерно (за исключением месторождения Доватка). 90% значений отношений цинк — медь имеют величину более 5, из них около 75% — более 10. В подавляющем большинстве проб (95%) свинец преобладает над медью. Максимальная частота отношений их содержаний (70%) лежит в интервале от 5 до 50.

**Изотопный состав серы и свинца.** Изотопный состав серы (сульфидной) изучен на 14 месторождениях и проявлениях. Как показали анализы, величины  $\sigma S^{34}$  варьируют в пределах от  $-0,85$  до  $+11,5\%$ . Единичный анализ выявил значение  $\sigma S^{34}$ , равное  $+21,84\%$  (Огненное проявление). В 70% проб величина  $\sigma S^{34}$  ложится в интервале от  $+2$  до  $+9\%$ . В среднем сера утяжелена относительно метеоритной на  $4-5\%$ . Несмотря на большую пространственную разобщенность проявлений, сера в них в целом достаточно гомогенна. Сосуществующие галенит и сфалерит отличаются друг от друга по изотопному составу не более чем на  $1-3\%$  (по данным изучения двух месторождений).

Рудные свинцы месторождений характеризуются значительной гетерогенностью изотопного состава (табл. 8). Большая часть проб представлена аномальными свинцами типа «В», хотя в ряде случаев выявляются свинцы типа «I». Аномальные свинцы обнаружены А. Я. Жидковым, К. А. Марковым и на других проявлениях (участки Хортяг, Рыбачий). Сравнение изотопного состава свинца пород и руд показывает, что, как и в других регионах, свинец в большинстве случаев был вынесен из подстилающих более древних толщ (в процессе их переработки) и переотложен на верхних структурных этапах в основном без существенной добавки радиогенных изотопов. Лишь в локальных участках, контролируемых зонами повышенной тектоно-магматической активности, отмечается существенный привнос радиогенного свинца (месторождение Доватка).

**Элементы-примеси в минералах.** По составу и уровню содержания примесей в минералах рассматриваемые месторождения мало отличаются от подобных в других регионах. Обобщенные данные по изученным месторождениям приведены в табл. 9. Существенная особенность сфалеритов — их

Таблица 8

Изотопный состав рудного свинца полиметаллических месторождений

Месторождение	Колич. проб.	Отношения к $Pb^{204}$			Модельный возраст*, млн. лет
		$Pb^{206}$	$Pb^{207}$	$Pb^{208}$	
Тарбагатайское **	6	18,28	15,65	37,64	572
Доваткинское . . . . .	4	18,80	15,88	39,63	415
Худакское . . . . .	6	18,17	15,87	38,70	610
Судуровское **	6	18,33	15,78	38,22	710
Нахой-Дошо . . . . .	4	17,26	15,80	38,41	1188
Зун-Дабан . . . . .	4	18,54	16,06	39,06	619

\* Возраст рассчитан по модели Холмса-Гаугерманса.

\*\* Дополнены анализами Н. И. Полевой (ВСЕИЕИ).



Таблица 9

Содержания элементов-примесей в сульфидах свинцово-цинковых месторождений

Элемент	Ед. изм.	Содержания $\left(\frac{\text{от-до}}{\text{среднее}}\right)$	
		сфалерит	галенит
Cd	%	$\frac{0,21-1,0}{0,35(22)}$	$\frac{<0,001-0,067}{0,023(36)}$
In	г/т	$\frac{1-27}{12(21)}$	$\frac{0,4-19}{<5(36)}$
Ga	г/т	$\frac{1,5-99}{6(22)}$	$<0,5(11)$
Ge	г/т	$<5(20)$	$<5(11)$
Sn	г/т	$\frac{<0,5-240}{91(10)}$	$\frac{1-860}{250(11)}$
Co	%	$\frac{0,0008-0,0085}{0,0028(22)}$	
Bi	г/т	$\frac{<1-4,8}{1,3(11)}$	$\frac{1-300}{20(35)}$
Ag	г/т	3—100(47)*	$\frac{514-7430}{3400(13)}$
Tl	г/т	$<3(20)$	$<3(41)$

обедненность галлием (обычно до 8 г/т), германнем (менее 5 г/т), индием (в среднем до 25 г/т). Содержание кадмия варьирует в пределах 0,2—0,5%, марганца — 0,1—0,8, кобальта — 0,003—0,008%.

Галениты характеризуются низкими содержаниями таллия, индия, теллура (см. табл. 9). Содержание висмута неравномерное и обычно низкое. Концентрация олова в галенитах и сфалеритах зависит от приуроченности проявлений к определенным металлогенным зонам. Выделяются отдельные участки, в которых сульфиды руд обогащены этим элементом (до 240 г/т — в сфалеритах и до 860 г/т — в галенитах).

Единичными спектральными полуколичественными анализами исследовались пириты (месторождения Худак, Тарбагатай); в них обнаружены повышенные количества серебра и кобальта (до 0,0n%).

Жильные кварц-полиметаллические проявления распространены на площадях большинства рудных зон. Они связаны с докембрийским, палеозойским и мезозойским этапами тектоно-магматической активности региона и, как правило, сопровождают месторождения различных генетических и минеральных типов.

Рудные тела в виде жил и прожилковых зон сложены кварцем с вкрапленностью и гнездами, иногда полосовидными выделениями сульфидов, карбонатов. Из сульфидов чаще всего присутствуют пирит, галенит, сфалерит, халькопирит. Другие минералы (арсенопирит, блеклая руда, буланжерит, пирротин, станнин) встречаются спорадически и не всегда.

Во вмещающих породах вблизи жил распространены окварцевание, карбонатизация, слабая пиритизация.

Первичные ореолы на проявлениях не изучались. Отрывочные данные имеются по составу элементов-примесей в минералах. В галенитах (проявления Мунгут, кл. Безымянный) содержится до 0,1—0,3% висмута, до 2 г/т индия и до 4 г/т олова. Таллий, теллур, селен в минерале не установлены (чувствительность анализа 3 г/т). Сфалериты отличаются низкими содержаниями индия и галлия (первые граммы на 1 т).

Изотопный состав серы определен в галенитах трех проявлений Северного Прибайкалья (участки Чакчеун и Галенитовый) и Витимском нагорье (кл. Безымянный). Величина  $\delta S^{34}$  в них варьирует от  $-0,65$  до  $+7,4\%$  (по проявлениям Северного Прибайкалья данные А. Я. Жидкова).

### Скарновые свинцово-цинковые месторождения

Месторождения подобного типа относительно немногочисленны. Они известны среди карбонатных и карбонатно-сланцевых пород, слагающих ксенолиты среди гранитоидов палеозойского возраста. Рудные залежи, как правило, пространственно совмещены со скарновыми телами пироксен-гранатового, эпидотового составов и приурочены большей частью к контактам известняков со сланцами, эффузивами, дайковыми телами или к зонам рассланцевания непосредственно в известняках (проявления Етомынское, Шуллурхагское, Крутое, Хакусинское). Рудные тела неправильной, жилло- и линзообразной формы, содержат, кроме ассоциации скарновых силикатных минералов, также галенит, сфалерит, пирит, пирротин, арсенопирит, нередко магнетит, блеклые руды. Содержание перечисленных минералов варьирует в широких пределах. В качестве второстепенных и аксессуарных обнаружены станнин, гематит, марказит, самородное серебро.

Анализами в рудах установлены высокие концентрации



свинца и цинка (до десятков процентов), меди, мышьяка (до первых процентов), висмута и олова (до 0,0n %).

**Первичные ореолы.** По данным профильного сколового опробования поверхности Етомынского месторождения (по В. С. Грачеву и В. Ф. Белоголовову), первичные ореолы около рудных тел образуют цинк, свинец, мышьяк, олово, серебро, молибден, висмут. Суммарные ореолы высококонтрастные, но удалены в стороны от зальбанд рудного тела обычно не далее первых десятков метров. В порядке убывания ширины ореола элементы располагаются в следующий ряд: свинец — цинк — олово — мышьяк — молибден — серебро — висмут — кадмий — вольфрам. Последние элементы обычно не выходят за пределы рудных тел. Параметры ореолов фтора на проявлениях не определены. Флюоритизация визуально отмечена на расстоянии в десятки метров от рудных тел.

**Изотопный состав серы и свинца.** Изотопный состав серы определен в галените, сфалерите, арсенопирите, пирите трех рудопоявлений Восточного Саяна и Джидинского рудного района. Полученные величины  $\delta S^{34}$  в целом гомогенны, лежат в области положительных значений и варьируют от +1,1 до +7,7‰, обычно не превышая +3,0‰. Сосуществующие минералы (галенит — сфалерит, пирит — арсенопирит) имеют близкие значения изотопных отношений, различающиеся не более чем на 1,5—2,0‰.

На одном из проявлений в Джидинском рудном районе определен изотопный состав свинца галенитов. Анализами выявлена обедненность минерала радиогенными изотопами. Рассчитанный модельный возраст (по модели Холмса-Гаутерманса) колеблется от 785 до 1117 млн. лет. Средние значения отношений (по 3 пробам) составляют: для  $Pb^{206}/Pb^{204}$  — 17,21, для  $Pb^{207}/Pb^{204}$  — 15,54, для  $Pb^{208}/Pb^{204}$  — 37,67.

**Элементы-примеси в минералах.** Имеется ограниченное число анализов мономинеральных фракций галенита, сфалерита и единичные — пирита, арсенопирита.

Особенностью галенитов является повышенное содержание в них на отдельных проявлениях мышьяка (до 0,6%), сурьмы (до 0,2%), неравномерное — висмута (от 0,001 до 1%). Олово, индий, таллий для галенита в целом не характерны (до 15 г/т). В галените из Хакусинского проявления обнаружено до 0,2% теллура (1 проба).

Сфалериты отличаются повышенной железистостью (до 9,5% железа). В них содержится до 0,5% марганца, до 0,6% кадмия, до 0,001% галлия, индия, кобальта. В пирите участка Илеэ обнаружены повышенные количества кобальта (0,018%), висмута (0,0069%), олова (0,0085%), низкие — никеля (0,0022%). Арсенопирит из этого же проявления также содержит повышенные количества серебра (0,005%), висмута (0,002%), олова (0,003%).

Наряду с многоэтапным геосинклинальным развитием в регионе неоднократно проявлялась постконсолидационная тектоно-магматическая активизация, с которой связано формирование целой группы молибденовых и вольфрамовых месторождений. Среди них продуктивным считается этап ранне-мезозойской тектоно-магматической активизации. В докембрии известны лишь мелкие проявления шеелита в скарнах и вольфрамита в пегматитах. Более широко распространено вольфрамовое оруденение в палеозое, приуроченное пространственно к многофазным интрузиям гранитоидов нижнего и среднего — верхнего палеозоя и представленное преимущественно шеелитоносными скарнами и гидротермальными кварц-шеелитовыми месторождениями. Кварц-вольфрамитовая минерализация для этого периода мало характерна, хотя в зонах герцинской складчатости известны небольшие месторождения.

Оруденение, связанное с орогенным этапом и тектоно-магматической активизацией, отличается минералогическими и геохимическими особенностями, использование которых может позволить достаточно четко проводить их разбраковку.

Все многообразие эндогенной вольфрамовой минерализации группируется в 3 генетических типа — пегматитовый, пневматолито-гидротермальный и гидротермальный, подразделяемые на 6 минеральных типов (Батурина и др., 1975).

Молибденовое оруденение также представлено пегматитовыми, пневматолито-гидротермальными и гидротермальными месторождениями, включающими несколько минеральных и структурно-морфологических типов.

Несмотря на широкое распространение молибденовой и вольфрамовой минерализаций и большие объемы геологических работ, достаточно полные данные по геохимическим особенностям имеются лишь для ограниченной группы гидротермальных месторождений. В качестве эталонных объектов нами использованы месторождения преимущественно Джиндинского рудного района. Именно на этих месторождениях многочисленными исследователями изучены особенности генезиса, геологического строения, минералогия руд и околорудных метасоматитов (Бесова, 1939; Смольянинов, 1940; Кушнарев, 1947; Игнатович, 1959, 1971; Повилайтис, 1960; Шмотов, 1958; Вахромеев, Маслов, 1961; Вахромеев и др., 1962; Туговик, 1964; Коржинский, 1967; Онтоев, 1966, 1968, 1969, 1971; Косалс, Дмитриева, 1971, 1972; и др.). На этих же месторождениях осуществлен большой объем геохимических исследований (Агапова, 1961; Онтоев, 1966—1968, 1971; Рипп и др., 1971, 1975; Косалс и др., 1973; Петровская и др., 1974; Батурина и др., 1975). Особенно детальные исследования на



Джидинском и отчасти Булуктаевском месторождениях проведены Д. О. Онтоевым и Я. А. Косалсом. Существенная часть их аналитических данных использована в нашей работе.

### Вольфрамовые месторождения

Существуют разной степени детальности и достоверности сведения по геохимическим особенностям грейзеновых — кварц-мусковитовых с вольфрамитом и молибденитом, скарновых — шеелитовых и молибденит-шеелитовых, гидротермальных — кварц-шеелитовых, кварц-вольфрамитовых, кварц-сульфидно-гюбнеритовых с флюоритом месторождений.

#### *Грейзеновые проявления*

Вольфрамовые проявления грейзенового типа в рассматриваемом регионе редки. Самостоятельного значения они, как правило, не имеют и обычно генетически связаны с крупными гидротермальными молибденовыми и вольфрамовыми месторождениями. Оруденение локализовано в большинстве случаев в апикальных частях массивов гранитов раннемезозойского, палеозойского возраста или приурочено к зонам тектонических нарушений среди гранитоидов, редко — к экзоконтактовым частям массивов.

Рудные тела в виде залежей и зон линзообразной и неправильной форм сложены кварц-мусковитовыми грейзенами и грейзенизированными породами. Выделяются обычно две стадии минерализации — формирование мусковитовых и кварц-мусковитовых грейзенов и затем локализация кварцевых прожилков и жил. С первой стадией связана главная масса фтора, молибдена, олова (в виде примеси в слюдах и касситерита), отчасти вольфрама, бериллия. Кварцевые прожилки в призальбандовой части содержат шеелит, вольфрамит, а в самой жильной массе — в небольших количествах висмутовые минералы, пирит, галенит. Общее содержание сульфидов в рудах обычно не превышает 1%.

В рудах, кроме вольфрама (до 0,6%), почти постоянно отмечаются молибден (0,0003—0,047%), олово, висмут, свинец, цинк, серебро, бериллий (обычно в количествах, не превышающих тысячные — сотые доли процента).

Мусковит, как и на большинстве известных грейзеновых месторождениях других регионов, отличается повышенными содержаниями редких щелочей (лития, рубидия — до 1%).

Данные о составе элементов-примесей в других минералах отсутствуют.

Участки минерализации сопровождаются слабоконтрастными первичными ореолами молибдена, олова, бериллия, ли-

тия, фтора и редкими аномальными точками вольфрама, висмута, свинца.

Изотопный состав сульфидной серы и рудного свинца не изучался.

### *Скарновые месторождения*

Большая часть скарновых проявлений, в которых определено то или иное количество вольфрама, известна за пределами зон мезозойской тектоно-магматической активизации и отмечена в областях распространения палеозойских гранитоидов. Такие скарны распространены в Восточном Саяне, Северо-Байкальском нагорье, Витимском плоскогорье. Значительно реже вольфрамоносные скарны локализованы в экзо-контактах мезозойских и протерозойских гранитов.

Скарны в виде линзо-, жило-, гнездообразной или неправильной формы тел приурочены к контактовым частям карбонатных пород с гранитами, иногда обнаруживаются в некотором удалении от контакта. По составу среди них выделяется переходный ряд от гранатовых до пироксеновых, нередко с эпидотом, амфиболами. На скарны наложены более поздние кварцевые, кварц-кальцитовые прожилки гидротермальной стадии. Значительная часть рудных минералов, в частности шеелита, связана с этой стадией.

Кроме шеелита, из рудных минералов присутствуют молибден, магнетит, халькопирит, пирротин, пирит. В качестве второстепенных и аксессуарных встречаются висмутин, станнин, золото. Суммарное количество рудных минералов (исключая магнетит) обычно не превышает 1—3%. Распределение их крайне неравномерное. Они образуют незакономерную рассеянную вкрапленность, редко — небольшие гнездообразные скопления, выполняют интерстиции в скарнах и кварцевых прожилках.

Кроме вольфрама и обычно молибдена, в рудах в повышенных количествах присутствуют медь, висмут (до 0,1%), иногда олово (до 0,15%).

Вольфрам, молибден, медь, висмут образуют типичную ассоциацию и в первичных ореолах. К ним же нередко добавляются олово, марганец. Параметры ореолов так же, как и элементы-примеси и изотопный состав минералов, не изучены.

### *Кварц-шеелитовые месторождения*

Типичными представителями кварц-шеелитовых месторождений являются Скалистое, Казачья Поляна, Гранитное, Байсинское, Право-Асиктинское. Большая часть их локализована в областях развития посленижнепалеозойского гранитного



магматизма, в небольшом количестве в зонах мезозойской тектоно-магматической активизации и байкальской складчатости.

Проявления приурочены в основном к осадочно-метаморфическим толщам, имеющим в своем составе карбонатные и карбонатсодержащие породы. В пределах рудных полей известны, как правило, крупные штоки биотитовых гранитов преимущественно палеозойского возраста. В настоящее время имеются лишь единичные работы, в которых приводится описание геологии и минералогии кварц-шеелитовых месторождений (Хренов, 1963; Батурина и др., 1975). Публикации, касающиеся геохимических особенностей месторождений региона, практически отсутствуют.

Рудные тела в виде кварцевых жил и прожилковых зон содержат в своем составе, кроме кварца и шеелита, небольшое количество сульфидов, сульфосолей, флюорита. Из сульфидов представлены обычно пирит, галенит, сфалерит, халькопирит. В качестве акцессорных встречены блеклые руды, в частности серебросодержащие, станнин, молибденит, золото, энаргит, пирротин, арсенопирит. Из нерудных также отмечены тремолит, волластонит, серицит. Общее содержание рудных минералов на жильную массу обычно не превышает 1—3%. Они образуют неравномерную вкрапленность и небольшие гнездообразные скопления, изредка отмечается поясовое, грубополосчатое распределение.

Во вмещающих породах вблизи рудных тел распространены окварцевание, тремолитизация, актинолитизация, незначительно проявлены флюоритизация и пиритизация.

Отличительная черта месторождений — их общая бедность сопутствующими компонентами. Это касается в первую очередь элементов, геохимически близких к вольфраму (молибден, тантал, ниобий), летучих (фтор, сера) и редких щелочей (рубидий, литий, цезий). Минерализация вполне определенно может быть отнесена к малосульфидному типу.

Кроме вольфрама, в рудах присутствуют цинк, свинец (до 1—2%), медь, мышьяк, сурьма (до 0,0%), фтор (1—3%), серебро, на отдельных проявлениях — олово.

Цезий, рубидий, фосфор, германий, ниобий, молибден, барий и ряд других элементов анализами не обнаружены или присутствуют в количествах, не превышающих кларковые. Анализы на бор и ртуть не проводились.

По предварительным данным, максимальные концентрации мышьяка и сурьмы тяготеют к наиболее высоким уровням жил. В этом же направлении отмечается некоторое увеличение содержания свинца.

Отношения содержаний элементов руд в парах цинк — свинец, цинк — медь и свинец — медь составляют соответственно 1,5; 3,0 и 1,8.

**Первичные ореолы** изучены на двух месторождениях (Скалестом и Казачьей Поляне). Аномальные концентрации около рудных тел отмечены для кремния, магния, сурьмы, цинка, свинца, меди, молибдена, фтора, серебра, Вольфрам (в виду низкой чувствительности анализа) представлен в пределах ореола отдельными аномальными точками. Характерная особенность ореолов — их небольшие размеры, низкие концентрации ореолообразующих элементов. Интенсивность и ширина ореолов в общем случае сопоставимы с параметрами рудного тела.

По данным нескольких пересечений рудных тел, наибольший ореол образует цинк (до 4 м в сторону от зальбанд) с содержанием  $0,0n-0,н\%$ , наименьший — медь и серебро (до 0,5 м), концентрации соответственно до 0,005 и 0,003%. Ореол сурьмы несплошной в силу высокой дисперсии содержаний и низкой чувствительности анализа. Аномальные содержания отмечены на расстоянии до 4 м от жилы. Ореолы кремния и магния выходят за пределы опробованного интервала в 4 м.

Схема зональности распределения элементов около рудных жил (по нормали к их плоскости) выглядит следующим образом (начиная от наиболее удаленных частей ореола): кремний, магний — сурьма (?) — цинк — серебро — свинец — медь, вольфрам (?), молибден.

Вертикальная зональность проявлена в асимметрии ореола различных срезов рудного тела. К верхним уровням среза жилы тяготеют повышенные содержания сурьмы, к нижним — магния.

Величины отношений содержаний элементов (в ореолах месторождений) составляют для пар цинк — свинец менее  $1-53\%$  и от 1 до  $10-42\%$ , цинк — медь — от 1 до  $10-58\%$ , свинец — медь — от 1 до  $10-64\%$ .

**Элементы-примеси в минералах.** Данные по составу и особенностям распределения элементов-примесей в минералах практически отсутствуют. Единичными анализами (месторождение Скалистое) выявляется, что галениты (3 пробы) отличаются высокими концентрациями теллура, сурьмы (до  $n\%$ ). В них же обнаружены висмут (до  $0,02\%$ ), мышьяк (до  $0,6\%$ ), олово (до  $0,02\%$ ), отсутствуют индий, таллий (чувствительность определения  $0,001\%$ ). Повышенные содержания теллура, олова, сурьмы ( $0,н\%$ ), а также серебра и мышьяка ( $0,0n\%$ ) выявлены и в халькопиритах (2 пробы), которые так же, как и галенит, обеднены индием и таллием.

До десятых долей процента обнаружены мышьяк и серебро в пиритах (2 пробы). Характерной особенностью их является преобладание никеля над кобальтом (отношение никель — кобальт равно 2—3). Содержание двух последних элементов одного порядка и колеблется в пределах сотых долей процента.



Имеется также единичный анализ шеелита, в котором обнаружено 0,006% меди и 0,8 г/т висмута. Содержания олова и молибдена лежат за пределами чувствительности метода анализа (менее 0,5 г/т).

*Кварц-вольфрамитовые малосульфидные  
месторождения*

Большая часть изученных проявлений малосульфидного кварц-вольфрамитового типа сосредоточена в Джидинском рудном районе (Байбинское, Харгантуйское и др.). Оруденение связывается в основном с этапом раннемезозойской тектоно-магматической активизации, хотя существуют представления о локализации части его в эпоху герцинской складчатости (Щеглов, 1966).

Оруденение представлено единичными жилами и группами жил, реже — прожилковыми зонами среди гранитов (Харгантуйское), осадочно-метаморфических пород (Байбинское) и известняков (Запсар, Экин-Убур).

Гюбнерит (вольфрамит) в жилах распределен неравномерно в виде вкрапленников, реже — гнездообразных и ленточных скоплений. В небольших количествах и жилах присутствуют сульфиды, слюды, полевые шпаты, флюорит, шеелит. Из сульфидов диагностированы пирит, галенит, сфалерит, блеклая руда, молибденит, висмутин. Формирование минерализации происходило обычно в течение нескольких последовательно сменявшихся стадий.

Характерным околорудным изменением во вмещающих породах является грейзенизация (мусковитизация). Значительно слабее проявлены флюоритизация, окварцевание, пиритизация. Мощность зон околорудного изменения обычно (визуально) не более 0,5 м (редко до 1,5 м) в стороны от зальбанд. Пиритизация отмечена в породах, как правило, значительно обогащенных первичным железом. Грейзены мусковитового, кварц-мусковитового состава содержат в небольших количествах флюорит, альбит, пирит. Иногда в акцессорных количествах присутствуют шеелит, берилл.

По геохимическим особенностям среди кварц-вольфрамитовых месторождений выделяются две группы. Проявления одной из них ассоциируют с комплексными молибден-вольфрамитовыми месторождениями этапа раннемезозойской тектоно-магматической активизации (Харгантуй, Запсар, Экин-Убур). Другая группа по геологическим признакам более древняя и, вероятно, связана со средне-верхнепалеозойским магматизмом (Алтан, Байбинское).

Первая группа отличается большей фтороносностью (до 4—8%  $\text{CaF}_2$ ), наличием повышенных количеств свинца, цин-

ка, сурьмы, мышьяка (1%), для второй характерна более высокая оловоносность.

К типоморфным примесям руд следует отнести фтор и рубидий; второстепенное значение имеют свинец, цинк, медь, литий, цезий. В сравнении с месторождениями других регионов отмечаются в целом пониженные содержания олова, ниобия, скандия.

Распределение элементов в рудных телах неравномерное и определяется составом минеральных парагенезисов, слагающих те или иные участки жил. Контактные зоны (включая ближайший экзоконтакт), а также участки серицитовых и мусковитовых агрегатов содержат вольфрам, фтор (до  $n\%$ ), рубидий, литий (до  $0,1\%$ ), олово и цезий. Центральные части обогащены халькофильными элементами и нередко фтором.

**Первичные ореолы** изучены на Байбинском месторождении (жила № 21). Около рудного тела установлены повышенные концентрации молибдена, меди, цинка, свинца, рубидия, фтора, цезия, лития. Ореолы вольфрама (при чувствительности анализа  $0,003\%$ ) малоконтрастные. Аномальными точками представлены фосфор, бериллий. Ширина ореола со стороны залъбанд обычно не превышает первого десятка метров. Выделяются две группы элементов — с повышенной контрастностью (цинк, свинец, медь) и пониженной (молибден, рубидий, цезий, фтор). Аномалии цинка свинца по форме и распределению близки к нормальным диффузионным ореолам и характеризуются экспоненциальным характером убывания концентраций в стороны от рудной жилы. Строение ореолов фтора, молибдена и редких щелочей более сложное. Летучие элементы обогащают ореол со стороны всячего бока жилы. Выявляется прямая зависимость параметров ореола от размеров рудного тела и концентрации компонентов в нем. Для элементов второй группы характерно смещение максимума ореола в сторону от контакта рудной жилы, а также обогащенность со стороны всячего бока. Для остальных элементов четкого зонального распределения не устанавливается.

Изотопный состав серы и рудного свинца месторождений не изучен.

**Элементы-примеси в минералах.** На месторождениях проанализированы сульфиды, сульфосоли, вольфрамит, шеелит, флюорит и алюмосиликаты.

Вольфрамит (гюбнерит) отличается крайне бедным составом примесей. Большинство из них (висмут, медь, свинец, цинк и др.), встречающихся спорадически, связано с внеструктурными включениями других минералов. Показательным представляется отсутствие или крайне низкие концентрации в вольфрамитах ниобия, тантала, скандия, олова. В гюб-



неритах проявлений Запсар, Экин-Убур, Харгантуй обнаружены молибден (до 10 г/т), иттрий, цирконий (до 0,01%). Вольфрамиты представлены существенно марганцевой разновидностью (21—23% MnO), лишь отдельные пробы с Байбинского месторождения несколько обогащены железом (до 7,5% FeO).

Низкими нормами содержаний примесей отличаются и шеелиты. В них обнаруживаются редкие земли (до тысячных долей процента), в отдельных пробах — медь и стронций (до 0,01%).

Флюориты также содержат стронций и редкие земли преимущественно иттриевой группы (до 0,0п%). В отдельных пробах выявляются молибден, олово, висмут, бериллий, свинец, связанные в основном с веструктурными примесями.

В серицитах (и мусковитах) из зальбанд и жильного выполнения постоянно содержатся стронций, барий, олово, литий (0,0п%), галлий (до 300 г/т), свинец, бериллий (0,00п%).

Галениты, сфалериты и халькопириты проанализированы в основном на Байбинском месторождении. Общая их особенность — относительная обогащенность оловом (до 100—200 г/т), висмутом (до 1% в галените, 0,06% в халькопирите и 0,1% в сфалерите), индием (до 340 г/т в сфалерите, 10 г/т в галените), обедненность таллием, германием (менее 3—5 г/т). В галенитах (6 проб) присутствует серебро (до 0,1%); в отдельных случаях — сурьма и теллур (до 0,3 и 0,1 соответственно; участок Экин-Убур).

Сфалериты содержат до 0,6% кадмия, 6—10 г/т галлия, до 10 вес. % железа, 0,001—0,006% кобальта (18 проб). В халькопиритах отмечаются повышенные количества серебра (до 0,03%), висмута (до 0,06%). В пирите (1 проба) обнаружены кобальт (0,006%), никель (0,003%), мышьяк (0,03%), висмут (0,001%). Таллий и теллур анализами не выявлены.

Особенностью блеклой руды рудопроявлений Экин-Убур и Запсар (6 проб) являются повышенная серебро- и висмутоносность (до 0,3%), отсутствие индия, таллия, теллура, олова, германия, галлия (чувствительность анализа 0,0008%).

#### *Кварц-сульфидно-гюбнеритовые с флюоритом месторождения*

Сюда входит группа весьма специфичных месторождений, связанных с этапом мезозойской тектоно-магматической активизации и представляющих наибольший практический интерес из всех вольфрамитовых гидротермальных проявлений. Представители этого типа — Булуктаевское, Холтосонское, Бом-Горхонское месторождения. Оруденение пространственно

и генетически связано с кварц-молибденитовой минерализацией, образует в конечном счете комплексные полистадийные месторождения.

Месторождения представлены сериями кварцевых жил, прожилков и штокверковыми зонами, располагающимися среди осадочно-метаморфических пород, гранитов, диоритов. На Булуктаевском месторождении часть руд локализована в трубообразном теле брекчии, обломочная часть которой представлена породами, различными по составу и генезису.

Оруденение сформировалось в течение нескольких последовательно сменявшихся стадий минерализации. В результате интеграции продуктов постмагматических процессов образовались многокомпонентные минеральные ассоциации. Состав их в зависимости от пространственного совмещения стадий на различных участках непостоянен.

В предрудный этап в пределах гранитных массивов, с которыми связывается оруденение, и в их ближайших экзоконтактах проявились грейзенизация, микроклинизация, альбитизация, сопровождающиеся рассеянной молибденовой, вольфрамовой и редкометальной минерализациями.

Выделяются два главных этапа рудообразования, разделенные между собой межрудными дайками аплитов, сиенит-порфиров, кварцевых сиенитов. В первый образовалось исключительно молибденное оруденение, представленное молибденитовыми и кварц-молибденитовыми прожилками, во второй — редкометально-гюбнеритовое и затем сульфидно-гюбнеритовое оруденение. В завершающий этап сформировались низкотемпературные кварцевые, кварц-карбонатные с флюоритом, иногда сульфидами, жилы и прожилки. К этому же периоду большинство исследователей относит образование жил халцедоновидного кварца с флюоритом.

На месторождениях обнаруживаются в пределах локальных зон флюоритизация, пиритизация, грейзенизация, окварцевание, происходившие в различные этапы формирования оруденения. Общая площадь измененных пород превышает 1—5 км<sup>2</sup>. Грейзенизация приурочена в основном к рудоносным интрузивным массивам, а флюоритизация, пиритизация, окварцевание фиксируются далеко за пределами эпицентров оруденения и нередко не имеют прямой связи с конкретными рудными телами. Образование флюорит-слюдистых метасоматитов сопровождалось выносом кремнезема и натрия, привносом фтора, серы, калия, редких щелочей, накоплением железа (Онтоев, 1966; Коржинский, 1967).

В пострудный этап локально проявились флюоритизация, окварцевание и карбонатизация, особенно на периферии рудных полей и месторождений.

Минеральный состав отдельных месторождений изучен многими исследователями. Достаточно полные сведения, ка-



сающиеся их вещественного состава, можно найти в работах М. В. Бесовой (1939), И. П. Кушнарера (1947), М. М. Повилайтис (1960), А. Ф. Коржинского (1967) и др.

В составе вольфрамоносных жил присутствуют кварц, гюбнерит, шеелит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды, флюорит, серицит, зйкиннит, родохрозит и другие минералы. Большая часть гюбнерита приурочена к зальбандовым зонам жил, а сульфидов — к центральным. Жилы оторочены слюдистыми и флюорит-слюдистыми метасоматитами. Мощность зон околожильного изменения пород достигает десятков метров (Повилайтис, 1960).

Одна из отличительных особенностей месторождений — широкий комплекс элементов, присутствующих в рудах и околорудных метасоматитах. К типоморфным элементам руд относятся вольфрам, фтор, цинк, свинец, висмут, медь, а в слюдистых образованиях — рубидий (0, *n*, %, литий, цезий (до 0,00*n* %). Не характерны ниобий, тантал, бор, скандий. Не образует в целом существенных концентраций и олово, хотя в грейзенах и отдельных участках руд оно присутствует в количестве 0,00*n*—0,0*n* %.

Распределение редких щелочей и щелочных металлов в продуктах рудного процесса месторождений Джидинского рудного поля рассмотрено Л. И. Агаповой (1961), Д. О. Онтеевым (1966), Я. А. Косалсом (1967). Многочисленные анализы показывают, что эти элементы входят в основном в состав слюд и в меньшей мере — полевых шпатов.

Отношения содержаний цинк — свинец, цинк — медь, свинец — медь в рудах равны соответственно 0,5—2; 2—5; 2—4.

Распределение элементов и минералов в пределах рудных тел связано с явлениями моноасцедентной (фациальной) зональности отложения. Последовательность рудоотложения в течение большинства стадий минерализации выражена примерно по одной схеме. Начальные периоды характеризуются высокой активностью щелочей, фтора и серы, затем формируется редкометалльная минерализация и, наконец, возрастает роль полиметаллического и медного оруденения. Вместе с тем вертикальная и горизонтальная зональность выражена нечетко и улавливается в основном только в мощных и протяженных жилах. Для Холтосонского месторождения на флангах рудных тел отмечаются повышенные количества родохрозита и более высокие концентрации сульфидов свинца и цинка. За пределами контуров промышленных вольфрамовых жил обычно распространены маломощные прожилки с существенно полиметаллической минерализацией. В отдельных жилах, удаленных от эпицентра оруденения, увеличивается количество блеклой руды.

Величины градиентов удельных продуктивностей  $WO_3$  в главных рудных жилах, рассчитанные К. А. Марковым и

## Оценка эрозионного среза месторождения Холтосон (по К. А. Маркову и Н. Ф. Никитину)

Степень среза рудных тел	Отношение продуктивностей, м %			
	Cu/WO <sub>3</sub>	Zn/WO <sub>3</sub>	Pb/WO <sub>3</sub>	Pb/Cu
Верхние горизонты	0,05—0,15	0,25—0,4	0,7—0,8	7—20
Центральные части	0,2—0,6	0,3—1,0	0,8—2,0	2—10
Корневые »	0,12—0,3	0,6—1,0	0,3—0,9	1,5—2,5

Н. Ф. Никитиным на Холтосонском и Инкурском месторождениях, колеблются в основном в пределах 0,07—0,15 м% (на интервале 32 м). Величина градиента, по их данным, несколько больше у жил с малой протяженностью на глубину и большим углом падения. Аналогично изменение удельной продуктивности цинка, свинца и меди.

Отношение продуктивностей элементов в жилах может служить показателем уровня их эрозионного среза (табл. 10). Вместе с тем расчет корреляционных отношений между элементами на Холтосонском месторождении указывает на крайне слабую связь переменного знака. Уровень среза практически не влияет на силу и знак связи. И лишь для пары вольфрам — свинец отмечается значимая и сильная связь, усиливающаяся с глубиной (до 0,75—1,0).

Подобные расчеты, проведенные на Булуктаевском и Инкурском месторождениях, показывают также на неустойчивость и обычно на незначимость связей между элементами. Это свидетельствует о недостаточной надежности вычисленных параметров уровня среза рудных тел, приведенных в табл. 10.

В случае штокверкового вольфрамового оруденения, по данным геохимического опробования на глубоких горизонтах, отмечаются в целом более высокие концентрации висмута и молибдена.

**Первичные ореолы.** В составе геохимического спектра первичных ореолов (по материалам изучения Булуктаевского, Холтосонского и Инкурского месторождений) представлены сера, фтор, рубидий, литий, цезий, молибден, вольфрам, висмут, олово, цинк, свинец, медь, серебро, мышьяк, сурьма, образующие положительные аномалии. Неконтрастные отрицательные ореолы образуют (не всегда) барий, ванадий, стронций. По отношению к промышленному оруденению ассоциация может быть раздифференцирована на следующие группы элементов-индикаторов: прямые — вольфрам, молибден, бе-



риллий, висмут, фтор, косвенные — рубидий, литий, цезий, цинк, свинец, олово, мышьяк, сурьма. Эта широкая ассоциация неоднородна и является суммарной характеристикой двух основных этапов формирования месторождений — предрудного (ореолы фтора, серы, редких щелочей, частично молибдена, вольфрама, олова) и рудного (молибден, вольфрам, висмут, фтор, халькофильные элементы).

Концентрация элементов в ореолах наиболее высока для штокверкового оруденения, где фиксируются постепенные переходы от фоновых до промышленных содержаний, и значительно меньше — около кварцево-жильных тел.

Аномальное поле на месторождениях превышает 4—5 км<sup>2</sup>. Наиболее широкий ореол образуют фтор, сера, молибден, редкие щелочи. Площадь распространения редких металлов достигает 2—3 км<sup>2</sup>. Около отдельных кварц-вольфрамитовых жил ореолы обычно невелики и сопоставимы с мощностью рудных тел.

Морфология аномалий в плане и вертикальной плоскости разнообразна и обусловлена структурно-геологическими условиями конкретных участков. В случае штокверкового оруденения они имеют неправильную форму, соответствующую контурам промышленных участков, около жильных тел — линейную. Нередка асимметрия в строении и размерах ореола особенно для пологозалегающих жил. Со стороны всячего бока они обычно больших размеров и значительно контрастнее, чем со стороны лежащего. Параметры ореолов конкретных элементов в большинстве случаев не связаны прямолинейно с продуктивностью рудных тел. Так, при изменении продуктивности в жилах от 0,06 до 0,5 м % суммарное значение продуктивности ореолов висмута, вольфрама, цинка, свинца, меди (Холтосонское месторождение) практически не меняется и составляет в основном 0,25 млн. геофонов, а сумма редких щелочей, олова и молибдена закономерно колеблется от 2,5 до 150 млн. геофонов.

Внутренняя зона ореолов характеризуется максимальной продуктивностью редких металлов, щелочей, серы, цинка, свинца, олова, серебра и висмута, в промежуточной зоне исчезают олово и висмут, а во внешней — аномалии фтора, серы, рубидия, цезия. Во внешней зоне распространены также мелкие разрозненные проявления свинца, цинка и меди, образующие несплошной ореол.

Вертикальная зональность выглядит следующим образом. В надрудной части — аномальные содержания фтора, рубидия, цезия, лития, мелкие полиметаллические проявления и аномальные точки мышьяка, сурьмы, серебра. Срезы на уровне сечений рудных тел обладают максимальным набором элементов. На нижних срезах отмечается относительное повышение концентраций висмута, олова.

Матрица коэффициентов линейной корреляции между содержаниями элементов в ореоле сульфидно-гюбнеритового месторождения

W <sub>i</sub>	Be	Pb	Cu	Li	F	
0,42	0,06	0,1	0,15	0,03	0,2	Mo
	0,78	0,7	0,1	0,8	0,7	W
		0,7	0,04	0,95	0,94	Be
			0,36	0,86	0,77	Pb
				0,2	0,06	Cu
					0,9	Li

Вблизи кварц-вольфрамитовых жил наибольшие содержания устанавливаются для вольфрама, цинка, свинца, висмута. Максимумы фтора, серы, редких щелочей смещены в сторону экзоконтактов.

Величины отношений цинк — свинец варьируют в основном от менее 0,5 до 5,0 (80% проб). В этих же пределах изменяются величины отношений цинк — медь (75% проб).

Расчет коэффициентов линейной корреляции между содержаниями элементов в пределах штокверкового вольфрамового оруденения одного из месторождений показывает, что значимые положительные связи существуют между фтором и вольфрамом, бериллием, литием и свинцом, между литием, вольфрамом и бериллием (табл. 11).

Значения корреляционных связей между содержаниями элементов значительно варьируют от выборки к выборке, и абсолютные величины их не обладают индикаторными свойствами.

**Изотопный состав серы и свинца.** Анализ пиритов, сфалеритов, халькопиритов и галенитов, отобранных из руд четырех месторождений, показал на гомогенность изотопного состава.

Таблица 12

Изотопный состав серы минералов сульфидно-гюбнеритовых месторождений

Минерал	Колич. проб.	$\delta S^{34}, \text{‰}$	
		интервал	среднее
Пирит . . . . .	7	(-1,10)—(+3,85)	+1,5
Халькопирит . . .	2	(-0,35)—(+1,19)	+0,42
Галенит . . . . .	1	— —	+1,5
Сфалерит . . . . .	2	(+0,40)—(+2,2)	+1,3



Изотопный состав рудного свинца сульфидно-гюбнеритовых месторождений. По данным Я. А. Косалса, А. А. Тычинского, Г. С. Риппа, Л. Д. Шпилова (1973) и Н. И. Полевой

Месторождение	Колич. проб	Отношение к $Pb^{208}$ $\left(\frac{\text{от—до}}{\text{среднее}}\right)$		
		$Pb^{206}$	$Pb^{207}$	$Pb^{208}$
Холтосонское . . .	12	17,89—19,76	15,43—16,47	39,99—42,25
		18,73	15,85	39,57
Булуктаевское . .	4	17,75—18,16	15,21—15,66	37,20—38,71
		17,93	15,45	37,86

ва серы и близость ее к метеоритной (табл. 12). Вариации изотопных отношений не превышают 3—4‰, а значения  $\sigma S^{34}$  составляют в среднем +1,18‰. Сосуществующие минералы отличаются близкими изотопными отношениями, не отличающимися более чем на 1—1,5‰.

В отличие от серы рудные свинцы месторождений характеризуются значительной гетерогенностью изотопного состава (табл. 13). Среди них известны аномальные свинцы типов «В» и «I». Свинцы типа «I» распространены довольно широко, что обусловлено добавкой радиогенных изотопов, образовавшихся в результате распада урана и тория, обнаруженных в повышенных количествах в магматических породах, с которыми связывается оруденение. Ни один из расчетов возраста свинца по различным моделям (проведенных без поправок) не дает удовлетворительной сходимости с возрастом руд, определенным другими методами (в частности, уран-торий-свинцовым). Свинцы оказываются либо удревленными за счет контаминации из нижележащих пород, либо обогащенными радиогенными изотопами.

**Элементы-примеси в минералах.** Количественными и полуколичественными методами проанализированы слюды, полевые шпаты, галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, айкиннит, блеклые руды, гюбнерит, шеелит, флюорит, молибденит и другие второстепенные минералы. При обобщении нами использованы также данные М. М. Повилайтис, Д. О. Онтоева и А. С. Дудыкиной, Л. И. Агаповой, В. А. Басиной, Е. Е. Кучкина, В. И. Игнатовича, Е. В. Францкой, А. Ф. Коржинского, касающиеся в основном месторождений Джидинского рудного поля.

Слюды и полевые шпаты отличаются повышенными концентрациями рубидия, цезия, низкими — галлия (табл. 14), что для редкометальных месторождений обычно (например, для молибден-вольфрамовых месторождений Казахстана).

Содержания элементов-примесей в слюдах и полевых шпатах сульфидно-гюбнеритовых месторождений, %

Минерал	Li	Rb	Cs	Ga
Серицит (мусковит) . .	0,074(53)	0,25(42)	0,0056(51)	0,019(18)
Микроклин . . . . .	0,0009(38)	0,15(36)	0,0025(36)	0,0022(6)

Вольфрамиты представлены существенно марганцевой разновидностью. Содержание железа в них обычно не превышает первых весовых процентов. Минерал отличается низкими концентрациями ниобия (до 0,4%  $Nb_2O_5$ ), тантала (до 0,045%  $Ta_2O_5$ ), скандия (до 0,004%). В шеелитах содержится до 0,42% молибдена, не обнаружено значимых содержаний редких земель (до 0,01%, иногда десятые доли), стронция, меди.

Состав примесей в сульфидах приведен в табл. 15, из которой видно, что минералы в целом обогащены висмутом, кадмием, индием, теллуrom, обеднены германием, галлием.

Максимальные концентрации висмута отмечены в сульфидах ранних генераций. При удалении от эпицентров оруденения на флангах месторождений уровень содержаний этого элемента уменьшается в 10 раз и более. Аналогичная тенденция проявлена у олова и менее четко — у индия. Значительная часть висмута связана с механической примесью его собственных минералов. Повышенная сереброносность характерна для галенита, халькопирита, блеклой руды и пирита. В связи с этим на отдельных месторождениях описаны самостоятельные серебро-висмутовые минералы (Онтоев и др., 1965, 1967). Для пиритов не характерны никель, мышьяк (менее 0,005%), но в несколько повышенных концентрациях присутствует кобальт (среднее 0,021%).

В блеклой руде (6 проб) выявлены повышенные количества серебра (до 0,33%), висмута, теллура (1—1,5%), селена (до 48 г/т), индия (до 20 г/т).

Флюориты содержат в своем составе редкие земли преимущественно иттриевой группы. Суммарное количество их в минерале не превышает первых сотых долей процента (30 проб).

### Молибденовые месторождения

Молибденовые месторождения известны во многих структурно-металлогенических зонах региона. Образование их происходило в каледонский, герцинский и раннекиммерийский тектоно-магматические этапы. В допалеозойский период



Содержание элементов-примесей в минералах сульфидно-гюбнеритовых месторождений

Элемент	Ед. изм.	Содержания (от—до среднее)				
		сфалерит	галенит	пирит	халькопирит	блеклая руда
Cd	%	$\frac{0,31-1,14}{0,67(20)}$	$\frac{\text{He обн.}-0,073}{0,02(15)}$	—	$\frac{0,001-0,012}{0,005(7)}$	—
In	г/г	$\frac{11-300}{141(19)}$	$\frac{<1-23}{5(14)}$	—	$\frac{<5-10}{<5(10)}$	$\frac{<1-20}{8(5)}$
Ga	г/г	$\frac{0,3-10}{3,7(15)}$	$\frac{<0,5-5,5}{<0,5(7)}$	—	$<0,5(8)$	—
Ge	г/г	$<5(11)$	$\frac{\text{He обн.}-2}{\text{He обн. (9)}}$	—	$<5(6)$	—
Sn	г/г	$\frac{<0,5-54}{13(10)}$	$\frac{<0,5-9,7}{4(9)}$	—	$\frac{<0,5-8}{5(8)}$	—
Co	%	$\frac{<0,001-0,007}{0,0008(14)}$	—	$\frac{0,002-0,06}{0,021(37)}$	—	—
Bi	г/г	—	$\frac{5-28\ 000}{6600(19)}$	$\frac{\text{Сл.}-1100}{210(20)}$	$\frac{10-130}{15(8)}$	$\frac{60-12\ 000}{3000(6)}$
Tl	г/г	—	$\frac{<3-150}{13(17)}$	$<3(25)$	$<3(8)$	—
As	%	—	—	$\frac{\text{He обн.}-0,017}{0,0029(33)}$	—	—
Ni	%	—	—	$<0,005(32)$	—	—
Te	г/г	—	$\frac{9-300}{180(5)}$	$\frac{8-75}{14(8)}$	23(1)	$\frac{13-10\ 000}{1900(8)}$

сколько-нибудь существенных скоплений молибдена не известно. В большинстве рудных районов молибденовое оруденение связывается генетически или парагенетически с кислыми и субщелочными гранитами гуджирского, витимканского и других интрузивных комплексов. Промышленные концентрации элемента известны пока лишь в связи с гранитоидами раннемезозойского этапа тектоно-магматической активизации. Приводимые в работе данные касаются исключительно гидротермальных месторождений.

Оруденение локализовано в гранитах, гранодиоритах, кристаллических сланцах. Оно представлено кварцево-жильными телами, прожилковыми зонами в рудоносных интрузиях или во вмещающих породах, в непосредственной близости от них.

Е. Е. Батуриной выделяется несколько генетических и минеральных типов месторождений, отличающихся друг от друга составом минеральных парагенезисов, приуроченностью к определенным структурным элементам региона и связью с различными по составу и возрасту магматическими породами.

В составе рудных тел присутствуют в основном кварц, молибденит, пирит. Наличие других минералов — признак специфических минеральных типов. Такими минералами являются халькопирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, айкинит, висмутин, флюорит, магнетит и др.

С позиций геохимических особенностей выделяются месторождения, обогащенные фтором и серой, обогащенные только серой и обедненные фтором и серой. В связи с этим в первой группе постоянно отмечаются повышенные количества минералов редких элементов, сульфидов железа, висмута, свинца, цинка, меди (Первомайское, Булуктаевское, Орекитканское, Мало-Ойногорское месторождения). Во второй группе молибденовые руды сопровождаются небольшими количествами сульфидов (Чемуртаевское, Долон-Модонское, Дылымдыкское). Третья группа представлена существенно кварц-молибденитовыми проявлениями.

### *Месторождения первой группы*

Это обычно комплексные полистадийные месторождения, генетически тесно связанные с вольфрамовым оруденением. Молибденовая минерализация выделилась в начальные этапы локализации месторождений. Высокая концентрация летучих и щелочей в рудообразующих растворах определила интенсивную переработку вмещающих пород. Здесь широко проявлены процессы грейзенизации, флюоритизации, микроклинизации и альбитизации.



Таблица 16

**Изотопный состав сульфидной серы молибденовых месторождений первой группы**

Минерал	Колич. проб	$\delta S^{34}$ , ‰	
		интервал	среднее
Пирит . . . .	9	(-2,50)—(+2,50)	-0,10
Сфалерит . . .	3	(-1,85)—(+1,80)	+0,5
Галенит . . . .	1		-2,9

В кварцево-рудных прожилках и жилах, кроме молибденита, пирита и флюорита, присутствуют в небольших количествах айкнит, мусковит (серицит), сфалерит, галенит, халькопирит, шеелит, вольфрамит, полевые шпаты и другие редко встречающиеся минералы.

Молибденовые руды содержат в своем составе цинк, свинец, висмут, вольфрам, литий (до 0,0п%), фтор (до п%), рубидий (до 0,п%), олово. Редкие щелочи и олово в основной своей массе связаны со слюдистыми, флюорит-слюдистыми околорудными метасоматитами. Здесь же отмечаются более высокие содержания бериллия.

**Первичные ореолы** на месторождениях образовались в два этапа — предрудный и рудный. В первый, в связи с процессами грейзенизации и флюоритизации, сконцентрировалась основная масса фтора, редких щелочей, олова, частично молибдена, бериллия, вольфрама. С рудным этапом связаны молибден, фтор, цинк, свинец, висмут, медь, частично вольфрам и бериллий. Общая площадь аномального поля месторождений, образованного фтором, редкими щелочами, молибденом, серой, превышает 1 км<sup>2</sup>. Ореолы рудных тел более локальны и контрастны. В состав их входят молибден, фтор, аномальные точки (реже ореолы) свинца, цинка, висмута, бериллия,

Таблица 17

**Изотопный состав рудного свинца молибденовых месторождений первой группы**

Месторождение	Колич. проб	Отношения к Pb <sup>204</sup>		
		Pb <sup>206</sup>	Pb <sup>207</sup>	Pb <sup>208</sup>
Первомайское . .	6	18,59	15,77	39,83
Мало-Ойногорское	2	17,84	15,30	37,27

*Примечание.* По Первомайскому месторождению данные Я. А. Косалса, А. А. Тычинского, Г. С. Риппа и Л. Д. Шипилова (1973), по Мало-Ойногорскому — Н. И. Полевой.

## Содержания элементов-примесей в сульфидах молибденовых месторождений первой группы

Элемент	Д. изм.	Содержания (от—до среднее)				
		сфалерит	галенит	пирит	халькопирит	молибденит
Cd	%	$\frac{0,20-0,75}{0,49(5)}$	$\frac{0,005-0,05}{0,022(4)}$	—	<0,001 (1)*	—
In	г/т	40—170(4)	0,3(1)	—	100(1)*	—
Ga	г/т	<0,5—43(3)	—	—	10(1)*	—
Ge	г/т	<5(3)	—	—	<10(1)*	—
Sn	г т	59—158 (3)	—	—	150(2)*	—
Co	%	<0,001(9)	—	$\frac{0,003-0,085}{0,022(16)}$	—	—
Bi	г/т	$\frac{1000-1900}{1600(3)}$	700—2600(2)	$\frac{3-800}{109(12)}$	60(2)*	—
Ag	г/т	—	600(1)	1,6—4,8(4)	10(2)*	—
Tl	г/т	<10(3)	<3(2)	<3(10)	<10(1)*	—
As	%	—	—	Не обн.—0,003 $\frac{0,001(14)}$	—	—
Ni	%	—	—	<0,001(16)	—	—
Fe	г/т	—	—	—	—	$\frac{\text{Сл.—70}}{25(9)}$
Se	г/т	—	—	—	—	$\frac{\text{Сл.—66}}{16(12)}$
Re	г/т	—	—	—	—	$\frac{2-40}{15(52)}$

Примечание. Анализы молибденита по Я. М. Яблокову, Н. П. Гаврилову, В. И. Игнатовичу, А. С. Филько, А. П. Карабулькину, Л. Н. Беззлях.



вольфрама. Морфология ореолов повторяет в общем виде контуры рудных тел. Внешние зоны месторождений трассируются ореолами фтора, рубидия, серы. В центральных частях наиболее контрастны аномалии молибдена, вольфрама, висмута, бериллия. Ореолы свинца, цинка, лития малоконтрастны и не совпадают с эпицентрами рудных тел. Для ореолов характерно в целом преобладание свинца над цинком и переменные соотношения цинка и меди.

**Изотопный состав серы и свинца.** Сера пирита, сфалерита и галенита четырех месторождений по своему составу гомогенна и близка к метеоритному стандарту (табл. 16). При этом она несколько облегчена относительно метеоритной. Вариации изотопных отношений серы не превышают 5‰. Сосуществующие минералы имеют близкий изотопный состав.

Единичные анализы имеются по составу рудного свинца (табл. 17).

Как видно из табл. 17, составы свинца месторождений значительно отличаются друг от друга. При этом на Первомайском месторождении они существенно обогащены радиогенными изотопами. Для этого же месторождения характерен более высокий фон радиоактивных элементов.

**Элементы-примеси в минералах.** Данные о составе и содержаниях элементов-примесей в сульфидах представлены в табл. 18. Общая особенность минералов — высокое содержание в них висмута, индия, кадмия, в отдельных минералах — олова. Пирит и молибденит отличаются в целом низким уровнем концентраций примесей. Во флюоритах присутствуют в небольших количествах редкие земли (до 0,17%) преимущественно иттриевой группы. Слюды (мусковит) из грейзенов, флюорит-слюдистых метасоматитов и околожильных зон обогащены рубидием (до 0,4%), литием (до 0,1%), цезием (до 0,03%). Эти же элементы обнаружены в полевых шпатах (микроклине) из рудных, кварц-полевошпатовых прожилков, участков микроклинизации (табл. 19).

Таблица 19

Содержания элементов-примесей в слюдах и полевых шпатах молибденовых месторождений первой группы, % (по данным Л. И. Агаповой, Д. О. Онтоева, Я. А. Косалса и нашим)

Минерал	Li	Rb	Cs	Ga
Мусковит . . . . .	0,043(21)	0,264(22)	0,012(16)	
Микроклин . . . . .	0,001(11)	0,16(12)	0,002(11)	0,0048(12)

## Месторождения второй группы

Оруденение генетически связано с палеозойскими и ранне-мезозойскими магматическими комплексами и распространено значительно шире, чем месторождения первой группы. Представлено жильными и штокверковыми образованиями среди гранитоидов и осадочно-метаморфических пород. В составе рудных прожилков присутствуют в основном молибденит и пирит. Как акцессорные минералы, в самостоятельных прожилках отмечены галенит, сфалерит, арсенипирит, берилл, висмутин, флюорит. Месторождения подобного типа обычно мелкие и непромышленные по масштабам. Вмещающие породы в пределах рудных полей окварцованы, пиритизированы, в незначительной степени грейзенизированы, флюоритизированы.

Для руд характерны низкие содержания фтора, редких щелочей, отсутствие значимых содержаний висмута (менее 0,001%). Не отмечается повышенных количеств вольфрама, хотя спорадически в грейзенах они усугубляются. В случаях относительно широкого развития грейзенов отмечаются олово (до 30—100 г/т), литий (до 0,03%), рубидий (до 0,2%), фтор (до 0,3%). В пределах сотых (иногда десятых) долей процента присутствуют свинец, цинк, в пределах тысячных (иногда до сотых) — медь. Отношение цинк — свинец в рудах большинства проявлений и месторождений меньше 1.

**Первичные ореолы** месторождений почти не изучены. Известные размеры ореолов рассеянной минерализации молибдена колеблются от сотен квадратных метров до 1 км<sup>2</sup>. В пределах молибденовых ореолов, отличающихся низкой продуктивностью и контрастностью, спорадически отмечаются аномальные точки, реже — небольшие аномалии фтора, олова, свинца, цинка, бериллия, лития, иногда мышьяка.

**Изотопный состав серы.** Как и в случае с молибденовыми месторождениями первой группы, изотопный состав серы проанализированных сульфидов близок к метеоритному и варьирует от -0,18 до +3,8%. Величины  $\delta S^{34}$  для пирита несколько больше отклоняются в сторону положительных значений (в среднем +2,1%).

Данные по изотопному составу свинца отсутствуют.

**Элементы-примеси в минералах.** Состав элементов-примесей минералов приведен в табл. 20. Характерной чертой пиритов является повышенная мышьяковистость, в галенитах обнаружены висмут, серебро, теллур, в небольших количествах присутствуют олово, индий. Сфалериты обеднены кадмием, индием, галлием, германием. Слюды из грейзенов зальбанд рудных прожилков содержат литий (до 0,0п%), рубидий (до 0,п%), цезий (до 0,00п%), олово (до 10 г/т), галлий (до 0,01%).



Содержания элементов-примесей в сульфидах молибденовых месторождений второй группы

Элемент	Ед. изм.	Содержания $\left(\frac{\text{от—до}}{\text{среднее}}\right)$			
		сфалерит	галенит	пирит	молибденит
Cd	%	$\frac{0,1—0,6^*}{0,31(23)}$	$\frac{0,003—0,01^*}{0,006(28)}$	—	—
In	г/т	$\frac{\text{He обн.—}600^*}{200(23)}$	He обн.—3(3)	—	—
Ga	г/т	He обн.—10(23)*	<0,5(1)	—	—
Ge	г/т	<10(23)*	<5(1)	—	—
Sn	г/т	He обн.—10(23)*	$\frac{3—10^*}{8(29)}$	—	—
Co	%	<0,001(23)*	—	$\frac{0,014—0,069}{0,038(6)}$	—
Bi	г/т	He обн.—10(23)*	$\frac{30—10\ 000^*}{600(31)}$	$\frac{<5—10}{<5(5)}$	—
Ag	г/т	$\frac{3—10^*}{7(23)}$	$\frac{20—3000^*}{1650(28)}$	$\frac{1—2,5}{1,7(3)}$	—
Tl	г/т	<10(23)*	$\frac{<10—600^*}{160(28)}$	<10(39)*	—
As	%	—	—	He обн.—0,30(44)*	—
Ni	%	—	—	$\frac{<0,001—0,052}{0,012(6)}$	—
Te	г/т	—	He обн.—900(2)	—	15—56(3)
Se	г/т	—	—	—	3—9(2)
Re	г/т	—	—	—	6—28(3)

Примечание. Анализы молибденитов — по А. П. Карабулькину.

## ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Специальных работ по изучению геохимических особенностей золото-кварцевых месторождений региона (так же, как и других формационных типов) практически не проводилось. Известны единичные исследования отдельных рудных минералов на состав элементов-примесей (В. А. Загоскин, Г. А. Феофилактов).

Месторождения представлены кварцево-жильными телами с золотом, небольшими количествами пирита, сфалерита, халькопирита, арсенопирита, пирротина, блеклой руды. Рудные тела залегают среди осадочных, метаморфических пород преимущественно докембрийских. Реже подобная минерализация встречается среди пород более молодого возраста.

В рудах, кроме золота и серебра, присутствуют в переменных количествах свинец, цинк (0,0п—п%), медь, мышьяк (до 0,п%), в отдельных участках — сурьма, теллур, висмут. Отношения содержаний цинк — свинец, цинк — медь, свинец — медь колеблются в основном в пределах 0,1—1,2; 2—40 и 2—100 соответственно. Характерно преобладание свинца над цинком в большинстве проб.

**Первичные ореолы.** По ограниченному количеству проб из околорудных зон установлено, что первичные ореолы элементов не распространяются далее чем на 1—3 м от зальбанд рудных тел. Ореолы слабоконтрастные, с низким коэффициентом минерализации (обычно не более 50%) и высокой дисперсией содержаний элементов в пробах. В составе их обнаружены золото, серебро, цинк, свинец, медь, мышьяк. Зональность ореолов не изучена.

**Изотопный состав серы.** Имеются единичные анализы сульфидной серы из шести рудопроявлений различных участков региона. Проанализированы пирит, сфалерит, галенит и халькопирит, отобранные из рудных тел. Во всех случаях сера утяжелена относительно метеоритной и характеризуется положительными значениями величины  $\sigma S^{34}$ , варьирующими в пределах +1,2 — +11,6‰. При этом большая часть значений лежит в интервале +1,2 — +6,8‰  $\sigma S^{34}$ , и лишь на одном из рудопроявлений они превышают 10‰.

**Элементы-примеси в минералах.** Состав элементов-примесей в минералах приведен в табл. 21. Анализы показывают, что халькопирит содержит в отдельных пробах повышенные количества олова (до 70 г/т) и висмута (0,07—1%). Для него не характерны индий, галлий, германий (менее 5 г/т). До 0,1% висмута присутствует в блеклой руде и до 1% — в галенитах. В сфалеритах фиксируются несколько повышенные количества галлия, олова и сравнительно небольшие — индия. Все эти минералы отличаются высокими содержаниями серебра.



Содержания элементов-примесей в сульфидах и сульфосолях золото-кварцевых месторождений (по данным Г. А. Феофилак-  
това, А. В. Загоскина и нашим)

Элемент	Ед. изм.	Содержания $\left(\frac{\text{от-до}}{\text{среднее}}\right)$				
		сфалерит	галенит	пирит	халькопирит	блеклая руда
Cd	%	$\frac{0,1-1,0^*}{0,61(19)}$	$\frac{\text{Не обн.}-0,06^*}{0,017(18)}$	—	$\frac{\text{Не обн.}-0,02^*}{0,006(6)}$	—
In	г/т	$\frac{1,5-63}{13(28)}$	<5(1)	—	<5(1)	—
Ga	г/т	$\frac{0,5-18,2}{6,9(28)}$	<0,5(1)	—	<0,5(1)	—
Ge	г/т	<5(1)	<5(1)	—	<5(1)	—
Sn	г/т	$\frac{\text{Не обн.}-8,2}{4,3(28)}$	$\frac{\text{Не обн.}-26}{4(20)}$	—	$\frac{\text{Не обн.}-100}{39(8)}$	—
Co	%	$\frac{0,001-0,03^*}{0,021(12)}$	—	$\frac{\text{Не обн.}-0,3^*}{0,006(59)}$	$\frac{\text{Не обн.}-0,001^*}{0,0008(5)}$	—
Bi	г/т	—	$\frac{\text{Не обн.}-10\ 000^*}{500(30)}$	<10(36)*	10—10 000(3)*	1000(2)*
Tl	г/т	<10(1)	<10(1)	—	<10(1)	—
As	%	—	—	$\frac{\text{Не обн.}-0,3^*}{0,07(48)}$	Не обн. —0,2(3)*	—
Ni	%	—	—	$\frac{\text{Не обн.}-0,06^*}{0,003(60)}$	Не обн. —0,01(3)*	—

Расчеты коэффициентов корреляции между содержаниями элементов в сфалеритах показывают на отсутствие значимой связи между медью, оловом, галлием и индием (табл. 22).

Матрица коэффициентов линейной корреляции между содержаниями элементов в сфалеритах (количественный анализ, 27 проб)

Cu	In	Ga	
-0,05	0,07	-0,2	Sn
	0,12	-0,07	Cu
		-0,06	In

Данные о составе и содержаниях примесей в пиритах разноречивы (анализы в основном полуколичественные спектральные). В них обнаруживается до 0,3% кобальта и мышьяка, до 0,1% серебра и до 0,06% никеля.

### КАССИТЕРИТ-СУЛЬФИДНЫЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

Касситерит-сульфидные рудопроявления связываются большинством исследователей с этапом раннемезозойской тектономагматической активизации (Кузьмин и др., 1967; Кузьмин, Клевцова, 1971; Кузьмин и др., 1973). Существует также мнение о более древнем возрасте оруденения (Шобогоров и др., 1971; Рипп и др., 1972). Известные участки минерализации в целом пространственно обособлены от площадей активного проявления раннемезозойского магматизма.

Рудные тела представлены минерализованными зонами, сетью кварцевых прожилков и маломощных жил с касситеритом, пиритом, небольшими количествами сфалерита, халькопирита, висмутина, флюорита. В настоящее время изучены рудопроявления только в поверхностных горных выработках.

Руды содержат, кроме олова, также висмут (до 0,02%), мышьяк (до 3%), цинк, свинец (до 1%), медь (до 0п%), фтор (количественных определений нет). Отношения содержаний цинк — свинец, цинк — медь, свинец — медь в рудах колеблются в пределах 0,2—1,0; 0,1—0,7 и 0,1—3,0 соответственно.

**Первичные ореолы.** Площади аномальных концентраций элементов в пределах рудопроявлений обычно не превышают нескольких сотен квадратных метров. Ореолы конкретных рудных тел по ширине достигают первых метров и линейно вытянуты до сотен метров. Увеличение или уменьшение их размеров связано с изменением структурно-литологических условий и продуктивности оруденения (раздувы жил, столбы на пересечении рудными зонами контактов пород, неодинаковых по физико-химическим свойствам).

В составе ореолов присутствуют олово, мышьяк, цинк, медь, бор, фтор, висмут. Продуктивность ореолов в целом незначительна, зональность не изучена.



**Изотопный состав серы и свинца.** Имеются три определения состава рудного свинца (данные К. М. Маркова и Н. Ф. Никитина) и один анализ серы галенита из сульфидной минерализации в районе Кыджимитского проявления. Изотопные отношения  $Pb^{206}/Pb^{204}$ ,  $Pb^{207}/Pb^{204}$ ,  $Pb^{208}/Pb^{204}$  соответственно составляют в среднем 18,41; 15,61 и 38,25.

Состав сульфидной серы близок составу троилитовой фазы метеоритов ( $\sigma S^{34}=0,3\%$ ).

**Элементы-примеси в минералах** некоторых проявлений изучены П. М. Материковым, Т. Н. Сириной, И. Я. Кузьминым, В. К. Хрустальевым. Касситериты отличаются низкими содержаниями индия (обычно не более 5 г/т), скандия (до 0,000п%), ниобия и тантала (менее 0,003%). Полуколичественными спектральными анализами установлены титан и вольфрам (до 0п%), висмут (0,0п%). В пиритах (единичные анализы) содержатся мышьяк (до 0,1%), медь, олово (до 0,00п%), кобальт, никель (0,0п%).

### КВАРЦ-ФЛЮОРИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Месторождения распространены в зонах тектоно-магматической активизации мезозойского возраста. Залегают в различных по составу осадочных, метаморфических и изверженных породах. Оруденение представлено жильными телами, минерализованными зонами дробления, брекчирования. Состав руд прост и однообразен. Кроме кварца и флюорита нескольких генераций, на отдельных рудопроявлениях встречаются в небольших количествах барит, пирит, геарксутит и другие редко встречающиеся минералы. Вблизи рудных тел во вмещающих породах распространены окварцевание и флюоритизация. В отдельных случаях описывается аргиллизация (Булнаев, 1971).

Вопросы вещественного состава, структурно-текстурных особенностей руд и условий локализации оруденения детально освещены в работах А. Д. Щеглова (1959, 1959б, 1961, 1966), К. Б. Булнаева (1962, 1970), В. Н. Гусельникова (1962) и др.

**Первичные ореолы.** С поверхности площади аномальных концентраций элементов изученных месторождений колеблются от сотен квадратных метров до 0,5 км<sup>2</sup>, редко больше. Они имеют обычно линейно вытянутую форму, подчеркивающую общее направление зон повышенной проницаемости. Размеры ореолов в целом адекватны параметрам рудных тел и обусловлены структурными условиями минералообразования. Критерии различия ореолов рудных тел и ореолов зон рассеянной минерализации в настоящее время отсутствуют.

Элементный состав ореолов беден. В случаях приурочен-

ности оруденения к карбонатным породам в ореолах, кроме фтора, отмечаются лишь аномальные точки бария, иногда марганца и стронция. В алюмосиликатных породах и особенно гранитоидных, когда процессу оплавления и окварцевания подвергались значительные массы пород, аномально сконцентрировались бериллий, молибден, ниобий, литий и олово. Содержания их обычно не превышают 2—3 кларков и обусловлены явлениями перераспределения в породах под воздействием рудо- и ореолообразующих растворов. По данным Ю. А. Новикова (1967), зоны оплавления сопровождаются отрицательными аномалиями циркония.

**Изотопный состав серы.** Единичные определения изотопного состава серы проведены в пиритах трех месторождений (Хамнейское, Хурайское, Калангуйское), отобранных непосредственно из флюоритовой руды и из околорудноизмененной породы. Полученные значения показали облегченность состава серы относительно метеоритной ( $\delta S^{34}$  от  $-3,45$  до  $-8,10\%$ ).

**Элементы-примеси в минералах.** Данные о составе примесей имеются только для флюоритов. Минерал проанализирован в основном полуколичественным спектральным методом и лишь в единичных случаях — количественным. Сведения, касающиеся состава флюоритов, приведены в работах Р. З. Архипчука, Н. М. Ивченко, К. Б. Булнаева, А. С. Назаровой. В минерале установлены стронций (до  $0,1\%$ ), в отдельных пробах — бериллий (до  $0,001\%$ ) и небольшие количества редких земель иттриевой и смешанной иттриево-цериевой группы (до  $0,03\%$ ).

### ФТОР-РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Месторождения залегают в докембрийских и раннепалеозойских осадочно-метаморфических породах существенно карбонатного состава различных структурно-металлогенических зон. Известны редкие случаи, когда рудные тела локализованы в алюмосиликатных, в частности магматических, породах. Оруденение связывается генетически с массивами субщелочных гранитоидов в одних случаях раннемезозойского, в других — верхнепалеозойского возраста. Характерные постмагматические изменения в породах обусловлены грейзенизацией, микроклинизацией, альбитизацией, окварцеванием, флюоритизацией.

Рудные тела сформированы в основном в результате гидротермального метасоматического замещения преимущественно известняков и карбонатной составляющей пород. Они сложены флюоритом с подчиненными количествами полевых шпатов (микроклина, альбита), кварца, карбонатов, минералами редких элементов, участками обогащены галенитом,



сфалеритом, молибденитом и минералами редких земель. Отдельные участки рудных тел имеют существенно полевошпатовый состав. На всех месторождениях устанавливается крайне неравномерное распределение полезных компонентов.

Околорудные изменения обусловлены в различной степени проявленным фторовым и щелочным метасоматозом, широко развиты также окварцевание и пиритизация. В дорудный этап на отдельных проявлениях сформированы тела скарнов и грейзенов, в пострудный происходили окварцевание и карбонатизация.

В рудах, помимо главных элементов, присутствуют в повышенных количествах свинец, цинк, рубидий, редкие земли (до 0п%), литий, в отдельных участках — олово (до 0,0п%), молибден (0,00п%). Барий, бор, цезий, германий, серебро, медь, мышьяк, торий, цирконий обнаруживаются спорадически в количествах, не превышающих обычно 2—4 кларков. В составе редких земель 60—70% составляет иттриевая группа, хотя отмечаются случаи существенного преобладания цериевой группы. Отношения цинк—свинец, цинк—медь, свинец—медь в рудах составляют соответственно 0,8—3 для первой пары элементов и более 5—для второй и третьей.

**Первичные ореолы.** Размеры первичных ореолов во многом определяются проницаемостью и тектонической подготовкой вмещающих пород. В алюмосиликатных породах и участках чередования их с карбонатными размеры ореолов в десятки раз превышают ореолы, образовавшиеся в монотонных известняках. В последних ореолы локальны, низкой контрастности и продуктивности. В связи с этим первичные ореолы месторождений на поверхности имеют площадь от первых сотен квадратных метров до 0,8—1,0 км<sup>2</sup>. Распределение элементов в пределах общего ореола месторождения неоднородно. Отмечается, как правило, несколько эпицентров максимальных содержаний как рудообразующих элементов, так и сопутствующих. Причем эпицентры первых и вторых обычно не совпадают. Можно выделить следующие группы элементов с относительно независимыми друг от друга ореолами: 1) фтор, бериллий; 2) молибден, редкие земли, торий; 3) олово, рубидий, цезий, литий, фтор; 4) цинк, свинец, мышьяк; 5) фтор.

Четкие ореолы образуют в основном фтор, бериллий, молибден, редкие земли, литий, рубидий. Олово, свинец, цинк не всегда и не на всех месторождениях создают контрастные ореолы. Остальные элементы представлены главным образом аномальными точками. Повышенные концентрации бария, германия, олова и, возможно, некоторых других элементов обусловлены явлениями перераспределения во вмещающих породах в связи с грейзенизацией и другими метасоматическими процессами.

Зональность ореолов рудных тел выражена неотчетливо. Внутренняя зона представлена наиболее полным спектром элементов, внешняя — бериллием и фтором и далее только одним фтором. Ореолы молибдена широко распространены в близконтактных частях интрузивных тел, а максимальные концентрации олова, лития, рубидия фиксируют зоны распространения грейзенов и слюдитов. Скарнами, содержащими в своем составе везувиан, обусловлены отдельные аномальные точки бора.

**Изотопный состав серы и свинца.** Данные по составу сульфидной серы имеются для двух месторождений. В целом сера утяжелена относительно метеоритной на 7—10‰ при значительных вариациях в единичных пробах (табл. 23). Максимальное значение величины  $\sigma S^{34}$  у пирита и достигает +15,4‰. Галенит и сфалерит отличаются несколько более легким изотопным составом.

Таблица 23

Изотопный состав серы в сульфидах фтор-редкометалльных месторождений

Минерал	Колич. проб	$\sigma S^{34}$ , ‰	
		интервал	среднее
Пирит . . . . .	9	(+2,45)—(+15,4)	+10,3
Сфалерит . . . . .	3	(+1,75)—(+11,45)	+7,9
Галенит . . . . .	3	(+6,1)—(+7,9)	+6,8

Рудные свинцы одного из месторождений обеднены радиогенными изотопами и относятся к типу «В». Расчеты модельного возраста их свидетельствуют о контаминации свинца из вмещающей докембрийской толщи с небольшой добавкой радиогенных изотопов. Средние значения (по 5 пробам) изотопных отношений  $Pb^{206}/Pb^{204}$ ,  $Pb^{207}/Pb^{204}$  и  $Pb^{208}/Pb^{204}$  равны соответственно —17,79; 15,61 и 37,43.

**Элементы-примеси в минералах.** В большинстве рудных и нерудных минералов обнаружены повышенные концентрации бериллия (слюды, полевые шпаты, флюорит, амфиболы, везувиан и др.). Особенность сфалеритов — высокие содержания марганца (до 2,3%), кадмия, кобальта (табл. 24). В отличие от других месторождений здесь отмечаются несколько повышенные концентрации германия. Галениты характеризуются высокой висмута- и таллиеносностью. Состав редких земель во флюоритах преимущественно иттриевой, реже — иттриево-цериевой группы. В пиритах отмечены довольно высокие содержания кобальта, никеля и низкие — мышьяка (см. табл. 24).



Содержание элементов-примесей в сульфидах фтор-редкометалльных месторождений

Элемент	Ед. изм.	Содержания $\left(\frac{\text{от—до}}{\text{среднее}}\right)$		
		сфалерит	гаденит	пирит
Cd	%	$\frac{0,39—1,86}{1,03(10)}$	$\frac{0,03—0,13}{0,069(7)}$	—
In	г/т	$\frac{2,5—44}{7(8)}$	<5(8)	—
Ga	г/т	$\frac{<0,5—4,6}{<0,5(4)}$	<0,5(6)	—
Ge	г/т	$\frac{<5—60}{39(4)}$	<5(6)	—
Sn	г/т	$\frac{7,9—12}{10(4)}$	$\frac{4—23}{8,9(6)}$	—
Co	%	$\frac{0,005—0,1}{0,063(5)}$	—	$\frac{0,002—0,008^*}{0,005(7)}$
Bi	г/т	19—600(4)	$\frac{1700—12\ 000}{9000(6)}$	<5—5(3)
Ag	г/т	1(1)*	10(1)*	$\frac{0,5—20^*}{6(7)}$
Tl	г/т	<10(4)*	$\frac{3—1200}{240(10)}$	<10(7)*
As	%	—	—	0,001—0,004(2)
Ni	%	—	—	$\frac{0,003—0,04^*}{0,016(7)}$

## РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

К редкоземельным месторождениям относится группа малоизученных сложных по минеральному и химическому составу проявлений. Большая часть их тяготеет к участкам распространения щелочных и субщелочных пород в основном палеозойского возраста.

Оруденение локализовано в эндо- и экзоконтактных зонах массивов щелочных сиенитов и представлено телами альбититов, альбит-эгириновых, микроклиновых метасоматитов, карбонатных, флюорит-карбонатных и флюоритовых жил.

Рудные тела сложены альбитом, микроклином, эгирином, в других случаях — флюоритом, анкеритом, кальцитом, в массе которых в виде вкрапленности, прожилков и гнезд присут-

ствуется целая гамма редкоземельных и редкометалльных минералов. Среди последних обнаружены лопарит, циркон, торит, ксенотим, паризит, чевкинит. Кроме того, отдельные проявления отличаются повышенными содержаниями пирита, галенита, сфалерита (до 1—3%), астрофиллита, барита, гематита, апатита, ильменита, сфена, циннвальдита.

Руды представляют практический интерес в отношении редких земель, циркония и ниобия и др. В них присутствуют в вышекларковых содержаниях также бериллий (до 0,00п%), фосфор, фтор (до п%), цезий (до 0,0п%), литий (до 0,п%), в отдельных проявлениях — барий (до п%), свинец, цинк (до 0,п%). В случае генетической связи оруденения с массивами щелочных пород в составе редких земель отчетливо преобладает цериевая группа. Руды, связанные с субщелочными интрузивными комплексами, обогащены редкими землями иттриевой группы.

**Первичные ореолы.** Анализ проб, отобранных по геохимическим профилям вкост рудных зон одного из проявлений, показал, что в процессе минералообразования во вмещающие породы (сиениты, роговики, кристаллические сланцы), привносились, кроме ниобия, редких земель, тория и циркония, также свинец, цинк, бериллий, цезий, литий, фтор. Ширина ореольных зон в 3—5 раз превышает мощность рудных тел. Максимальна она для фтора, лития, цезия, циркония, свинца, цинка, минимальна для редких земель (низкая чувствительность анализа), ниобия, рублидия. В околорудных зонах содержание отдельных элементов нередко выше, чем в рудных телах (фтор, литий, барий, фосфор, цезий).

Представляется интересным с точки зрения поисков факт изменения состава редких земель в первичном ореоле. Так, если во вмещающих песчаниках и сланцах в удалении от рудных тел преобладает иттриевая группа, то по мере приближения к рудным телам увеличивается роль цериевой, которая вблизи от рудных тел становится преобладающей.

Данных по изотопному составу серы и свинца нет.

**Элементы-примеси в минералах.** Единичные, в основном полуколичественные спектральные анализы имеются для одного из проявлений (по А. Г. Теремецкой). В пирите (2 пробы) обнаружены висмут, мышьяк, (до 0,1%), серебро (0,0003—0,03%), олово (0,001%). Сфалериты (2 пробы) отличаются высокими содержаниями кобальта (до 0,03%), серебра, олова, никеля (до 0,01%), марганца (0,01—0,03%). В галените количественными анализами установлено 0,14% висмута и 0,32% серебра. Магнетит (1 проба) характеризуется низкими содержаниями марганца (0,01—0,03%), магния (0,1—0,3%), титана (0,003%) и повышенными — ванадия (0,01—0,03%). Во флюоритах (2 пробы) определено 0,16—0,25% редких земель, а в барите — 1% стронция.



**ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ**

---

Технология геохимических поисков для различных ситуаций описана в литературе неоднократно. Однако практическая эффективность их еще далека от теоретически возможной. Это связано, как показывает опыт, с рядом объективных и субъективных причин. Одна из них — отсутствие обобщенной и осмысленной геохимической информации о промышленных и непромышленных месторождениях конкретных регионов. Приведенные ниже данные являются, по существу, первой попыткой систематизации разрозненных сведений о геохимических особенностях наиболее распространенных в регионе месторождений и приемов использования их при поисках и оценке на различных этапах.

**ОСОБЕННОСТИ ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ**

Изучение первичных ореолов рудных месторождений Забайкалья и Прибайкалья начато недавно, проводилось не систематически и в основном на производственном уровне. Все многообразие промышленных типов месторождений по размеру и контрастности геохимических аномалий подразделено на две группы — геохимически контрастные и геохимически неконтрастные. По различию основных характеристик выделяются ореолы месторождений (или ореолы первого порядка) и ореолы рудных тел.

Первичные ореолы первого порядка — это теоретически ожидаемые по современным моделям рудообразования геохимические аномалии, которые окружают не отдельные рудные тела, а все месторождение или группу месторождений (Гинзбург и др., 1966; Горбунов и др., 1969). В ореоле первого порядка объединены ореолы рудных полей и собственно месторождений. Расчленив их при принятой методике исследований и чувствительности анализа удастся не всегда, но в отдельных случаях их различия достаточно контрастны. Кроме того, в первичных ореолах первого порядка объединены продукты нескольких стадий ореолообразования. Так, для ред-

кометальных месторождений это сумма производных поздней и постмагматических стадий, с которыми связано не собственно рудообразование, а лишь формирование широких полей повышенных концентраций элементов (аномальное геохимическое поле месторождения), на фоне и частично за счет которых происходило в дальнейшем формирование промышленного оруденения в собственно гидротермальную стадию.

Ореолы рудных тел (и рудных зон, состоящих из нескольких сближенных тел) практически не выходят за пределы ранее сформированного геохимического поля. С точки зрения поисков крупных месторождений параметры первичных ореолов первого порядка являются наиболее важным признаком потенциала возможного оруденения. Однако до последнего времени они не выделялись и не изучались даже на известных месторождениях. Поэтому большинство месторождений и рудных полей остаются недоизученными, а их рудные потенциалы недооценены ни качественно, ни количественно.

Первичные ореолы рудных полей являются обычно малоконтрастными геохимическими полями и выделяются незначительным превышением содержаний и дисперсии над уровнем регионального геохимического фона. В свою очередь, они являются фоном для значительно более контрастных первичных ореолов месторождений.

Ореолы же рудных тел выделяются на фоне аномалий всего месторождения и рудного поля.

Описанные три типа ореолов развиваются последовательно, причем два последних — частично за счет вещества предыдущих. С заимствованием и перераспределением вещества предшествующего геохимического поля связывается образование отрицательных аномалий на фоне и в пределах положительных ореолов. Такие аномалии изучены слабо и имеют в настоящее время меньшее поисковое значение.

**Состав и размеры ореолов** рудных полей специально не изучались. Аномальные геохимические поля месторождений также в большинстве случаев не оконтурены полностью. Они охарактеризованы как ореолы месторождений или ореолы первого порядка. Состав аномалий изучен в основном в пределах круга анализируемых элементов массового спектрального полуколичественного анализа.

Геохимически контрастные месторождения характеризуются обычно длительностью, многостадийностью процесса рудообразования и высоким рудным потенциалом. В связи с этим вокруг них формируются сложные интегральные геохимические поля, в которых выделяются производные различных стадий и этапов оруденения. Ореолы первого порядка отличаются широким спектром элементов и малой контраст-



ностью содержаний. Повышенные концентрации отдельных элементов в пределах их обусловлены перераспределением и заимствованием из вмещающих пород под воздействием рудообразующих растворов. Аномалии первого порядка превосходят размеры ореолов рудных тел в 3—10 раз и занимают площадь от 1—10 до 40 км<sup>2</sup> (Озерное, Холоднинское, Джинское, Булуктаевское рудные поля).

Ореолы рудных тел отличаются меньшим спектром элементов, соответствующим составу руд, но весьма высокой контрастностью содержаний.

Для месторождений второй группы элементный состав ореолов первого порядка значительно более узок, ореолы менее контрастны и по размерам на один-два порядка меньше, чем ореолы месторождений первой группы.

**Зональность ореолов.** Для ореолов первого порядка и рудных тел месторождений устанавливается довольно простая однотипная зональность распределения максимумов концентрации отдельных элементов, в целом соответствующая «универсальной» зональности Овчинникова — Григоряна (Овчинников и др., 1970). В аномальном поле месторождений первой группы, где обычно телескопированы ореолы различных стадий и этапов оруденения, зональность усложняется. В интегральном поле месторождений удается выделить три зоны. Внешняя соответствует в основном дорудному этапу и охватывает все рудное поле, средняя оконтуривает промышленное оруденение, внутренняя отвечает конкретным рудным эпицентрам (рудным телам). Во внутренних зонах ореолов в балансе вещества обычно преобладает минеральная форма нахождения ореолообразующих элементов, во внешних зонах аномального поля — неминеральная.

**Структура ореолов.** В простейших геологических ситуациях и одноактном рудообразовании в однородной среде структура геохимических аномалий достаточно полно выражается зональностью и морфологией ореолов. В сложных случаях, характерных для комплексных месторождений, структура аномального эндогенного геохимического поля гораздо сложнее и не может быть сведена к этим двум понятиям. Она определяется совместным влиянием деформационных дорудных структурных элементов, изменением состава и вектора движения рудообразующих растворов во времени.

Наиболее важной особенностью структуры аномального геохимического поля является наличие в его пределах аномальных центров, соответствующих сходным или разным по составу рудным центрам. В этом плане на материале изученных месторождений можно выделить несколько типов структур аномального геохимического поля: 1) с одним аномальным центром; 2) с несколькими аномальными центрами од-

ного состава; 3) с аномальными центрами различного состава, но связанными с единым процессом рудообразования; 4) с аномальными центрами, генетически не связанными между собой.

Геохимические поля первого типа крайне редки. Как правило, количество аномальных центров больше одного. К этому типу можно условно отнести некоторые месторождения из второй группы, в которых основная часть запасов сосредоточена в одном рудном теле (Худакское полиметаллическое, Мылдылгенское железорудное).

Геохимические поля с несколькими центрами одного состава более распространены и характерны для большой группы месторождений.

Геохимические поля третьего типа характеризуют многостадийное оруденение. Такую структуру имеют комплексные редкометальные, колчеданно-полиметаллические и некоторые другие месторождения.

И наконец, последний тип характерен для рудных полей со сложным полиформационным полихронным типом оруденения. Примером их являются Еравнинское рудное поле с центрами колчеданно-полиметаллического, железорудного, молибденового оруденения, Джидинское с молибден-вольфрамовой, ртутной, золоторудной минерализацией. Соответственно от первого к четвертому типу усложняется состав ореолов, их морфология, зональность, увеличиваются общие размеры. Усложняется сама задача оценки таких объектов. Потенциал их может быть связан не только с несколькими однотипными эпицентрами, но и с несколькими типами оруденения.

При поисках, оценке и разведке различных формационных типов месторождений необходимо учитывать следующие важные особенности эндогенных ореолов:

1) определение типа оруденения возможно, если исходить из соответствия состава эндогенных ореолов на различных их срезах с эталонными объектами;

2) размеры эндогенных ореолов во много раз превосходят размеры рудных тел особенно для месторождений первой группы, что упрощает задачу поисков и увеличивает их глубинность;

3) устанавливаемая в строении ореолов зональность позволяет определять вектор приближения к рудным эпицентрам, отличать надрудные и подрудные части ореолов;

4) крупным месторождениям при сопоставимом срезе, как правило, соответствуют максимальные по размерам, составу и интенсивности геохимические поля и ореолы. Эта зависимость может использоваться для прогноза масштаба оруденения.



## СООТНОШЕНИЕ ЭНДОГЕННЫХ И ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ

Параметры эндогенных геохимических полей, отражающие особенности соответствующего оруденения, помогают решать большинство вопросов их прогноза и оценки. Поскольку природные условия не позволяют применять поиски по первичным ореолам в массовом варианте, площадные поиски ведутся по вторичным ореолам, разбраковка и оценка которых основана на соотношениях параметров первичных и вторичных ореолов.

Как показали данные специальных исследований, на большинстве изученных объектов во вторичных ореолах сохраняются в достаточной для этапа поисков мере основные характеристики эндогенных ореолов (Морозов, 1972; Рипп, Белоголовов, 1972). Это является принципиальной основой возможности разбраковки вторичных ореолов на основе знания характеристик первичного ореола. Однако это соответствие бывает достаточно полным лишь в нижней прикоренной части вторичного ореола. В приповерхностных частях возможны искажения всех особенностей эндогенного ореола вплоть до полного исчезновения аномалий. Эти искажения происходят за счет рассеяния рудного вещества в чехле склоновых отложений, дифференциации материала с различными физическими свойствами, выщелачивания или полного закрытия аномалии аллохтонными отложениями. Сумма этих процессов приводит к существенным, но закономерным изменениям особенностей геохимических полей в приповерхностном слое рыхлых отложений.

Коэффициент контрастности эндогенных ореолов по составляющим их элементам колеблется от 2 до 100 000 при широких вариациях занимаемых ими площадей. Ореолы первого порядка имеют обычно низкую контрастность ( $K=2-5$ ).

В зоне гипергенеза контрастность ореолов практически всегда понижается. При этом наиболее сильно ослабляются ореолы рудных тел, значительно меньше — ореолы месторождений и рудных полей. Вследствие понижения контрастности ореолов состав аномалий закономерно уменьшается в первую очередь за счет исчезновения элементов, наиболее подвижных в зоне гипергенеза, с минимальными размерами ореолов и содержаниями в них элементов, находящихся в составе неустойчивых минеральных форм, с недостаточной чувствительностью анализа. Контрастность гипергенных аналогов первичных ореолов первого порядка зачастую настолько низка, что мало отличима от фоновых содержаний. Низкая контрастность ( $K=1,5-5$ ) оказалась свойственной большей части вторичных ореолов, формировавшихся за счет высокопродуктивных первичных ореолов и рудных тел.

Уменьшением контрастности обусловлено и изменение размеров вторичных ореолов. Ореолы рудных тел нередко увеличиваются за счет разноса по склону в виде полей с пониженными концентрациями, площади же крупных геохимических полей, сопоставимые по размерам с элементами рельефа, обычно уменьшаются за счет перекрытия в участках большой мощности автохтонных и аллохтонных отложений.

Степень изменения состава и контрастности аномалий определяет искажения признаков зональности. Дополнительным негативным фактором служит смещение по различным векторам с различной скоростью материала с аномальными концентрациями элементов.

К настоящему времени, благодаря широкому развитию детальных поисковых и геологоразведочных работ, возрос объем информации о характере и степени выветривания приповерхностной части коренных пород (в частности, содержащих рудные компоненты) в различных ландшафтно-геоморфологических зонах. Признаки интенсивного выветривания и выщелачивания элементов из руд и вмещающих пород еще до стадии их дезинтеграции установлены на многих месторождениях. Мощность зон выветрелых и выщелоченных пород в зависимости от их проницаемости колеблется от одного до нескольких десятков метров и более. Так, на молибденовых месторождениях Джидинского рудного района эндогенные ореолы молибдена в приповерхностной части коренных пород за счет выщелачивания ослаблены в 1,5—3 раза на глубину до 20—30 м. С трещинными водами продукты выщелачивания частично мигрировали во вмещающие породы, расположенные ниже по склону, и сформировали эпигенетический ореол, тем самым расширив более чем в 2 раза площадь коренных пород с повышенными, хотя и мало контрастными содержаниями молибдена.

Неменьшая роль в выщелачивании подвижных компонентов устанавливается на свинцово-цинковых, колчеданно-полиметаллических, боратовых и некоторых других месторождениях (Белоголовов и др., 1972; Усова и др., 1972).

Перечисленные изменения аномальных эндогенных геохимических полей приводят в конечном счете к изменению его структуры, выражающемуся в основном в упрощении строения поля, исчезновении части эпицентров. В случае развития на площади геохимических полей перекрытых участков первичный ореол первого порядка расчленяется на ряд фрагментов в виде мало контрастных аномалий, которые воспринимаются и оцениваются как автономные аномалии. Так теряется образ аномального геохимического поля как единого целого.

Возможно образование и ложных структур аномального геохимического поля. Так как площадь его состоит из фраг-



ментов открытых, полузакрытых и закрытых по условиям развития вторичных ореолов, то части геохимического поля, попавшие на открытые участки, будут восприниматься как эпицентры на фоне слабоаномального поля.

Перечисленные особенности соотношения параметров первичных и вторичных ореолов создают главные трудности оценки вторичных геохимических аномалий, а игнорирование их составляет существо самых распространенных и решающих ошибок этого этапа.

### **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ И ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ**

Перечисленные выше главные особенности первичных ореолов и закономерности их соотношения с вторичными могут использоваться в комплексе с другими методами при решении следующих задач: 1) надежное опознавание площади региона; 2) разбраковка ореолов по принадлежности к определенным формационным типам оруденения; 3) оценка аномалий; 4) оценка перспектив флангов и глубоких горизонтов месторождений. Технология решения этих задач, а также оценки рудопоявлений на основе геохимических данных приводятся ниже.

### **Рациональный комплекс анализируемых элементов в пробах**

Исходя из состава первичных ореолов и руд различных типов месторождений, комплекс анализируемых элементов при площадных поисках по первичным и вторичным ореолам может быть ограничен следующим рядом: титан, ванадий, никель, медь, свинец, цинк, серебро, молибден, вольфрам, ниобий, торий, тантал, бериллий, олово, мышьяк, сурьма, ртуть, стронций, барий, висмут, фосфор, кобальт, литий, рубидий, цезий, бор, фтор, лантан, иттрий, церий, цирконий, марганец, германий. При интерпретации и детализации геохимических аномалий в зависимости от ожидаемого типа минерализации возможен дополнительный анализ на таллий, галлий, кадмий и др.

Информативность элементов при поисках и диагностике природы аномалий неодинакова. Величины их информационного веса (рассчитанные по А. Н. Дмитриеву и др., 1966) в первичных ореолах для 20 типов месторождений представлены в табл. 25.

Из табл. 25 видно, что наибольшим информационным весом обладают цинк, свинец, медь, серебро, олово, молибден,

Информационный вес элементов в первичных ореолах месторождений

Элемент	Вес месторождений, $P$	Информационный вес		Коэффициент избыточной информации $K_i$
		$P_1$	$P_2$	
Cu	0,15	0,55	0,20	5,0
Zn	0,25	0,50	0,40	3,6
Pb	0,20	0,45	0,35	4,0
Mn	0,05	0,15	0,10	5,0
Co	0,05	0,20	0,10	6,0
P	0,05	0,15	0,10	5,0
Ag	0,20	0,40	0,15	2,7
Tl	—	0,05	0,05	—
As	—	0,15	0,40	—
Sb	—	—	0,20	—
Bi	0,05	0,10	0,30	8,0
Sn	0,05	0,25	0,35	12,0
Mo	0,25	0,30	0,25	2,2
W	0,20	0,10	0,25	1,7
Be	0,10	0,20	0,15	3,5
Nb	0,05	0,05	0,10	3,0
Ba	0,05	0,15	0,25	8,0
F	0,15	0,40	0,10	3,3
Li, Rb, Cs	—	0,20	0,10	—
TR	0,05	0,10	0,05	3,0
Ge	—	—	0,20	—

Примечание.  $P_1$  — информационный вес в качестве ореолообразующего элемента,  $P_2$  — информационный вес в качестве второстепенного, сопутствующего элемента, встречающегося в аномальных точках, редко малоконтрастных аномалиях.  $K_i$  — коэффициент избыточной информации ( $=P_1+P_2/P$ ) показывает, во сколько раз количество информации превышает необходимое для диагностики.

фтор. Анализом проб на эти элементы в принципе возможно выявить геохимические поля всех изученных типов месторождений. В то же время элементы обладают в разной степени избыточной информацией, в связи с чем непосредственное использование их в качестве моноэлементных прямых индикаторов для диагностики типа минерализации не представляется возможным. С этой точки зрения значимость их находится в обратной зависимости от информационного веса. Низкие значения коэффициентов избыточной информации имеют серебро, молибден, ниобий, фтор, вольфрам, бериллий, редкие земли. Но и в этих случаях вероятность правильной диагностики оруденения по прямым элементам-индикаторам не превышает (за исключением вольфрама, молибдена) 30—40%.

Комплекс анализируемых элементов в мономинеральных фракциях не одинаков при решении различных геологических задач. Изучение перспектив исследуемого объекта требует определения уровня концентрации промышленно-интересных для данного типа оруденения элементов. Выявление же особенностей минералообразования и диагностика формационной принадлежности рудопроявления вызывают необходимость анализа более широкого круга минералов и элементов, содержащихся в них. С этой точки зрения могут представлять интерес рудные и нерудные, главные и аксессуарные минералы. Наибольшее значение имеют минералы-«космополиты»: пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, слюды, магнетит. Вместе с тем диагностика выявленной минерализации требует анализа только тех элементов, которые несут определенную сумму полезной информации. Полезность признака в этом



## Информативный комплекс элементов-примесей в минералах месторождений

Минерал	Элементы-примеси
Пирит . . . . .	Co, Ni, As, Ag, Bi, Te, Se, Cu, Tl, Au
Сфалерит . . . . .	Mn, Co, Cd, Jn, Ga, Ge, Sn, Cu, Se, Te, Tl
Галенит . . . . .	Ag, Bi, Tl, In, Sn, Te, Se, Cd
Халькопирит . . . . .	Bi, Sn, In, Ge, Ga, Se, Te, Ag, Cd, Tl, As
Слюды . . . . .	Rb, Cs, Li, Sn, Be, Ga, Tl, F,
Магнетит . . . . .	Mn, Ti, Mg, Zn, Co, Sn
Флюорит . . . . .	TR, Sr, Ba, Be
Арсенопирит . . . . .	Au, Ag, Bi, Sn, Co
Шеелит . . . . .	Mo, TR,
Вольфрамит . . . . .	Fe, Mn, Nb, Ta, Sn, Sc
Блеклая руда . . . . .	Cd, Ag, Bi, Sn, Se, Tl, Te, Ge, In
Молибденит . . . . .	Re, Se, Te

случае тем выше, чем меньшему числу объектов он принадлежит. В табл. 26 указаны комплексы элементов, определение которых в минералах представляет интерес для диагностики формационного типа рудопроявлений, определения уровня их эрозионного среза.

При проведении полуколичественных спектральных анализов набор анализируемых элементов следует расширить. Это даст дополнительную информацию о внеструктурных примесях, а следовательно, и о составе изучаемой минерализации и позволит оценивать чистоту анализируемой пробы.

### Оценка геохимических аномалий

Геохимические поиски складываются из нескольких последовательно сменяющихся этапов. Каждый имеет свои задачи и только ему присущие особенности. Технология и алгоритм работ этих этапов приводятся ниже.

*Этап площадной геохимической съемки* должен решить две задачи — выявить признаки промышленных месторождений и дать надежную оценку перспектив рудоносности площади.

Важной суммарной характеристикой изученных месторождений, как уже отмечалось выше, является их геохимическая контрастность. Она в основном определяет сложность и вероятность выявления оруденения данных типов. По условиям ведения поисков выделяются площади, участки (и элементы

рельефа трех категорий — открытые, полузакрытые и закрытые с преимущественным развитием соответствующих типов вторичных ореолов. На основе этих двух характеристик выделяется 6 типовых поисковых ситуаций. Оптимальная методика поисков и оценки аномалий в каждой ситуации будет, естественно, особой (комплекс методов, последовательность их применения, глубина и сеть пробоотбора и др.). Так, поиски оруденения мало контрастных типов в закрытых районах существующим вариантом поверхностной металлометрической съемки не дадут положительного результата. Такие же поиски геохимически контрастных месторождений в открытых и полузакрытых районах (в отношении гипергенных аналогов первичных ореолов первого порядка) с использованием всего разнообразия эрозионных врезов будут эффективными. В каждом случае должны использоваться объективно существующие зависимости и соотношения между оруденением и первичными ореолами, с одной стороны, и вторичными — с другой. Эти особенности, вероятно, могут служить основой для районирования по условиям ведения геохимических поисков, разработки алгоритма работ для каждой ситуации, обоснованной разбраковки и оценки выявленных аномалий.

В последние годы совершенствование геохимических поисков происходит именно в направлении изучения условий их ведения. Результатом явилось возрастание количества выявляемых аномалий. Вместе с тем не во всех случаях изучаются и картируются условия развития вторичных ореолов, пробы анализируются не на весь информативный комплекс элементов, а чувствительность определения отдельных элементов не всегда достаточна. По указанным причинам усложняется реконструкция параметров эндогенного ореола. В связи с этим оценка перспектив изученных площадей недостаточно надежна и может быть дана лишь дифференцированно по отношению к определенным типам оруденения для различных по условиям ведения поисков участков. Изученные месторождения по выявляемости геохимическими методами могут быть ранжированы на три категории (табл. 27). Сопоставив оптимальные размеры ореолов, представленные в табл. 27, с масштабом проведенного пробоотбора, достаточно определенно можно сказать о неудовлетворительном описковании большей части площадей региона в отношении золото-кварцевых, кварц-касситеритовых, кварц-вольфрамитовых, шеелитовых и некоторых других типов месторождений.

*Этап разбраковки вторичных ореолов.* Задача этого этапа — определение типа возможного оруденения и его масштабов на основе анализа суммы геохимических, геологических и ландшафтно-геоморфологических признаков.

Критерием для определения типа оруденения является сравнение качественного состава изучаемой аномалии с орео-



## Группировка месторождений по размерам первичных ореолов

Ореолы	Категория выявления	Размеры ореолов, км <sup>2</sup>	Минимальный шаг прообора, м	Тип месторождений
Контрастные	I	$> 1$ ; $N=3/4a^*$	200	Колчеданно-полиметаллические, серноколчеданные, молибден-вольфрамовые, кварц-молибденитовые (с флюоритом), апатитовые (ошурковский тип), фосфоритовые
	II	0,05—1, иногда больше; $N=1/2-1/5a$	10—20 до 200	Кварц-молибденитовые, фтор-редкометалльные, флюоритовые скарновые железорудные, свинцово-цинковые в карбонатных породах
Малоконтрастные	III	$< 0,05$ ; $N=1/5-1/100a$	$< 20$	Кварц-касситеритовые, золото-кварцевые, золото-сульфидные, кварц-вольфрамитовые, кварц-шеелитовые и другие типы жильных месторождений

\*  $a$  — удлинение ореолов;  $N$  — ширина ореола, приведенная к удлинению.

лообразующей ассоциацией эталонных объектов (табл. 28), а также некоторых специфических корреляционных отношений элементов (например, цинк — свинец, цинк — медь и др.). В последнем случае возможен расчет вероятностей предполагаемого типа оруденения по формуле  $R=1/n\sum(r_1+r_2+\dots+r_n)$ , где  $R$  — вероятность предполагаемого типа оруденения;  $r_1, r_2, \dots, r_n$  — частоты отношений содержаний элементов в ореоле. Так, для серноколчеданных месторождений (тип Зангоды) отношение содержаний цинк — свинец от 1 и менее встречается с частотой 63%, в то же время как на колчеданно-полиметаллических — 23%, скарновых железорудных — 8%. Суммируя частоты, мы можем рассчитать общую вероятность появления того или иного типа месторождения. Значения индикаторных отношений содержаний элементов и их частоты для различных месторождений приведены в табл. 29.

Так как значительная часть месторождений сопровождается широкими ореолами пиритизации, для их диагностики может быть привлечен изотопный состав сульфидной серы. В частности, сера из таких ореолов молибденовых и вольфрамовых месторождений близка к троилитовой фазе метеоритов. Аналогичный состав имеет сера пирротинов из ореолов суль-

## Состав первичных ореолов месторождений

Тип месторождений	Элементы и их кларки концентрации	
	основные ореолообразующие	второстепенные сопутствующие
Магнетитовые скарновые	Cu(15), Zn(15), Mn(1—10) Co(2—3), P(2—3)	Mo(2—10), As(300), Pb(5), Sn(2—4); Bi(100) Ag(10—30), Ba(3), W(10), Ge(3), V(3), B,
Магнетитовые водно-силикатные	Cu(10), Co(3), Mn(5), P(3)	Mo(3), V(10), Ag(5), Zn(10)
Колчеданно-полиметаллические (каледонские)	[Zn(100), Pb(100), Ag(100), As(500), Ba(50)]	Sb(500), Tl(30), Mn(10), Cu(2—5), <u>V</u> , <u>Si</u> , <u>Ti</u> , <u>Zr</u> ,
Колчеданно-полиметаллические (протерозойские)	Zn(100), Pb(100), Cu(50), Ag(100)	As(500), Ge(5), <u>Ba</u> , <u>V</u>
Серноколчеданные (Зангода)	Pb(20), Zn(15), Cu(5), As(500), Ag(5), Co(20)	Bi(1000), Mo(100), Sn(70), Ge(2—3), W(10)
Серноколчеданные осадочные	Cu(5), Co(5)	Ti(3), Mn(5)
Свинцово-цинковые гидротермальные	Zn(100), Pb(100), Ag(100)	Cu(10), Sn(5), Sb(500), As(100)
Свинцово-цинковые скарновые	Pb(100), Zn(100), As(500), Ag(100), Cu(5)	Sn(3), Sb(500), F(10), Mo(10), W(10), Bi(1000),
Сульфидно-гюбнеритовые и молибденовые I группы	Mo(100), W(100), Be F(50), Rb(50) Bi(100000) Li(70), Cs(10—15), Pb(10), Zn(10), Ag(10)	Tl(10), Sb(500), Ge(2—3), Sc(2), Ba(2), P(2), Cu(10), Sn(20)
Молибденовые II группы	Mo(100), F(10)	Pb(5), Zn(5), Sn(5), Li(5) Be(3), As(100)
Кварц-вольфрамитовые	W(10), F(20), Rb(10), Li(10), Mo(10)	Pb(5), Zn(5), Cu(5), Be(5), Cs(10), P(5)
Кварц-шеелитовые	W(10), Pb(10), Zn(10), F(10), Ag(100)	Mo(2), Sb(500), Cu(5)
Фтор-редкометалльные	Be, F(50), Mo(100), Pb(5), Zn(5) Rb(3)	Cu(5), As(100), Sn(50), Th(20), Y(10), Ba(3), Ge(3), Ag(10), Cs(3), Co(10), Yb
Золото-кварцевые Касситерит-сульфидные	Au, Ag(100), Pb(5), Zn(5), Sr(50), F(20), As, B	Cu(5), As, Te Cu(5), Zn(5), Bi
Редкоземельные	Nb(100), TR(100) Zr(100), Th(100), F(10)	P(10), Ba(5), Li(10), Be(5). Pb(3), Zn(3), Cs(10)
Кварц-флюоритовые	F(50)	Mo(3), Be(3), Nb(3), Ba(3), Sn(3), <u>Zr</u>
Апатитовые в основных (средних) породах	P(20), Ti(4), Ba(3), F(3), Sr(3)	Pb(3), Zn(4)

Примечание. В скобках приведены кларки концентрации элементов (максимальные). Подчеркнуты элементы, образующие отрицательные аномалии.



в первичных ореолах и их частости, %

Zn/Cu	Pb/Cu											
	0,5-1	1,1-5	5,1-10	10,1-50	>50	<0,1	0,1-0,5	0,5-1	1,1-5	5,1-10	10,1-50	>50
21	38	15	14	6	8	56	14	12	5	4	1	
30	44	10	4	2	14	64	13	9	—	—	—	
1	7	18	44	30	—	3	5	23	25	34	10	
17	40	17	10	—	4	13	18	30	20	13	2	
3	8	18	36	33	—	3	5	18	21	37	16	
25	52	8	1	—	3	58	23	14	2	—	—	
12	39	20	16	8	2	4	10	32	37	11	4	
16	3 <sup>4</sup>	30	14	3	2	19	25	37	8	7	1	

Отношения содержаний элементов

Тип месторождений	Zn/Pb						<0,5
	<0,5	0,5-1	1,1-5	5,1-10	10,1-50	>50	
Магнетитовые скарновые	3	5	26	42	21	3	6
Магнетитовые водносилкатные	—	—	18	66	14	2	12
Колчеданно-полиметаллические	4	19	49	18	9	1	—
Серноколчеданные	28	35	28	8	1	—	16
Свинцово-цинковые гидротермальные	14	15	46	14	9	2	2
Сульфидно-гюбнеритовые	4	8	61	22	5	—	14
Кварц-шеелитовые	23	29	28	14	4	2	5
Фтор-редкометалльные	7	14	57	15	6	1	3

фидных медно-никелевых месторождений, связанных с базитовыми комплексами. Выше было также показано, что достаточно четко различаются по изотопному составу серы пириты из черносланцевых толщ и колчеданно-полиметаллических месторождений.

Масштабы оруденения с поверхности оцениваются по наличию признаков ореолов первого порядка и рудных полей больших размеров. Дополнительным критерием может служить сочетание в ореоле различных по составу ассоциаций, указывающих на комплексный характер оруденения или длительность его формирования.

Все ореолы после такого анализа делятся на потенциально рудные и безрудные (породные и сформировавшиеся на различных геохимических барьерах). Состав ореолов, связанных с некоторыми безрудными метасоматитами, представлен в табл. 30.

Как показал опыт проверки аномалий, разбраковка проводится не всегда надежно и осложняется рядом причин. Развитие вторичных ореолов, как известно, происходит в сложной обстановке, и при существующей методике поисков

Таблица 30

Состав ореолов безрудных метасоматитов

Метасоматиты	Состав ореолов
Грейзен слюдяной	Be, Sn, Li, Mo, Pb, Rb, F
Скарн гранат-пироксеновый	Cu, Mn, Mo, Zn
Альбитит	Be, Nb, Sn

мы редко получаем полное представление о качественной и количественной характеристиках выявляемых аномалий. Об этом говорят факты пропуска месторождений при геохимических поисках, случаи, когда рудопроявления не обозначаются аномалиями, фиксируются слабоконтрастными полями (Мало-Ойногорское молибденовое месторождение) или отдельными аномальными точками (Моховое рудопроявление олова).

Комплекс анализируемых элементов особенно для ранних периодов геохимических поисков в регионе был неполным. Существовала практика анализа на расширенный комплекс элементов каждой десятой пробы, а также сокращения перечня элементов при детализации аномалий. Это приводило к обеднению состава и пропуску аномалий элементов, образующих небольшие по размерам ореолы (Sb, W, Cd, Ge) с низкой чувствительностью определения (Bi, W, As, Sb) или требующих специального анализа (Au, F, V, Hg, Rb, Cs).

Отбор геохимических проб, их обработка и анализ не всегда были качественными. Об этом свидетельствуют факты невоспроизводимости аномалий на местности, заражения проб и недопустимые расхождения рядовых и контрольных анализов.

В силу указанных выше причин, а также отсутствия систематического изучения особенностей промышленных и непромышленных типов месторождений разбраковка аномалий велась и ведется на основе неполной и недостаточно надежной исходной информации. Это значительно снижает и нейтрализует возможности самых определенных геохимических критериев. В качестве примера можно привести открытие в 1975 г. перспективных рудопоявлений — Новопавловского молибденового и Сорокского олово-вольфрам-редкометалльного.



Вторичные ореолы этих проявлений были обнаружены в 1946—1959 гг. При обобщении в период 1965—1975 гг. они были отбракованы как объекты второй очереди. Не меньше примеров, когда выделенные первоочередные аномалии при оценке оказались малоперспективными объектами.

**Этап оценки геохимических аномалий.** На этом этапе, когда исключается неопределенность, связанная с условиями гипергенеза, принадлежность ореолов к определенным типам оруденения можно оценить более уверенно. По основным характеристикам первичного ореола определяются также размеры месторождений (рудного поля), вещественный состав, количество и срез рудных эпицентров. Задача сводится в основном к определению уровня среза ореола его положения относительно рудного тела. Решение основано на явлении зонального распределения элементов и минералов (рис. 3, 4), которое выражается в преимущественном накоплении или уменьшении их концентрации (в вертикальном, горизонтальном сечениях) и изменении корреляционных отношений в различных частях ореолов (Рипп и др., 1971; Рипп, Белоголовов, 1972). Следует иметь в виду, что последнее не всегда связано с зональностью. Менее четко и не всегда зональность выражается изменением силы корреляционных связей между элементами. Л. Н. Овчинниковым и С. В. Григорьяном (1970) по результатам изучения большой группы месторождений выделен следующий эмпирический ряд зональности элементов в эндогенных ореолах (сверху вниз): Ba — (Sb, As<sup>1</sup>, Hg) — Cu<sup>1</sup> — Cd — Ag — Pb — Zn — Sn<sup>1</sup> — Au — Cu<sup>2</sup> — Bi — Ni — Co — Mo — U — Sn<sup>2</sup> — As<sup>2</sup> — Be — W. Для рассматриваемого региона этот ряд дополняется фтором, бором и редкими щелочами (Rb, Cs, Li), являющимися в большинстве случаев элементами надрудных зон. Для определения уровня эрозийного среза ореола рекомендуется рассчитывать отношения содержаний (продуктивностей) элементов надрудных и подрудных зон (Григорьян и др., 1971). Выбор таких элементов производится, исходя из результатов изучения ореолов эталонных месторождений или из приведенного выше ряда зональности. Для усиления слабых ореолов некоторыми исследователями рекомендуется суммирование (аддитивные ореолы) или перемножение (мультипликативные ореолы) содержаний элементов в каждой пробе (Григорьян и др., 1971). Таким способом увеличиваются размеры ореолов и выявляется эпицентр аномалии. С. В. Григорьяном также установлено, что зональность таких ореолов по сравнению с моноэлементными более стабильна.

Эффективных критериев для отличия зон рассеянной минерализации и первичных ореолов, окаймляющих рудные тела, в настоящее время еще нет. По данным С. В. Григорьяна и И. Н. Резникова (1972), зональность в ореолах, сопровож-



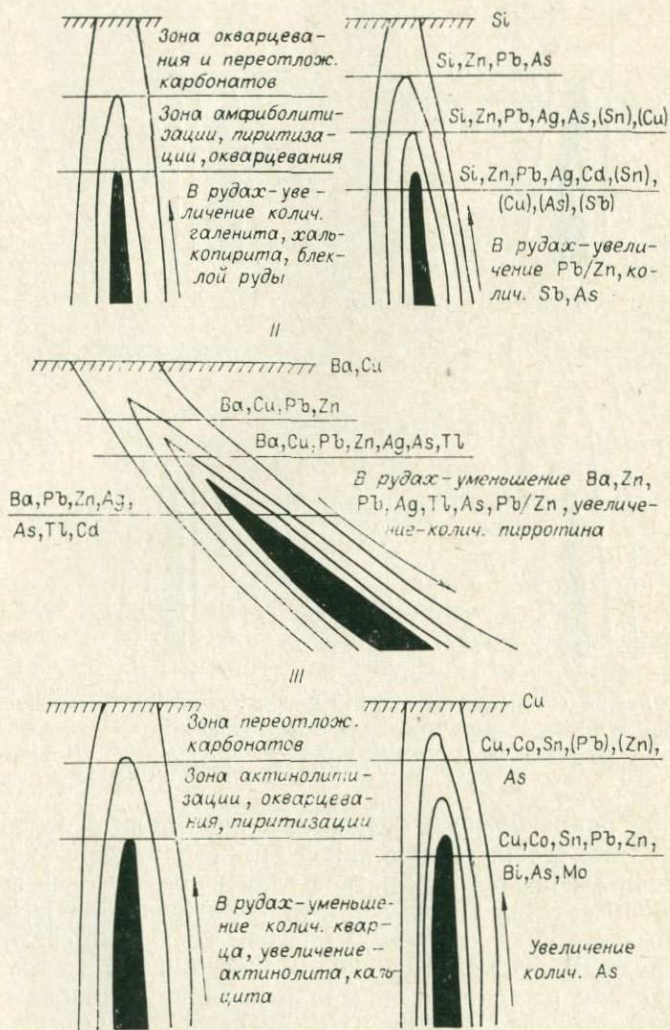


Рис. 3. Схемы зональности строения рудных тел и первичных ореолов месторождений.

I — свинцово-цинковых гидротермальных, II — колчеданно-полиметаллических (палеозойских), III — серноколчеданных (тип Запорожья). Здесь и на рис. 4 в скобках — элементы, представленные в ореолах аномальными точками.

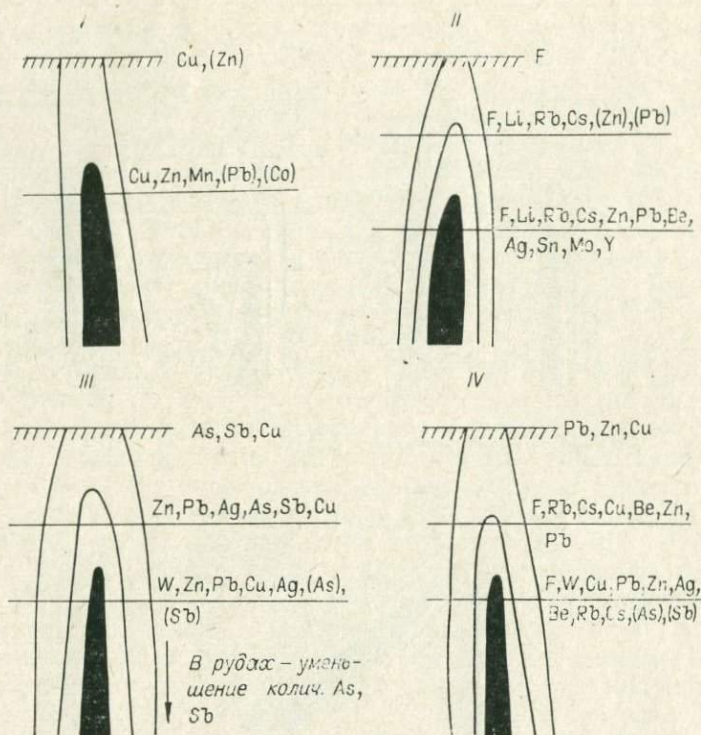


Рис. 4. Схемы зональности строения рудных тел и первичных ореолов месторождений.

I — железорудных скарповых; II — фтор-редкометалльных; III — кварц-шешелитовых; IV — сульфидно-гнейсовитовых.

дающих промышленное оруденение, значительно более контрастна, чем в зонах рассеянной минерализации, числовые значения отношений параметров аддитивных ореолов которых на любом сечении (поперечном к направлению движения растворов) отвечают ореолам, развитым на уровне средних частей рудных тел промышленного значения. В то же время сечения зон рассеянной минерализации по величинам индикаторных отношений отличаются низкими средними содержаниями главных рудообразующих элементов. При проведении подобных оценок необходимо иметь минимум два пересечения ореола по падению.

Оценка качества проведенных геохимических исследований, связанная с выявлением всех возможных эпицентров, и оптимального шага пробоотбора при поисках месторождений и конкретных рудных тел может быть рассчитана по формуле  $M = N/n$ , где  $M$  — шаг пробоотбора,  $N$  — ширина ореола,  $n$  — необходимое достоверное количество аномальных точек в



ореоле. Последняя величина эмпирически принимается равной 3 или 5. В случаях, когда на месторождениях рудные тела образуют ореолы шириной до 10—15 м, шаг пробоотбора не должен превышать 2—5 м, при ширине ореолов более 100 м он без ущерба для качества может быть увеличен до 20—30 м. Значения величины  $N$  и минимальный шаг пробоотбора при поисках различных типов месторождений приведены в табл. 27.

Этому этапу геохимических поисков также присущи свои трудности и недостатки. В частности, диагностика оруденения осложняется неравноценной и в целом недостаточной изученностью известных месторождений, а также неизученностью непромышленных объектов. Формирование параметров первичных ореолов обусловлено взаимодействием нескольких процессов. Оно связано со строением дорудного геохимического поля, явлениями перераспределения и частичной ассимиляции элементов вмещающих пород, наложением и разобщением концентраций элементов в результате полистадийности руды и ореолообразующего процесса и их более поздними метаморфическими преобразованиями. В зоне воздействия экзогенных процессов четко проявлены две тенденции. С одной стороны, в результате химического и электрохимического выветривания происходит вынос поверхностными водами ряда легко подвижных элементов (особенно таких, как цинк, медь, молибден). При этом еще до стадии механической дезинтеграции пород концентрация элементов в верхних частях ореолов иногда уменьшается на порядок. С другой стороны, на фоне уменьшения контрастности ореола происходит увеличение площади их распространения в основном к подножию склонов и в области дренажа грунтовых вод.

Вместе с тем характер и степень гипергенного изменения эндогенных ореолов и оруденения не всегда учитываются. Не изучаются строение вторичных ореолов в разрезе склоновых отложений, что приводит нередко к нерациональному заложению горных выработок и пропуску рудных тел.

Все эти причины неполной и некачественной исходной информации снижают результативность работ по оценке аномалий, обуславливают многократное возвращение на дооценку и переоценку объектов. Главным же недостатком, по нашему мнению, является отсутствие конкретных задач и требований к этому этапу работ, в частности к полноте и качеству исходной геохимической информации, к надежности оценки аномалий.

**Этап оценки перспектив флангов и глубоких горизонтов месторождений.** Оценка проводится на основе изучения параметров первичных ореолов. Особое значение здесь приобретают данные по минералогической и геохимической зональности. Этот этап также страдает всеми недостатками, пере-



Содержание элементов-примесей

Тип месторождений	Анализ	Ag	Bi·10 <sup>-4</sup>	
Магнетитовые скарновые	Химический		31(3)	
Серноколчеданные	Спектральный	0,3(1)	10 000(1)	
Колчеданно-полиметаллические (каледонские)	»	0,11(35)	90(35)*	
		0,089	3,16	
Колчеданно-полиметаллические (протерозой)	»	0,068(2)	15(2)	
		0,035(4)	17(1)	
Свинцово-цинковые (гидротермальные)	Спектральный	0,26(37)	90(37)*	
		0,13	2,5	
		0,34(13)	20(35)*	
Кварц-шеелитовые	Спектральный	0,18	2,8	
		1,0(3)	100(2)	
Сульфидно-гюбнеритовые, кварц-вольфрамитовые	Химический	1,0		
		Спектральный	0,51(46)	15 000(46)
		2,6	10 000	
Кварц-молибденитовые (I)	»	0,48(11)	6600(9)	
		0,45	4700	
Кварц-молибденитовые (II)	Спектральный	0,06(1)	1600(2)	
		0,16(28)	600(31)	
Фтор-редкометалльные	Химический	0,06	150	
			1400(3)	
Золото-кварцевые	»		4900(10)*	
			2,13	
Редкоземельные	Спектральный	0,12(19)*	500(30)	
		4 8	400	
Редкоземельные	Химический		300(3)	
		Спектральный	1,0(1)	10 000(1)
	Химический	0,32(1)	1 400(1)	

Примечание. Здесь и в табл. 32, 33 в числителе среднее арифметическое менателе — среднеквадратическое отклонение (S — для среднеарифметических) и

численными выше. Даже на крупных разведываемых и обрабатываемых месторождениях параметры ореолов полностью не изучены. Это приводит к тому, что пропускаются рудные тела, недооцениваются перспективы нахождения новых типов месторождений. Постоянно, вплоть до настоящего времени, не полностью опробуются горные выработки, керн скважин сокращается, хотя затраты на опробование первичного ореола не превышают 1% их стоимости.

Т а б л и ц а 31

в галенитах, %

Tl·10 <sup>-4</sup>	Sb	In·10 <sup>-4</sup>	Sn·10 <sup>-4</sup>	Te·10 <sup>-4</sup>
3 (7)	0,0012(3)	23 (4)	41(3)	
500(1)	0,2 (1)	10 (1)	300(1)	700(1)
32(35)	0,14(35)	10 (35)	3 (35)	100(35)
30	0,09			
4(6)		10 (2)	10(2)	16(1)
		2(1)	140(4)	3(1)
10(37)	0,20(37)	10(37)	400(37)	100(37)
	0,17		700	
3 (41)	0,27(11)	2(36)*	250(11)	
	0,22	4,0	200	
10(2)	1,5(2)	10(2)	180 (2)	10 000(2)
160(46)*	0,09 (46)	10 (46)	10 (46)	750(46)*
6,7	0,11			3,1
13(17)	0,034(10)	5 (15 )	4(9)	
13	0,027	3	3	180(5)
3(2)	0,055(1)	3 (1)		
160(28)	0,2(28)	10(28)	8,(28)*	100(28)
	0,12		1,9	
80(1)	0,65 (1)	2(3)	8(1)	400(2)
240(10)*	0,005(6)	5(8)	9(6)	
9,2			8	
	0,22(16)*			
	3,7			
10(1)	0,098 (7)	5 (1)	4(20)	

(X̄) и геометрическое (Z) отмечено звездочкой, в скобках — число анализов. В знаменателе — стандартный множитель (t — для средних геометрических).

Оценка рудопроявлений

Оценка рудопроявлений так же, как и в случае с геохимическими аномалиями, включает в себя две проблемы — определение формационного типа и его возможные перспективы. Как известно, многие группы месторождений обладают некоторыми общими, в частности минералогическими и геохимическими, признаками. Поэтому выявление рудной мине-



## Содержание элементов-примесей

Тип месторождений	Анализ	Mn	Cd	In·10 <sup>-4</sup>
Магнетитовые скарновые	Спектральный	$\frac{0,64(31)}{0,3}$	$\frac{0,29(31)}{1,6}$	$\frac{20(31)^*}{3,03}$
	Химический	2,6 (9)	$\frac{0,16(14)}{0,11}$	$\frac{96(13)}{70}$
Серноколчеданные	Спектральный	0,062 (2)	1,0 (2)	500(2)
Колчеданно-полиметаллические (каледонские)	»	$\frac{0,06(154)}{1,9}$	$\frac{0,27(154)}{0,10}$	$\frac{20(154)}{2,4}$
	Химический	$\frac{0,13(9)}{0,11}$	$\frac{0,15(49)}{0,05}$	$\frac{14(45)}{13}$
Колчеданно-полиметаллические (протерозой)	Спектральный			
	Химический		0,13 (8)	14(2)
Свинцово-цинковые (гидротермальные)	Спектральный	$\frac{0,04(29)^*}{3,3}$	$\frac{0,68(29)}{0,29}$	$\frac{8(29)}{1,8}$
	Химический	$\frac{0,28(13)}{0,26}$	$\frac{0,35(22)}{0,12}$	$\frac{12(21)}{9}$
Свинцово-цинковые скарновые	Спектральный	0,5 (1)	1,0 (1)	10 (1)
	Химический	0,5 (1)	0,58 (1)	
Сульфидно-гюбнеритовые, кварц-вольфрамитовые	Спектральный	$\frac{0,19(45)^*}{1,9}$	$\frac{1,16(45)}{0,72}$	$\frac{490(45)^*}{2,9}$
	Химический	0,13(3)	$\frac{0,67(20)}{0,22}$	$\frac{141(19)}{121}$
Кварц-молибденитовые (I)	»	0,37(1)	0,49(5)	104(4)
Кварц-молибденитовые(II)	Спектральный	$\frac{0,02(23)^*}{4,3}$	$\frac{0,30(23)}{0,21}$	$\frac{40(23)^*}{8,7}$
	»	1,0(1)	1,0(1)	
Фтор-редкометалльные	Химический	1,6 (5)	$\frac{1,03(10)}{0,54}$	$\frac{7(8)^*}{2,74}$
	Спектральный	1,0 (1)	$\frac{0,61(19)}{0,47}$	$\frac{13(28)^*}{2,5}$
Золото-кварцевые	Химический		0,62(4)	
	Спектральный	0,02(2)		
Редкоземельные	Спектральный			
	Химический			

## в сфалеритах, %

Cu	Co·10 <sup>-4</sup>	Ga·10 <sup>-4</sup>	Ge·10 <sup>-4</sup>	Sn·10 <sup>-4</sup>
$\frac{0,05(31)^*}{5,0}$	$\frac{800(23)}{600}$	10 (23)	10 (23)	10 (23)
1,0(5)	$\frac{500(7)}{400}$	1(3)	5 (4)	12(3)
0,1(2)	20(2)	10(2)	10(2)	3 (2)
$\frac{10(154)^*}{5,7}$	10(154)	10 (154)	10(154)	7 (154)
$\frac{0,04(22)}{0,03}$	$\frac{30(20)}{30}$	$\frac{2(21)}{1,7}$	$\frac{9(18)^*}{2,9}$	$\frac{5(12)}{2,3}$
	10(13)	30(2)		40 (4)
$\frac{0,002(29)^*}{3,0}$	$\frac{30(29)}{20}$	$\frac{7(29)^*}{1,5}$	10(29)	50 (34)
$\frac{0,009(21)^*}{4,46}$	$\frac{28(22)}{20}$	$\frac{6(22)}{3}$	5 (20)	91(10)
0,08 (1)	8(1)	10(1)	10 (1)	10 (1)
0,01(1)				
$\frac{0,15(45)^*}{2,6}$	10 (45)	$\frac{12(45)^*}{1,7}$	10(45)	$\frac{20(45)}{3,4}$
$\frac{0,32(11)}{0,29}$	$\frac{8(18)}{3}$	$\frac{4(15)}{4}$	5 (17)	$\frac{13(10)}{10}$
0,25 (3)	10 (9)	27(3)	5 (3)	109(3)
$\frac{0,16(23)}{0,13}$	10(23)	10(23)	10(23)	$\frac{7(23)^*}{1,5}$
0,02 (1)	300(1)			
0,56 (4)	600(5)	5(4)	40(4)	10(4)
				10(9)
$\frac{0,11(14)}{0,10}$	$\frac{270(12)}{210}$			
$\frac{0,03(27)^*}{5,4}$		$\frac{7(28)^*}{2,3}$	5(1)	$\frac{4(28)^*}{1,7}$
0,2(2)	200(1)			60 (2)
0,17(2)				



## Содержание элементов-примесей в пиритах, %

Тип месторождений	Анализ	Ni·10 <sup>-4</sup>	Co	As·10 <sup>-4</sup>	Cu	Ag·10 <sup>-4</sup>	Te·10 <sup>-4</sup>	Bi·10 <sup>-4</sup>	
Магнетитовые вод- досиликатные	Спек ральный	$\frac{90(8)}{130}$	$\frac{0,034(9)}{0,026}$	<100(9)	$\frac{0,044(9)}{0,06}$	$\frac{1,(7)}{0,8}$	<100(5)	<10(5)	
	Химический	$\frac{310(16)}{300}$	$\frac{0,13(17)}{0,18}$	$\frac{30(12)*}{3,29}$		2(7)		5 (7)	
	» скарновые	Спектральный	$\frac{9(17)*}{2,17}$	$\frac{0,09(17)}{0,009}$	<100(17)	$\frac{0,034(17)}{0,029}$	$\frac{2(17)}{3,5}$	<100(17)	27(17)
		Химический	<50(16)	$\frac{0,12(17)}{0,11}$	$\frac{290(11)*}{5,05}$	0,09(6)	15(6)		34(9)
Серноколчеданные	Спектральный	10(28)	$\frac{0,007(28)}{0,004}$	$\frac{390(28)}{290}$	$\frac{0,008(28)*}{2,72}$	$\frac{6(28)}{4}$	<100(28)	$\frac{30(28)}{29}$	
	Химический	<50(42)	$\frac{0,035(42)}{0,015}$	$\frac{110(32)}{40}$	0,01(2)			30(3)	
Колчеданно-поли- металлические (каледонские)	Спектральный	$\frac{10(33)}{7}$	$\frac{0,001(33)*}{2,63}$	$\frac{400(33)}{300}$	$\frac{0,82(31)}{0,76}$	$\frac{6(18)}{3}$	<100(33)	<10(45)	
	Химический	$\frac{80(24)}{40}$	$\frac{0,008(31)}{0,004}$	40(2)	$\frac{0,23(22)}{0,18}$	95(1)	$\frac{5,8(11)}{3,0}$	50(1)	
Колчеданно-поли- металлические протерозойские	Спектральный	20(4)	0,013(3)	800(4)		16(4)			
	Химический						<3 (1)	20(1)	
Свинцово-цинковые (гидротермаль- ные)	Спектральный	<10(2)		<100(2)	0,1(1)	<3(1)	<100(1)	<10(2)	
	»	350(2)	0,015(2)	650(2)	0,55(2)	1000(2)	<100(2)	<10(2)	
Кварц-шеелитовые	»	$\frac{10(75)*}{1,75}$	$\frac{0,0018(75)*}{3,51}$	<100(75)	$\frac{0,003(75)*}{3,17}$	$\frac{8(75)*}{2,2}$	<100(75)	$\frac{100(75)}{130}$	
	Химический	5(32)	$\frac{0,021(37)}{0,011}$	$\frac{29(33)}{15}$	<0,05(3)	7,4(7)	14(8)	210(20)	
Кварц-молибдени- товые (I)	»	<10(16)	0,022(16)	10(14)		2,8(4)		109(12)	
	Спектральный	$\frac{18(44)*}{2,03}$	$\frac{0,003(44)*}{2,68}$	$\frac{190(44)*}{3,72}$	$\frac{0,03(44)*}{3,65}$	$\frac{2(44)*}{2,49}$	<100(44)	<10(44)	
Кварц-молибдени- товые (II)	Химический	120(6)	0,038(6)	50(2)	<0,01(2)	1,7(3)		<50(5)	
	Спектральный	160(7)	0,005(7)	<100(7)	0,026(7)	6(7)	<100(7)	<10(7)	
Фтор-редкометаль- ные	Химический	60(3)	0,07(3)	30(2)	0,05(3)			<50(3)	
	Спектральный	30(60)	0,006(59)	700(48)	0,04(65)	60(65)		<10(36)	
Золото-кварцевые	»	300(2)		200(2)	0,006(2)	6(2)		100(2)	
	Редкоземельные								



Распределение элементов-примесей в галенитах по классам содержаний и их частости, %

Тип месторождений	Bi · 10 <sup>-4</sup> %						Jn · 10 <sup>-4</sup> %			Tl · 10 <sup>-4</sup> %				Sn · 10 <sup>-4</sup> %			
	n	<10	10-100	100-1000	1000-5000	>5000	n	<10	>10	n	<10	10-100	>100	n	<10	10-50	>50
Магнетитовые скарновые	$\frac{5}{5}$		$\frac{80}{80}$	$\frac{20}{20}$			$\frac{4}{4}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{75}{75}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{86}{86}$	$\frac{14}{14}$		$\frac{4}{4}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{50}{50}$	
Серникоколчеданные	$\frac{1}{1}$					$\frac{100}{100}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{1}{1}$			$\frac{100}{100}$	$\frac{1}{1}$			$\frac{100}{100}$
лчеданно-голиметаллические (каледонские)	$\frac{2}{35}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{100}{50}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{11}{11}$		$\frac{35}{35}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{10}{35}$	$\frac{90}{50}$	$\frac{10}{44}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{3}{35}$	$\frac{100}{95}$	$\frac{5}{5}$	
Колчеданно-полиметаллические (протерозой)	$\frac{1}{5}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{100}{40}$	$\frac{20}{20}$			$\frac{1}{1}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{5}{5}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{80}{80}$		$\frac{8}{8}$		$\frac{50}{50}$	$\frac{50}{50}$
Свинцово-цинковые (гидротермальные)	$\frac{34}{48}$	$\frac{44}{10}$	$\frac{41}{70}$	$\frac{12}{20}$	$\frac{3}{3}$		$\frac{35}{48}$	$\frac{85}{95}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{42}{48}$	$\frac{86}{94}$	$\frac{14}{6}$		$\frac{20}{20}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{25}{25}$
Свинцово-цинковые (скарновые)	$\frac{2}{4}$		$\frac{100}{50}$	$\frac{25}{25}$		$\frac{25}{25}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{5}{4}$	$\frac{100}{75}$	$\frac{25}{25}$		$\frac{4}{4}$	$\frac{75}{75}$	$\frac{25}{25}$	
Кварц-шеелитовые	$\frac{3}{3}$	$\frac{33}{33}$	$\frac{33}{33}$	$\frac{33}{33}$			$\frac{3}{3}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{3}{3}$	$\frac{100}{100}$			$\frac{3}{3}$			$\frac{100}{100}$
Сульфидно-гюбнеритовые, кварц-вольфрамитовые,	$\frac{37}{42}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{13}{13}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{62}{86}$	$\frac{16}{42}$	$\frac{69}{80}$	$\frac{31}{20}$	$\frac{17}{42}$	$\frac{65}{17}$	$\frac{29}{22}$	$\frac{6}{61}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{100}{100}$		





серноколчеданных залежей. Вероятность отнесения оруденения к определенному типу можно рассчитать. В табл. 34—37, содержащих данные о распределении элементов-примесей по классам содержаний по формуле  $R = 1/n \sum_1^n r_1 + r_2 + \dots + r_n$ , определяется вероятность формационного типа месторождения.

Выделяя тяжелую фракцию из протокочек, взятых в пределах первичного ореола, а затем анализируя минералы, можем получить аналогичный результат.

Предварительную диагностику можно провести, сравнивая отношения содержаний некоторых элементов в рудах, например цинк — свинец, цинк — медь (см. табл. 37).

Данные по изотопному составу серы и свинца рудных минералов в ряде случаев могут быть использованы для диагностических целей. В частности, сульфидная сера молибденово-вольфрамовых, молибденовых, сульфидных медно-никелевых месторождений региона гомогенна по изотопному составу и близка к метеоритному стандарту. Такие же величины характерны для руд медно-молибденовых месторождений соседних регионов. На железорудных месторождениях сульфидная сера значительно обогащена тяжелым изотопом ( $S^{34}$ ), а для седиментогенных образований морских бассейнов она приближается к составу эвапоритов. Формация колчеданно-полиметаллических руд характеризуется гетерогенностью и утяжеленным изотопным составом сульфидной серы, широким диапазоном ее вариаций. В отличие от них колчеданная минерализация осадочного генезиса, тесно связанная с черносланцевыми толщами, обычно имеет более легкий изотопный состав. В табл. 38 представлена ранжировка изотопного состава серы и частостей по интервальным значениям. С помощью ее, как и в описанных выше случаях, по формуле  $R = 1/n \sum_1^n r_1 + r_2 + \dots + r_n$  можно рассчитать вероятность предполагаемого оруденения.

Изотопный состав свинца может помочь установлению связи или сравнению выявленной минерализации с эталонными месторождениями, расчету модельного возраста оруденения и решению вопросов источников рудного вещества, в частности генетической связи с магматическими породами. Вместе с тем количество информации по составу рудных свинцов недостаточно, и интерпретация полученных результатов на данном этапе не может быть надежной.

Оценка фторопроявлений, которые, как было показано выше, могут быть связаны с различными формационными типами месторождений, возможна по составу редких земель в рудах, флюоритах или других минералах. Так, иттриевая группа характерна для молибденовых, вольфрамовых, берил-

Распределение элементов-примесей в сфалеритах по классам содержания и исчисления, %

Тип месторождений	Cd						$In \cdot 10^{-4}$				$Ga \cdot 10^4$			$Ge \cdot 10^4$		
	n	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,7	>0,7	n	<10	10-100	>100	n	<10	>10	n	<10	>10
Магнетитовые скарновые . . .	$\frac{14}{33}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{65}{34}$	$\frac{21}{33}$	$\frac{7}{18}$	$\frac{7}{6}$	$\frac{12}{33}$	$\frac{8}{18}$	$\frac{59}{64}$	$\frac{33}{18}$	$\frac{5}{23}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{5}{23}$	$\frac{100}{100}$	
Серноколчеданные . . . . .	$\frac{2}{2}$					$\frac{100}{100}$	$\frac{2}{2}$			$\frac{100}{100}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{2}{2}$	$\frac{100}{100}$	
Колчеданно-полиметаллические (каледонские) . . . . .	$\frac{48}{158}$	$\frac{19}{2}$	$\frac{56}{24}$	$\frac{23}{55}$	$\frac{2}{17}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{45}{158}$	$\frac{69}{16}$	$\frac{31}{84}$		$\frac{21}{158}$	$\frac{100}{99}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{17}{158}$	$\frac{71}{98}$	$\frac{29}{2}$
Колчеданно-полиметаллические (протерозой) . . . . .	$\frac{8}{6}$	$\frac{25}{17}$	$\frac{63}{17}$	$\frac{12}{33}$		$\frac{33}{33}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{50}{50}$			$\frac{5}{5}$		$\frac{100}{100}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{100}{100}$	
Свинцово-цинковые гидротермальные . . . . .	$\frac{22}{40}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{51}{27}$	$\frac{45}{26}$	$\frac{4}{30}$	$\frac{23}{40}$	$\frac{57}{57}$	$\frac{39}{43}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{22}{40}$	$\frac{91}{95}$	$\frac{9}{5}$	$\frac{20}{40}$	$\frac{95}{100}$	$\frac{5}{5}$
Свинцово-цинковые скарновые . . . . .	$\frac{2}{2}$				$\frac{100}{100}$		$\frac{2}{2}$		$\frac{100}{100}$		$\frac{2}{2}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{2}{2}$	$\frac{100}{100}$	
Сульфидно-гюбнеритовые, кварц-вольфрамитовые	$\frac{22}{49}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{59}{20}$	$\frac{33}{66}$	$\frac{21}{51}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{38}{94}$	$\frac{57}{6}$	$\frac{17}{47}$	$\frac{100}{65}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{13}{63}$	$\frac{100}{100}$	
Кварц-молибденитовые (I)	$\frac{6}{6}$			$\frac{16}{16}$	$\frac{68}{68}$	$\frac{16}{16}$	$\frac{5}{5}$		$\frac{60}{60}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{100}{100}$	
Кварц-молибденитовые (II)	$\frac{23}{23}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{31}{31}$	$\frac{39}{39}$	$\frac{17}{17}$	$\frac{4}{4}$					$\frac{23}{23}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{23}{23}$	$\frac{100}{100}$	
Фтор-редкометалльные . . . . .	$\frac{10}{2}$				$\frac{35}{35}$	$\frac{65}{100}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{75}{75}$	$\frac{25}{25}$		$\frac{4}{4}$	$\frac{100}{100}$		$\frac{4}{4}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{75}{75}$
Золото-кварцевые . . . . .	$\frac{4}{4}$				$\frac{75}{75}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{54}{54}$	$\frac{46}{46}$		$\frac{28}{28}$	$\frac{75}{75}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{100}{100}$	



Распределение элементов-примесей в пиритах по классам содержания и их частоты, %

Тип месторождений	Co·10 <sup>-4</sup>						As·10 <sup>-4</sup>				Ni·10 <sup>-4</sup>			
	n	<50	50—100	100—500	500—1000	>1000	n	<10 10—100	100—500	>500	n	<50	50—100	>100
Магнетитовые скарновые	17 35	5 26	12 45	23 29	24	36	11 17	27 9 47	27 41	37 12	16 33	64 97	18 3	18
Магнетитовые водносил- катные . . . . .	20 16	6	6	20 76	30 12	50	12 6	50 25 67	25	25	19 15	16 33	16 13	68 54
Серноколчеданные . . . . .	39 27	22	37	80 41	20		31 28	41	59 42	25	38 28	98 93	2 7	
Колчеданно-полиметалличе- ские (каледонские) . . . . .	33 37	15 8	64 92	18	3		37	11	57	32	24 37	20 100	56	24
Колчеданно-полиметалличе- ские (протерозой) . . . . .	4	50	25	25			5		40	60	5	80	20	
Свинцово-цинковые гидро- термальные . . . . .	1			100			1	100			1	100		
Свинцово-цинковые скарно- вые . . . . .	1			100			1	100			1	100		
Кварц-шеелитовые . . . . .	2		50	50			2		50	50	2			100
Сульфидно-гюбнеритовые, кварц-вольфрамитовые	36 143	11 85	14 11	67 2	5 2	3	30 143	27 67 99	6 1		31 143	68 90	3 10	29
Кварц-молибденитовые (I)	17 40	18 80	18 10	53 10	6	5	14 40	50 50 95	5		17 40	88 80	6 20	6
Кварц-молибденитовые (II)	7 38	68	14 24	72 8	14		6 38	33 34 39	17 32	16 29	7 38	28 87	43 13	27
Фтор-редкометалльные . . . . .	3 7	33 46	33 54		33		2 7	100 72		28	3 7	33 46	33	67 54
Золото-кварцевые. . . . .	22 43	58 63	32 16	5 7	5 7	7	22 26	23 80	32 12	45 8	22 43	59 75	23 25	18

Отношения средних содержаний элементов в рудах месторождений

Тип месторождений	Колич. объектов	Zn/Pb
Железорудные скарновые . . . . .	5	>10
Железорудные магнетитовые . . . . .	1	>10
Железистые кварциты . . . . .	1	>10
Титано-магнетитовые . . . . .	2	>10
Колчеданно-полиметаллические . . . . .	6	3—8
Серникоколчеданные (тип Зангоды) . . . . .	1	<1
Свинцово-цинковые . . . . .	10	0,5—2
Вольфрамовые (гидротермальные) . . . . .	4	0,5—0,8
Фтор-редкометалльные . . . . .	3	1—6
Золото-кварцевые(сульфидные, малосульфидные) . . . . .	3	0,3—10
Медно-никелевые сульфидные . . . . .	2	>10

лиевых, флюоритовых месторождений, а цериевая и смешанная — для редкоземельных, ниобиевых, связанных со щелочным магматизмом.

Наиболее достоверные результаты могут быть получены по суммарной оценке геохимических данных. Приведем два примера подобной оценки.

Таблица 38

Распределение значений изотопного состава сульфидной серы по классам содержаний, ‰

Тип месторождений	Колич. проб	$\delta S^{34}$							
		<(-6)	(-6) (-2)	(-2) (+2)	(+2) (+)	(+6) (+10)	(+10) (+14)	(+14) (+18)	>(18)
Железорудные скарновые . . . . .	23	—	—	9	52	39	—	—	—
Железорудные водно-силикатные . . . . .	15	—	—	—	7	20	40	20	13
Колчеданно-полиметаллические . . . . .	159	1	4	10	11	22	21	15	16
Серникоколчеданные . . . . .	14	—	31	39	23	7	—	—	—
Свинцово-цинковые . . . . .	30	—	—	17	40	30	7	3	3
Сульфидно-гюбнеритовые . . . . .	11	—	—	73	27	—	—	—	—
Молибденовые гидротермальные . . . . .	17	—	24	59	17	—	—	—	—
Фтор-редкометалльные . . . . .	7	—	—	—	—	42	29	29	—
Медно-никелевые сульфидные . . . . .	29	—	—	72	28	—	—	—	—
Сульфиды черных сланцев . . . . .	26	19	27	46	8	—	—	—	—



Сравнение геохимических особенностей месторождений Зангода и колчеданно-полиметаллических

Сравниваемые признаки	Месторождения	
	колчеданно-полиметаллические	Зангода
Главные элементы руд	Zn, Pb, Ba, Ag, Fe S	Fe, S, Cu, Co,
Состав первичных ореолов	Pb, Zn, Ba, Ag, As Tl(Cu)	Cu, Pb, (Zn), As, Co, Bi, Mo, Sn
Элементы-примеси минералов		
пирит: Co, % . . . . .	0,008	0,035
As, % . . . . .	0,004	0,010
Ni, % . . . . .	0,008*	<0,005*
халькопирит: Sn, г/т . . . . .	10	4100
Jn, г/т . . . . .	<5	105
сфалерит: Cd, % . . . . .	0,17	1,0
In, г/т . . . . .	20	500
Co, % . . . . .	<0,001	0,02
Sn, г/т . . . . .	<7	3000
галенит: Bi, % . . . . .	0,005	>1 0
Tl, г/т . . . . .	30	500
Sn, г/т . . . . .	3	300
Te, % . . . . .	<0,01	0,07
Отношения Zn/Pb в рудах . . . . .	4—6	0,2
Изотопный состав серы пирита		
$\delta S^{34}$ ‰ . . . . .	(-2,8)—(+27,5)	(-3,2)—(+8,7)
Среднее . . . . .	+14	+0,3

\* Здесь и в табл. 40 наблюдается подобие признаков.

Серноколчеданное месторождение Зангода, известное в Курбинском рудном районе, и его ближайшие окрестности в течение длительного времени оценивались вначале на молибденовое, а затем — свинцово-цинковое оруденение. Несмотря на отрицательные результаты, до сих пор продолжает существовать мнение о принадлежности этого месторождения к формации колчеданно-полиметаллических руд. В табл. 39 приводится сравнение этих двух объектов по геохимическим особенностям. Общим для них является только существенно пиритовый состав руд. Различие же их геохимических признаков настолько существенно, что говорить о принадлежности к одному формационному типу не приходится. Поэтому прогнозы о возможности промышленного свинцово-цинкового оруденения в рудном поле, аналогичного рудам Озерного колчеданно-полиметаллического месторождения, как это было сделано некоторыми исследователями, нельзя признать корректными.

## Сравнение геохимических особенностей Назаровского месторождения и месторождений других формационных типов

Сравниваемые признаки	Месторождения		
	колчеданно-полиметаллические	железорудные скарновые	Назаровское
Главные элементы руд	Zn, Pb, Ba, Ag Fe, S	Fe, Zn, Cu, S	Fe, Zn, Cu, S
Отношения содержаний элементов в рудах:			
Zn/Pb . . . . .	4,6	>10	>10
Zn/Cu . . . . .	<10(74%)	0,5—5(59%)	0,5—5(65%)
Pb/Cu . . . . .	1—50(82%)	0,1—1(70%)	0,1—1(60%)
Элементы-примеси минералов			
пирит: Co, % . .	0,008	0,12	0,18
As, % . . . . .	0,004	0,009	0,012
Ni, % . . . . .	0,008*	<0,005*	<0,005*
сфалерит: Cd, %	0,14	0,18	0,26
Mn, % . . . . .	0,13*	2,6	0,33*
In, г/г . . . . .	14	130	121
Co, % . . . . .	0,003	0,05	0,009
Изотопный состав серы			
$\sigma S^{34}$ , ‰			
пирит . . . . .	(-2,8)—(+27,5)	(+4)—(+5,9)	(+4,1)—(+9,3)
сфалерит . . . . .	(+8,4)—(+14,1)	(+5,8)—(+6,4)	+5,2

В Еравнинском рудном районе к формации колчеданно-полиметаллических руд отнесено Назаровское месторождение. Специфика его структурно-текстурных особенностей и минерального состава руд объясняется тем, что месторождение прошло этап метаморфических преобразований. В табл. 40 приводится сравнение геохимических особенностей трех типов месторождений. По 11 сравниваемым признакам из 13 Назаровское месторождение значительно отличается от колчеданно-полиметаллических и сходно со скарновыми железорудными. К тому же, если учесть, что в пределах месторождения известны тела скарнов и магнетитовых руд, то это сходство можно считать достоверным. Следовательно, оценка Назаровского месторождения должна исходить из принадлежности его к скарновой железорудной формации, а не к колчеданно-полиметаллической.



Как показывают исследования, оценка аномалий и рудопроявлений в принципе возможна на основе использования минералого-геохимических особенностей искомого оруденения. При этом важная суммарная характеристика месторождений — их геохимическая контрастность. Она в основном определяет сложность и вероятность выявления минерализации данных типов. Второй важный поисковый аспект — ландшафтно-геоморфологические условия района поисков (три категории площадей, по Э. Ф. Жбанову и Т. Т. Тайсаеву, 1971). На основе этих характеристик выделяется шесть типовых поисковых ситуаций.

Оптимальная методика поисков и оценка проявлений и аномалий в каждой ситуации будет, естественно, особой (комплекс методов, последовательность их применения, комплекс анализируемых элементов, глубина и сеть пробоотбора и т. д.). Так, при поисках малоконтрастных типов месторождений в закрытых и полужакрытых районах существующий вариант поверхностной металлометрической съемки будет неэффективным. Такие же поиски геохимически контрастных типов в полужакрытых районах по гипергенным аналогам первичных ореолов первого порядка и по первичным ореолам с использованием всего разнообразия эрозионных врезов будут значительно более продуктивными. В каждом случае должны учитываться объективно существующие зависимости и соотношения между оруденением и первичными ореолами, с одной стороны, и вторичными — с другой. Эти особенности, использованные для выделения типовых поисковых ситуаций, могут служить основой для районирования площадей по условиям ведения геохимических поисков, разработки алгоритма поисков, обоснованной разбраковки и оценки выявленных аномалий.

С помощью полученных данных представляется возможным решать следующие наиболее важные задачи поисков.

1. На стадии прогноза и планирования поисков:

а) выявлять площади и геологические образования, в пределах которых вероятно обнаружение рудных месторождений;

б) по размерам и составу геохимических полей прогнозировать их специализацию и рудный потенциал. Для геохимически контрастных типов оруденения крупным месторождениям соответствуют геохимические поля, размеры которых больше реального масштаба изменчивости условий поисков в полузакрытых и открытых районах региона. В этих случаях (с учетом надежности проведенных работ) среднemasштабными геохимическими поисками зафиксированы все потенциально рудные поля;

в) на основе анализа структуры геохимических полей определять положение их эпицентров.

2. На этапе оценки геохимических аномалий:

а) проводить качественную разбраковку аномалий с определением возможного типа оруденения;

б) на основе зональности эндогенных ореолов определять эрозионный срез оруденения.

В результате полученных данных дается заключение о перспективности аномалий.

3. На стадии оценки рудопроявлений:

а) определять формационную принадлежность оруденения, его генетический и минеральный тип;

б) оценивать уровень эрозионного среза рудного тела (месторождения).

4. На стадии разведки месторождений:

а) определять положение рудных тел, блоков, участков с различным эрозионным срезом;

б) прогнозировать скрытое оруденение;

в) расшифровывать структуру рудного поля.

Но, как показал опыт, реализация этих возможностей на разных этапах геологопоисковых и разведочных работ осложняется в силу как объективных, так и субъективных причин. На этапе выявления геохимических аномалий их две. Первая заключается в сложности ландшафтно-геоморфологических условий формирования вторичных ореолов, вследствие чего при существующей методике поисков мы редко получаем полное представление о качественных и количественных характеристиках выявляемых аномалий. Вторая причина связана с неполным анализом проб и недостаточной чувствительностью и надежностью определения элементов-индикаторов. В силу этих причин разбраковка аномалий ведется на основе неполной и недостаточно надежной информации, что значительно снижает возможности даже самых определенных геохимических критериев.

На этапе оценки аномалий, при наличии выявленной минерализации, когда исключена неопределенность, связанная с условиями гипергенеза, принадлежность к известным типам можно оценить более уверенно. Ситуация осложняется неравноценной изученностью известных промышленно-интересных



типов оруденения. Главной и наиболее часто встречающейся ошибкой этого этапа является то, что оценочные работы проводятся без анализа структуры геохимического поля и захватывают лишь отдельные фрагменты его, при этом не учитывается ни история формирования ореола, ни его эрозионный срез.

Серьезное затруднение, непосредственно сказывающееся на эффективности поисковых работ — отсутствие количественных критериев различия аномалий, связанных с промышленными концентрациями полезных компонентов и с мелкими проявлениями и зонами рассеянной минерализации. Имеющиеся в настоящее время методики не универсальны, и применение их возможно в ограниченных случаях. Получаемые при этом параметры крайне не стабильны и не всегда совпадают с истинной оценкой масштабов оруденения.

В пределах известных рудных районов меняется сама задача поисков. Фактически она сводится к проблеме объемного прогнозирования.

Указанные выше обстоятельства определяют задачи внедрения полученных результатов в практику геохимических поисков и направления дальнейших работ по увеличению разрешающей способности геохимических поисков.

**Агапова Л. И.** Распределение лития, рубидия и таллия в жильных образованиях и околожильноизмененных породах Первомайского участка Джидинского месторождения.— В кн.: Вопросы минералогии и геохимии редких элементов. М., 1961, с. 71—78. (Тр. ИМГРЭ, вып. 7).

**Андреев В. В., Рипп Г. С., Галабурда С. Г.** Колчеданные месторождения Западного Забайкалья.— В кн.: Современное состояние учения о месторождениях полезных ископаемых. Ташкент, 1971, с. 236—237.

**Арсентьев В. П., Батурина Е. Е., Волков Л. С., Волколаков Ф. К., Гурулев С. А., Ермакова С. А., Иванов С. С., Кузьмин И. Я., Мельников С. В., Рипп Г. С., Тарасова Р. С.** Эндогенные формации главнейших полезных ископаемых Западного Забайкалья и отражение их на металлогенической карте Бурятии.— В кн.: Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1964, с. 15—16.

**Бабкин И. Н.** Типы руд свинцово-цинкового колчеданного месторождения и принципы их выделения.— В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым БурАССР. Улан-Удэ, 1971, с. 51—71.

**Батурина Е. Е., Рипп Г. С., Пак А. С., Белоголовов В. Ф.** Минералогическо-геохимические и структурно-морфологические особенности вольфрамовой минерализации территории Бурятии.— В кн.: Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. Л., Изд-во ЛГУ, 1975, с. 36—45.

**Беличенко В. Г., Хренов П. М.** О байкальских каледонидах.— «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1965, № 11, с. 72—85.

**Белоголовов В. Ф., Рипп Г. С.** Некоторые данные по распределению элементов в первичных ореолах рассеяния колчеданно-полиметаллических месторождений Западного Забайкалья.— В кн.: Материалы к геол. конф., посвященной 50-летию Сов. гос-ва и 10-летию Бурятской геол. упр-ия. Улан-Удэ, 1967, с. 386—392.

**Белоголовов В. Ф., Рипп Г. С., Кузьмин В. С., Чугунов А. П., Гусев Ю. П.** К вопросу о низкой контрастности вторичных ореолов и несоответствии их элементного состава с первичными ореолами.— В кн.: Материалы II сессии Сибирской секции СГПИМ по проблеме «Научные основы геохимических методов поисков полезных ископаемых». Ч. I. Улан-Удэ, 1972, с. 64—68.

**Бесова М. В.** Геология и минералогия Джидинского вольфрамового ме-



сторождения.— В кн.: Месторождения редких и малых металлов СССР. М., Изд-во АН СССР, 1939, с. 187—195.

**Булнаев К. Б.** Закономерности размещения флюоритовых месторождений Юго-Западного Забайкалья (Центральная Бурятия).— В кн.: Труды БКНИИ СО АН СССР. Вып. 9. Улан-Удэ, 1962, с. 54—59.

**Булнаев К. Б.** Типы флюоритовой минерализации Западного Забайкалья и ассоциации их с магматическими комплексами.— В кн.: Материалы по минералогии, геохимии и петрографии Забайкалья. Улан-Удэ, 1970, с. 34—38.

**Булнаев К. Б.** Об околорудной аргиллизации в эпитермальных флюоритовых месторождениях Западного Забайкалья и некоторые особенности их развития.— В кн.: Минералого-геохимические очерки Забайкалья. Улан-Удэ, 1971, с. 56—62.

**Бусленко А. И.** Текстурно-структурные особенности и условия формирования руд Озерного свинцово-цинкового колчеданного месторождения.— В кн.: Проблемы региональной геологии и петрографии Сибири и методы геохимических и геофизических исследований. Новосибирск, 1970, с. 74—77.

**Вахромеев С. А., Иньшин Е. Д., Корытова Д. М.** О геолого-структурных и генетических особенностях Булуктаевского молибден-вольфрамового месторождения.— «Зап. Вост.-Сиб. отд. ВМО», Иркутск, 1962, вып. 3, с. 19—34.

**Вахромеев И. С., Маслов В. М.** Опыт геолого-минералогического изучения околожильных пород одного из вольфрамовых месторождений.— В кн.: Сборник научных трудов Иргиредмет. Вып. 9. Иркутск, 1961, с. 3—13.

**Ветров Д. В., Крупский А. А.** Еравнинский железорудный район.— В кн.: Труды Второго совещания по металлогении Саяно-Байкальской горной области. Улан-Удэ, 1964, с. 54—68.

**Виноградов Б. К.** Об отношении интрузии гранитов к скарнам и оруденению на месторождении Солонго (Западное Забайкалье).— В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым БурАССР. Улан-Удэ, 1972, с. 120—125.

**Гамильтон Е. И.** Прикладная геохронология. Л., «Недра», 1968. 256 с.

**Гинзбург Н. И., Россман Г. И., Муканов К. М., Борисевич Н. В., Гольцман Ю. В., Иванов И. Б., Чернышев И. В.** и др. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. М., «Недра», 1966. 293 с.

**Горбунов О. Д.** Об ореолах первого порядка.— В кн.: Первичные ореолы и их использование при поисках и разведке рудных месторождений. Л., 1969, с. 18—20.

**Григорян С. В.** О вертикальной зональности первичных геохимических ореолов гидротермальных месторождений.— В кн.: Международный геохимический конгресс. Т. I. М., Изд-во АН СССР, 1971, с. 330—331.

**Григорян С. В., Зубов М. А., Туманян В. З.** О пространственной зональности первичных геохимических ореолов эндогенного оруденения.— В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Ч. II. Иркутск, 1971, с. 114—120.

Григорян С. В., Резников И. Н. О некоторых актуальных вопросах изучения и практического использования первичных ореолов.— В кн.: Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения. М., ИМГРЭ, 1972, с. 5—7.

Григорян С. В., Туманян В. С. К методике обнаружения и интерпретации геохимических аномалий.— В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Ч. II. Иркутск, 1971, с. 109—113.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы месторождений. М., «Недра», 1968. 204 с.

Гусельников В. Н. Некоторые генетические особенности флюоритовой минерализации Западного Забайкалья.— «Изв. вузов. Геол. и разв.», 1962, № 2, с. 28—31.

Дистанов Э. Г., Ковалев К. Р., Тарасова Р. С. Геологическое строение и генезис Озерного свинцово-цинкового колчеданного месторождения (Западное Забайкалье).— «Геол. рудн. месторожд.», 1972, № 2, с. 3—22.

Дистанов Э. Г., Ковалев К. Р. Текстуры и структуры гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических руд Озерного месторождения. Новосибирск, «Наука», 1975. 72 с.

Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. Н., Кренделев Ф. П. О математических принципах классификации предметов и явлений.— В кн.: Дискретный анализ. Вып. 7. Новосибирск, 1966, с. 3—15.

Заири Н. М., Стрижев В. П. Изотопный состав серы сульфидов Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения.— В кн.: 5-й Всесоюзный симпозиум по геохимии стабильных изотопов. М., Изд-во ГЕОХИ АН СССР, 1974, с. 120—121.

Игнатович В. И. Дайки и молибден-вольфрамовая минерализация Первомайской интрузии мезозойских гранит-порфиров (Джидинское месторождение).— «Геолого-произв. информация», Улан-Удэ, 1959, № 3, с. 29—47.

Игнатович В. И. Основные закономерности размещения кварцево-гюбнеритовых жил в Джидинском рудном поле.— В кн.: Третье совещание по минералогии, геохимии, генезису и комплексному использованию вольфрамовых месторождений СССР. Л., Изд-во ЛГУ, 1971, с. 30—31.

Комаров Ю. В. Полиметаллическое оруденение бассейна р. Уды в Западном Забайкалье.— В кн.: Материалы по геологии рудных месторождений Западного Забайкалья. Иркутск, 1960. с. 39—57. (Тр. Вост.-Сиб. геол. ин-та СО АН СССР, вып. 1).

Коновалов И. В. К вопросу о генезисе Еравнинских железорудных месторождений.— «Геол. и геофиз.», 1964а, № 11, с. 60—68.

Коновалов И. В. О вещественном составе руд Еравнинских железорудных месторождений.— В кн.: Труды Второго совещания по металлогении Саяно-Байкальской горной области. Улан-Удэ, 1964б, с. 69—79.

Коновалов И. В. О генезисе Еравнинских железорудных месторождений (Западное Забайкалье, БурАССР).— «Докл. АН СССР», 1966, т. 169, № 1, с. 181—183.



**Коржинский А. Ф.** Гидротермально-измененные породы редкометалльных месторождений Восточной Сибири. М., «Наука», 1967. 432 с.

**Кормилицын В. С.** О новой колчеданной провинции в Западном Забайкалье.— «Докл. АН СССР», 1966, т. 168, № 4, с. 878—881.

**Косалс Я. А., Дмитриева А. Н.** Многоэтапность гидротермального метаморфизма и редкометалльного рудообразования в многофазном гранитном массиве (Первомайский массив, Юго-Западное Прибайкалье).— «Геол. и геофиз.», 1971, № 10, с. 46—52.

**Косалс Я. А., Дмитриева А. Н.** О последовательности и температурных условиях формирования Булуктаевского месторождения (Юго-Западное Забайкалье).— «Геол. и геофиз.», 1972, № 2, с. 11—19.

**Косалс Я. А., Тычинский А. А., Рипп Г. С., Шипилов Л. Д.** Изотопный состав рудных свинцов и характер взаимоотношения молибден-вольфрамового и свинцово-цинкового оруденения в Джидинском рудном районе (Западное Забайкалье).— «Геол. и геофиз.», 1973, № 5, с. 31—39.

**Крапивин А. Г.** Железистые кварциты Северного Прибайкалья и некоторые вопросы их генезиса.— В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым БурАССР. Вып. XIII. Улан-Удэ, 1970, с. 130—139.

**Кузьмин И. Я., Клевцова И. Л.** Некоторые закономерности размещения оловоносного оруденения Витимского плоскогорья и критерии его прогноза.— В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., 1971, с. 340—341.

**Кузьмин И. Я., Хрусталева В. К., Алаев Л. П.** Оловоносность и эндогенная металлогения внегеосинклинальных условий развития северной части Витимского плоскогорья.— В кн.: Металлогения областей тектоно-магматической активизации. Иркутск, 1973, с. 89—91.

**Кушнарев И. П.** К вопросу об этапах минерализации Джидинского молибдено-вольфрамового месторождения.— «Геол. и горное дело», М., 1947, № 16, с. 43—49.

**Лисицын А. Е., Виноградов Б. К., Малинко С. В.** Скарны месторождения Солонго в Бурятии и их рудоносность.— «Сов. геология», 1974, № 3, с. 116—123.

**Малаев А. А., Миронов Е. П., Варламов В. А., Хрянина Л. П.** Колчеданно-полиметаллическое оруденение в Западном Забайкалье.— В кн.: Геология медно-колчеданных, свинцово-цинковых и никелевых месторождений. М., 1967, с. 46—53. (Тр. ЦНИГРИ, вып. 75).

**Матюхин Н. Е., Крупский А. А.** Особенности размещения и критерии колчеданных и железорудных месторождений в Курбино-Еравнинском районе.— В кн.: Вопросы региональной геологии металлогении Забайкалья. Вып. II. Чита, 1966, с. 137—143.

**Миркина С. Л., Жидков А. Я., Токсубаев А. И., Чухонин А. П., Неймарк Л. А.** Изотопный состав свинца и серы руд Холоднинского месторождения.— «Пятый симпозиум по геохимии стабильных изотопов». М., ГЕОХИ АН СССР, 1974, с. 116—117.

**Морозов В. И.** Интерпретация геохимических аномалий с целью выявления и оценки скрытого оруденения.— В кн.: Литохимические методы при поисках скрытого оруденения. М., ИМГРЭ, 1972, с. 62—64.

**Новиков Ю. А.** Использование корреляционного анализа при интерпретации фторометрических аномалий.— «Геохимия», 1967, № 7, с. 870—873.

**Овчинников Л. Н., Григорян С. В.** Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений.— В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Ч. 1. Иркутск, 1970, с. 3—36.

**Онтоев Д. О.** О закономерностях проявления гипогенной зональности в некоторых редкометальных рудных формациях Забайкалья.— В кн.: Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. М., «Наука», 1966, с. 102—144.

**Онтоев Д. О.** Особенности гидротермальных изменений вмещающих пород в связи со стадийностью минерализации и зональностью оруденения Джидинского рудного поля.— В кн.: Околорудный метасоматизм и оруденение. Л., 1968, с. 132—136.

**Онтоев Д. О.** Особенности окolorудных изменений вмещающих пород в связи со стадийностью минерализации и зональностью оруденения Джидинского рудного поля.— В кн.: Новые данные по геологии рудных районов Востока СССР. М., «Наука», 1969, с. 150—152.

**Онтоев Д. О.** Особенности геохимии сульфидно-редкометальных месторождений.— В кн.: Международный геохимический конгресс 1971 г. Т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1971, с. 410—411.

**Онтоев Д. О.** Сульфидно-вольфрамовые рудные формации и их генетические особенности.— В кн.: Минерализация и геохимия вольфрамовых месторождений. Л., Изд-во ЛГУ, 1971, с. 317—331.

**Онтоев Д. О., Дудыкина А. С.** Закономерности распределения элементов-примесей в некоторых минералах Джидинского рудного поля.— В кн.: Очерки геохимии эндогенных процессов. М., «Наука», 1966, с. 65—86.

**Онтоев Д. О., Здобнова С. И., Дудыкина А. С.** Некоторые закономерности в распределении редких щелочных (Li, Rb, Cs) и других элементов-примесей в слюдах редкометальных месторождений Джидинского рудного поля.— «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1968, № 3, с. 95—108.

**Онтоев Д. О., Корсакова Н. В.** Висмут и серебросодержащие галениты Джидинского рудного поля (Западное Забайкалье).— «Докл. АН СССР», 1967, т. 174, № 1, с. 201—204.

**Петровская С. Г., Санин Б. П., Спиридонов А. М.** Первичные геохимические ореолы и значение их для оценки перспектив разведываемых месторождений (на примере молибденового месторождения Западного Забайкалья).— «Геол. и геофиз.», 1974, № 8, с. 79—87.

**Плотников Ю. А., Рипп Г. С.** Геология, закономерности размещения и генетические особенности колчеданного оруденения в северной части Курбинского рудного района Бурятской АССР.— В кн.: Минералого-геохимические очерки Забайкалья. Улан-Удэ, 1971, с. 120—126.

**Повилайтис М. М.** Основные черты минералогии Джидинского молибден-вольфрамового месторождения.— В кн.: Труды ИМГРЭ. Вып. 24. М., 1960.



Рассел Р., Фаркуар Р. Изотопы свинца в геологии. М., ИЛ, 1962. 281 с.

Рипп Г. С. Вещественный состав и геохимические особенности полиметаллических месторождений Курбинского рудного района.— В кн.: Рудоносность и структуры рудных месторождений БурАССР. Улан-Удэ, 1970, с. 65—78.

Рипп Г. С. О температурах образования некоторых жильных и рудных минералов Озерного колчеданно-полиметаллического месторождения (Западное Забайкалье).— В кн.: Минералого-геохимические очерки Забайкалья. Улан-Удэ, 1971, с. 134—137.

Рипп Г. С., Белоголовов В. Ф. Минералого-геохимические особенности колчеданных месторождений Западного Забайкалья.— В кн.: Вопросы региональной геологии и металлогении Забайкалья. Чита, 1968, с. 152—154.

Рипп Г. С., Белоголовов В. Ф. О роли колчеданной минерализации в металлогении Западного Забайкалья.— «Изв. Забайкальского фил. геогр. о-ва СССР», Чита, вып. 4, с. 72—77.

Рипп Г. С., Белоголовов В. Ф. Геохимические особенности вольфрамовой минерализации Западного Забайкалья.— В кн.: Материалы Третьего совещания по минералогии, геохимии, генезису и комплексному использованию вольфрамовых месторождений СССР». Л., Изд-во ЛГУ, 1971, с. 67—68.

Рипп Г. С., Белоголовов В. Ф. Оценка эрозионного среза сульфидно-полиметаллических месторождений Западного Забайкалья по вторичным ореолам рассеяния.— В кн.: Литохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния. Алма-Ата, 1972, с. 193—196.

Рипп Г. С., Белоголовов В. Ф., Пак А. С. Минералого-геохимические критерии оценки уровня эрозионного среза эндогенных месторождений в Западном Забайкалье.— В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1971, с. 16—23.

Рипп Г. С., Гурулев С. А., Грачев В. С., Кавиладзе М. М., Мелашвили Т. А. Вариации изотопного состава серы в месторождениях Саяно-Байкальской горной области.— «Докл. АН СССР», 1975, т. 225, № 3, с. 680—683.

Смолянинов Н. А. Особенности минерализации Джидинского месторождения Бурят-Монгольской АССР.— В кн.: Труды Института геологии. Минерал.-геохим. серия. Вып. 39. М., 1940, с. 14—22.

Тарасова Р. С., Близинок М. В., Бабкин И. Н. О формационном типе и генезисе свинцово-цинкового колчеданного месторождения Озерного.— В кн.: Геология и генезис рудных формаций Сибири. М., «Наука», 1972, с. 79—97.

Терентьев В. М., Варденашвили И. С., Колюростый А. К., Слуницкий Ю. А., Рудник В. А., Цыренов Д. Ц. О позднепротерозойском—раннепалеозойском возрасте колчеданно-полиметаллической минерализации Северного Прибайкалья.— В кн.: Определение абсолютного возраста рудных месторождений и молодых магматических процессов. М., 1973.

**Терентьев В. М., Соболев Э. В., Рудник В. А., Вардзелашвили И. С.** пограничной зоне Сибирской платформы.— В кн.: Определение абсолютного растре продуктов метасоматических и рудных процессов в активизированной пограничной зоне Сибирской платформы.— В кн.: Определение абсолютного возраста рудных месторождений и молодых магматических пород. М., «Наука», 1976, с. 140—145.

**Тугаринов А. И., Варламов В. А., Карпенко С. Ф., Ручкин Г. В.** Изотопный состав галенитов Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения и вмещающих пород.— «Геохимия», 1976, № 2, с. 202—210.

**Туговик Г. И.** Стадии гидротермальной минерализации и генезис молибден-вольфрамовых месторождений Джидинского рудного узла.— «Геол. и геофиз.», 1964, № 2, с. 93—103.

**Усова С. Л., Виноградов Б. К., Цыденова Д. Э.** Содержание бора в рыхлом покрове склонов и растениях над боратовым рудопроявлением в условиях таежно-мерзлотного ландшафта.— В кн.: Материалы II сессии Сиб. секции СГПМ по проблеме «Научные основы геохимических методов поисков полезных ископаемых». Ч. 1. Улан-Удэ, 1972, с. 173—174.

**Устинов В. И., Гриненко В. А.** Прецизионный масс-спектрометрический метод определения изотопного состава серы. М., Изд-во АН СССР, 1965. 27 с.

**Филько А. С., Бабкин И. Н., Тарасова Р. С.** Озерное свинцово-цинковое месторождение.— «Разв. и охрана недр», 1967, № 3, с. 18—21.

**Хренов П. М.** Вещественный состав шеелитовых жил Икатского рудного поля и некоторые вопросы их генезиса.— В кн.: Труды Восточно-Сибирского геологического института СО АН СССР. Вып. 13. Иркутск, 1963, с. 37—100.

**Шмотов А. П.** К вопросу о взаимоотношениях грейзенов и скарнов.— «Докл. АН СССР», 1958, т. 122, № 4, с. 687—690.

**Шобогоров П. Ч., Рипп Г. С., Белоголовов В. Ф., Пак А. С.** Геохимические критерии прогноза при металлогенических исследованиях в Западном Забайкалье (на примере редких элементов).— В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., 1971, с. 334—336.

**Шобогоров П. Ч., Цыренов Д. Ц., Бушуев В. П.** О новой колчеданно-полиметаллической провинции в Северо-Байкальском нагорье.— «Разв. и охрана недр», 1971, № 3, с. 15—16.

**Щеглов А. Д.** О геологических условиях размещения рудных месторождений Западного Забайкалья.— «Геол. рудн. месторожд.», 1959, № 4, с. 17—36.

**Щеглов А. Д.** О флюоритовых месторождениях Западного Забайкалья.— «Разв. и охрана недр», 1959, № 7, с. 5—9.

**Щеглов А. Д.** Основные черты геологии и генезиса флюоритовых месторождений Западного Забайкалья.— «Геол. рудн. месторожд.», 1961, № 3, с. 51—69.

**Щеглов А. Д.** Эндогенная металлогения Западного Забайкалья. Л., «Недра», 1966. 278 с.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Введение . . . . .	3
<b>Глава I. Геохимические особенности и поисковые признаки месторождений . . . . .</b>	<b>7</b>
Железорудные месторождения . . . . .	—
Магнетитовые скарновые месторождения . . . . .	8
Магнетитовые водносиликатные осадочные и вулканогенно-осадочные месторождения . . . . .	10
Колчеданные свинцово-цинковые месторождения . . . . .	12
Докембрийские месторождения . . . . .	13
Палеозойские месторождения . . . . .	18
Серноколчеданные месторождения . . . . .	22
Свинцово-цинковые месторождения . . . . .	27
Свинцово-цинковые гидротермальные месторождения . . . . .	28
Скарновые свинцово-цинковые месторождения . . . . .	33
Вольфрамово-молибденовые месторождения . . . . .	35
Вольфрамовые месторождения . . . . .	36
Грейзеновые проявления . . . . .	—
Скарновые месторождения . . . . .	37
Кварц-шеелитовые месторождения . . . . .	—
Кварц-вольфрамитовые малосульфидные месторождения . . . . .	40
Кварц-сульфидно-гюбнеритовые с флюоритом месторождения . . . . .	42
Молибденовые месторождения . . . . .	49
Месторождения первой группы . . . . .	51
Месторождения второй группы . . . . .	55
Золото-кварцевые месторождения . . . . .	57
Касситерит-сульфидные рудопроявления . . . . .	59
Кварц-флюоритовые месторождения . . . . .	60
Фтор-редкометальные месторождения . . . . .	61
Редкоземельные месторождения . . . . .	64

Глава II. Оценка аномалий и рудопроявлений . . . . .	66
Особенности эндогенных ореолов . . . . .	—
Соотношение эндогенных и вторичных ореолов . . . . .	70
Геохимические поиски и оценка аномалий . . . . .	72
Рациональный комплекс анализируемых элементов в пробах . . . . .	—
Оценка геохимических аномалий . . . . .	74
Оценка рудопроявлений . . . . .	53
Заключение . . . . .	98
Литература . . . . .	101



Герман Самуилович Рипп,  
Владимир Федорович Белоголовов

ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ  
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Ответственный редактор *Федор Петрович Кренделев*

Редактор *Н. Г. Рязанова*  
Художественный редактор *М. Ф. Глазырина*  
Художник *В. В. Растегаев*  
Технический редактор *А. В. Сурганова*  
Корректоры *Л. Л. Тычкина, М. В. Спиридонова*

---

ИБ № 9891

Сдано в набор 14 ноября 1977 г. Подписано в печать 5 мая 1978 г. МН 01540.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 2. 7 печ. л., 7 уч.-изд. л. Тираж 1100 экз.  
Заказ № 766. Цена 1 руб.

---

Издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.  
4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

ГОТОВИТ К ВЫПУСКУ СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ:

**Рентгенография и спектроскопия минералов**

**Козлов В. Д., Сवादковская Л. Н., Карпов И. К. Слюды магматитов Забайкалья**

**Материалы по петрологии и минералогии ультраосновных и основных пород**

**Петрология и геохимия метаморфических формаций Сибири**

**Санин Б. П., Зорина Л. Д. Геология и геохимия Кличкинского рудного узла и прогноз оруденения**

**Генетическая и экспериментальная минералогия**

*Книги высылаются наложенным платежом. Заказы направляйте по адресу: 630090, Новосибирск, 90, Морской проспект, 22, Магазин «Наука»*

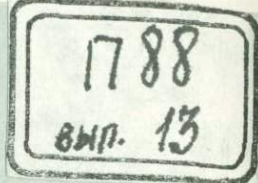


Для получения книг почтой заказы просим направлять по адресу: 117464 Москва В-464, Мичуринский проспект, 12, магазин «Книга — почтой» Центральной конторы «Академкнига», 197110 Ленинград П-110, Петрозаводская ул. 7, магазин «Книга — почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига» или в ближайший магазин «Академкнига»:

**Адреса магазинов «Академкнига»:**

- 480391 **Алма-Ата**, ул. Фурманова, 91/97;
- 370005 **Баку**, ул. Джапаридзе, 13;
- 320005 **Днепропетровск**, проспект Гагарина, 24;
- 734001 **Душанбе**, проспект Ленина, 95;
- 375009 **Ереван**, ул. Туманяна, 31;
- 664033 **Иркутск**, ул. Лермонтова, 303;
- 252030 **Киев**, ул. Ленина, 42;
- 277012 **Кишинев**, ул. Пушкина, 31;
- 443002 **Куйбышев**, проспект Ленина, 2;
- 192104 **Ленинград Д-120**, Литейный проспект, 57;
- 191164 **Ленинград**, Менделеевская линия, 1;
- 199004 **Ленинград**, 9 линия, 16;
- 103009 **Москва**, ул. Горького, 8;
- 117312 **Москва**, ул. Вавилова, 55/7;
- 630076 **Новосибирск**, Красный проспект, 51;
- 630090 **Новосибирск**, Академгородок, Морской проспект, 22;
- 620151 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137;
- 700029 **Ташкент**, ул. Ленина, 73;
- 700100 **Ташкент**, ул. Шота Руставели, 43;
- 634050 **Томск**, Наб. реки Ушайки, 18;
- 450075 **Уфа**, проспект Октября, 129;
- 720001 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 42;
- 310003 **Харьков**, Уфимский пер., 4/6.

Цена 1 руб.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ